

L'innovazione dei componenti di involucro. Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo

Anna Mangiarotti

- 1. Introduzione: la struttura dei materiali
- 2. Le facciate a composizione multistrato
- 3. Le facciate a comportamento dinamico e reattivo
 - 3.1. I materiali trasparenti cromogenici
 - 3.1.1. I dispositivi a cristalli liquidi
 - 3.1.2. I dispositivi elettrocromatici
 - 3.1.3. I materiali termocromici
 - 3.1.4. I gel termocromici
 - 3.1.5. I materiali fotocromici
 - 3.2. I materiali isolanti trasparenti (Transparent Insulation Materials)
- 4. I vetri assorbenti, riflettenti e a bassa emissività
 - 4.1. I vetri assorbenti
 - 4.2. I vetri riflettenti
 - 4.3. I vetri a bassa emissività
- 5. La progettazione bioclimatica dell'involucro edilizio
- 6. Riferimenti bibliografici

1. Introduzione: la struttura dei materiali

L'evoluzione della tecnologia ha portato negli ultimi decenni a dei progressivi cambiamenti nella struttura dei materiali che compongono l'involucro edilizio, aumentandone le prestazioni e la complessità, offrendo ai progettisti una gamma sempre più ampia di possibilità nelle scelte costruttive e compositive. In particolare, si assiste a un generale processo di specializzazione degli strati della materia che intervengono a definire la qualità dell'involucro a diversi livelli: dalla configurazione del materiale, che diviene composito o che risulta dall'assemblaggio di molteplici strati realizzati mediante l'integrazione di materiali diversi, fino alla caratterizzazione puntuale dei diversi strati, da quelli più interni, generalmente costituiti dai materiali per l'isolamento o l'impermeabilizzazione.

L'evoluzione dei materiali si caratterizza attraverso:

- l'accentuazione progressiva della loro funzione di filtro (a esempio, per la loro capacità di interagire con la luce);
- la possibilità di accorpare numerosi sottosistemi del "sistema finestra" tradizionale in una o più lastre dotate, in forma cosiddetta *solid state*, delle corrispondenti prestazioni;
- la possibilità di realizzare filtri dinamici, elementi le cui qualità ottiche ed energetiche variano in funzione del carattere ciclico dei flussi radianti.

Inoltre, l'impiego nel cantiere di nuovi componenti e materiali per l'involucro edilizio significa l'introduzione di nuovi operatori e figure imprenditoriali (le ditte specializzate nella posa e nell'assemblaggio, spesso espressione del produttore), di nuovi procedimenti organizzativi del cantiere, di nuovi criteri di professionalità della manodopera specializzata nell'applicazione dei nuovi materiali e di una evoluzione delle relazioni tra le imprese e le ditte fornitrici di prodotti nella gestione

del cantiere.

Tale linea di tendenza si articola secondo questi elementi:

- un'ulteriore riduzione delle presenze complessive in cantiere;
- un ulteriore aumento dei fornitori, poiché con l'introduzione dei nuovi componenti e materiali aumenta l'autonomia di ogni lavorazione rispetto alle altre.

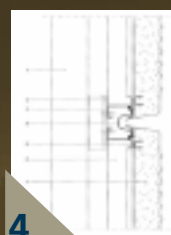
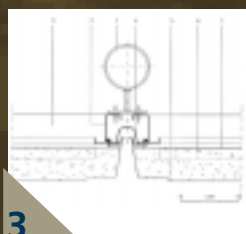
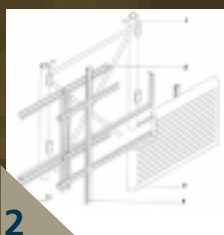
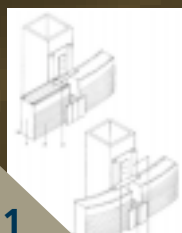
2. Le facciate a composizione multistrato

La progettazione e la successiva realizzazione degli elementi di involucro si caratterizza, essenzialmente, per un generale processo di alleggerimento della materia affiancato dalla riduzione progressiva degli spessori e per la possibilità di progettare le qualità superficiali degli strati esterni, non solo riferite ad aspetti protettivi, ma anche in relazione allo studio e alla definizione di nuove qualità estetiche.

Rispetto alla tradizionale costruzione massiccia in muratura si verificano significativi cambiamenti nelle prestazioni e nella complessità degli edifici: si assiste alla sempre più spinta specializzazione degli strati e alla progressiva riduzione degli spessori (**figg. 1, 2, 3, 4**).

Anche i materiali cosiddetti tradizionali subiscono una sorta di metamorfosi, dando origine a prodotti di alto contenuto tecnologico-prestazionale. A esempio:

- i compensati e i multistrati in legno, già risultato di una prima manipolazione della materia, aumentano le proprie prestazioni attraverso una specializzazione delle loro parti interne o qualificando gli strati più esterni: è il caso del compensato *Twin L*, un *sandwich* le cui superfici esterne sono in betulla, mentre la parte interna è costituita da sfogliati di conifera. In questo caso la combinazione tra i due tipi di legno permette di raggiungere l'obiettivo di un pannello che risponda a requisiti di leggerezza unito a degli strati superficiali duri e lisci.

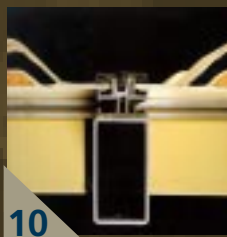
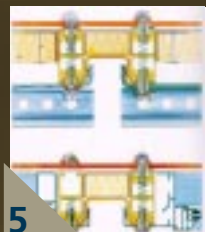


Inoltre, i compensati e i multistrati in legno possono essere sia rivestiti esternamente, con dei materiali differenti in relazione al loro utilizzo, sia uniti ad altri materiali in strutture *sandwich*;

- i pannelli realizzati mediante l'incollaggio di due sottili "pelli" di alluminio, polimero o materiale lapideo su una struttura alveolare di supporto in polimero o in alluminio. Si tratta di un elemento a *sandwich* reso possibile dall'applicazione di una tecnologia aerospaziale, il cosiddetto *honeycomb*, che garantisce elevate caratteristiche meccaniche di resistenza alla flessione, alla compressione e agli urti. Questi pannelli sono utilizzati per il rivestimento degli edifici e sono prodotti in grandi dimensioni mantenendo degli spessori minimi;
- i materiali metallici, che attraversano una fase evolutiva sul terreno della leggerezza unita alla resistenza e agli spessori sottili, sono rivolti alla combinazione tra pannelli di lamiera a cui è interposto un materiale plastico espanso, con la funzione di isolante, utilizzati generalmente nelle coperture. Il procedimento di collegamento tra i materiali che formano il *sandwich*, il cosiddetto *bonding*, avviene tramite un processo che permette di ottenere l'accoppiamento delle lastre mediante una reazione chimica.

L'evoluzione comprende, in modo particolare, le strutture leggere in acciaio o in alluminio: si rileva una forte tendenza nella creazione di accoppiamenti tra supporti in alluminio o in acciaio preverniciato e un nucleo plastico isolante, generalmente costituito da resine poliuretatiche:

- il pannello risulta dalla sovrapposizione di strati sottili alla lamiera, preverniciata o comunque dotata di un impercettibile velo protettivo che ne garantisce la resistenza agli agenti atmosferici. A questa può essere sovrapposto un ulteriore strato sottile, come una membrana bituminosa dotata di una autoprotezione che ne incrementa le



difese nei confronti dell'ambiente (figg. 5, 6).

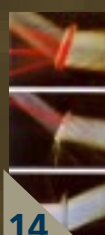
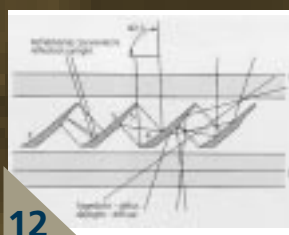
L'ambito degli isolanti termici e acustici apre un ulteriore ambito di riferimento riconducibile alla specializzazione della materia. A tale proposito, si possono citare:

- i pannelli in fibra di legno mineralizzata con funzione isolante, in cui l'accoppiamento tra due strati molto sottili del materiale con un nucleo di lana minerale, polistirolo o schiuma rigida poliuretana ad alta densità, ha lo scopo di enfatizzare le caratteristiche di un prodotto isolante leggero, compensandone i limiti prestazionali (quali la resistenza meccanica o la sensibilità alle alte temperature).

In generale, la costruzione dei pannelli multistrato si effettua mediante una protezione esterna (rigida, impermeabile, finita, così da escludere opere di completamento in cantiere) in lamiera metallica, in lastre di calcestruzzo armato con incorporato uno strato di materiale isolante e con lamine di protezione esterna in materie plastiche, o in poliestere rinforzato con fibre di vetro. In questi ultimi anni hanno avuto una diffusione sempre maggiore alcune tipologie di tamponamento che utilizzano il cemento o le plastiche rinforzate con fibre di vetro: si tratta di scocche in cemento rinforzato con fibre di vetro (*Glass Reinforced Concrete*) (figg. 7, 8), in policarbonato rinforzato con fibre di vetro, in poliestere rinforzato con fibre di vetro (*Glass Reinforced Polyester*) (figg. 9, 10) o in alluminio. Lo strato intermedio ha una funzione di isolante e di distanziatore dei gusci.

3. Le facciate a comportamento dinamico e reattivo

Lo studio dei fattori energetici relativi agli edifici considera l'unità dell'ambiente costruito come "sistema" in continuo scambio energetico con l'ambiente esterno, con influenze



dirette sulla qualità delle condizioni abitative degli utenti e postula la necessità di utilizzare impianti per ottenere delle condizioni di comfort al suo interno. Il suo comportamento e le sue prestazioni, legate sia all'attraversamento dei flussi termici che all'accumulo di calore, risultano qualitativamente e quantitativamente significative, da una parte in relazione alle esigenze di comfort, dall'altra in relazione ai consumi energetici.

Questa analisi si sofferma anche sulla progettazione finalizzata alla specializzazione delle strutture, dei componenti e dei materiali rivolti a "reagire" alle sollecitazioni ambientali e di mantenere costanti lo stato fisico interno (nel caso delle costruzioni, a esempio, il microclima e la luminosità). Si tratta di superfici, di involucri, di "pelli tecniche" (o *technical skin*) composte da strati specializzati e capaci di reagire come membrane in cui si verificano degli scambi di energia, attenuata, trasmessa, assorbita o riflessa (figg. 11, 12, 13, 14).

Questo passaggio si rileva soprattutto nell'evoluzione dei materiali che accentuano progressivamente la loro funzione di filtro, come, per esempio, per la loro capacità di interagire con la luce: a essi non si richiede più di essere solo trasparenti, ma di filtrare il flusso radiante incidente. Risulta possibile, infatti, realizzare un elemento architettonico trasparente che:

- durante l'inverno catturi tutta l'energia possibile e che durante l'estate, al contrario, funzioni da schermo;
- durante il giorno moduli la sua trasparenza in funzione della luminosità desiderata negli spazi interni;
- sia in grado di orientare la luce in modo da distribuirla più efficacemente nell'ambiente interno.

Gli studi rivolti alla definizione di involucri edilizi reattivi alle sollecitazioni ambientali hanno origine dalla necessità, economica e soprattutto ambientale, di un uso razionale dell'e-

nergia e di un maggiore risparmio energetico: infatti, nelle principali nazioni industrializzate, la quota più rilevante di energia primaria viene utilizzata, in edilizia, per la climatizzazione e l'illuminazione degli edifici. Questo ha spinto molti paesi a finanziare programmi di ricerca finalizzati allo sviluppo dei nuovi componenti per l'involucro edilizio.

L'interesse maggiore si è concentrato sulla componente trasparente dell'involucro, poiché questa risulta la parte più sfavorevole in termini di rendimento energetico globale degli edifici. Dall'intensa attività di ricerca e sperimentazione, condotta a livello nazionale e internazionale, sono state messe a punto delle tecniche innovative per la realizzazione di superfici trasparenti, classificate essenzialmente come:

- vetrate contenenti dispositivi cromogenici dalle prestazioni variabili (a cristalli liquidi, elettrocromici, termocromici e fotocromici);
- superfici costituite da materiali trasparenti sintetici ad alta capacità isolante (aerogels granulari e omogenei, strutture capillari e a nido d'ape).

Si tratta di materiali e dispositivi già utilizzati in alcune applicazioni relative a settori come quello ottico, aeronautico e automobilistico dove questi materiali sono utilizzati, per esempio, per regolare il flusso radiante in funzione della quantità di luce incidente.

3.1. I materiali trasparenti cromogenici

I materiali trasparenti cromogenici (aggettivo introdotto al fine di designare il cambiamento delle caratteristiche ottiche di un materiale in funzione di uno stimolo esterno) consentono di rispondere automaticamente agli stimoli dell'ambiente circostante, modificando le proprie prestazioni: l'adozione di questa tecnologia, nel settore delle costruzioni, permette di creare un involucro trasparente a prestazioni variabili in grado di ottimizzare i consumi energetici e di soddisfare, allo stesso tempo, le più sofisticate esigenze di comfort richieste dagli utenti.

Dal punto di vista fisico-chimico, un materiale trasparente cromogenico è caratterizzato dalla capacità di variare in modo consistente le proprietà ottiche in seguito alla variazione di un campo o di un carico elettrico, della temperatura o dell'intensità spettrale della luce. Tale cambiamento nelle proprietà ottiche può essere rappresentato da una trasformazione nello stato del materiale da altamente trasmittente a parzialmente riflettente o assorbente, su tutto lo spettro o solo nel campo del solare e del visibile.

Questi materiali possono essere suddivisi in dispositivi attivati elettricamente e non elettricamente. Nella categoria dei dispositivi attivati elettricamente si collocano i dispositivi a cristalli liquidi e i dispositivi elettrocromici, mentre nella categoria dei dispositivi non attivati elettricamente sono compresi i materiali termocromici e fotocromici: la prima categoria di materiali consente la regolazione da parte dell'utenza, mentre la seconda è auto-regolante.

3.1.1. I dispositivi a cristalli liquidi

I dispositivi a cristalli liquidi polimerici dispersi (PDLC) sono composti da particelle di cristalli liquidi (la cui dimensione è nell'ordine del micrometro) incapsulate in una matrice polimerica. Uno strato di questo materiale viene inserito tra due elettrodi trasparenti di poliestere rivestito mediante un *coating* di ossido di indio: il meccanismo di base consiste nell'applicazione di un campo elettrico tra due elettrodi trasparenti.

Nello stato non attivato le molecole di cristalli liquidi sono orientate casualmente, per cui la luce incidente risulta diffusa, a causa del mancato allineamento tra le particelle e il mezzo circostante. Quando viene attivato un voltaggio sufficientemente alto, le molecole disperse sono orientate in direzione del campo elettrico inserito: la luce incidente in modo normale alla superficie non è rifratta e il materiale rimane trasparente.

3.1.2. I dispositivi elettrocromatici

I dispositivi elettrocromatici sono in grado di modificare le proprietà ottiche in modo persistente e reversibile, in seguito all'applicazione di un impulso elettrico. In un materiale elettrocromico il cambiamento delle proprietà è da attribuirsi all'inserimento o all'estrazione di ioni mobili: quando il campo elettrico è attivato gli ioni introdotti reagiscono generando dei composti colorati che modificano la colorazione del materiale.

La parte centrale di un dispositivo elettrocromico è costituita da un conduttore di ioni (o elettrolita) ed è compresa tra due strati, costituiti da un film elettrocromico (detto anche elettrodo) e uno strato preposto all'accumulo di elettroni (contro-elettrodo).

I due strati esterni sono costituiti da materiali conduttori trasparenti, anche se lo strato per l'accumulo di elettroni e il conduttore trasparente possono essere incorporati in un unico strato: quando viene applicata una differenza di potenziale elettrico tra i due conduttori trasparenti, gli ioni estratti dallo strato di accumulo, passando attraverso lo strato conduttore, sono inseriti nello strato elettrocromico, modificandone in tal modo le proprietà ottiche. Viceversa, quando l'impulso elettrico viene disattivato, gli ioni sono estratti dallo strato elettrocromico e, attraverso lo strato conduttore, sono depositati nello strato di accumulo rendendo il dispositivo trasparente. La realizzazione di sistemi elettrocromici completi pone il problema della scelta dei substrati e dei terminali di comando. Il caso più frequente riguarda la realizzazione di depositi su due supporti vetrati differenti: ciascun vetro di supporto è rivestito mediante un film conduttore; successivamente, a uno dei supporti è applicato un film elettrocromico, mentre all'altro è applicato un film con funzione di contro-elettrodo.

3.1.3. I materiali termocromici

I materiali termocromici modificano le loro

proprietà ottiche in funzione di una differenza di temperatura: quando sono raffreddati (fino alla temperatura di origine) ritornano allo stato iniziale.

Le proprietà del termocromismo possono essere osservate in un'ampia gamma di composti organici, di composti inorganici e in film di ossidi metallici. Tra questi ultimi appare particolarmente interessante l'ossido di vanadio, che passa dallo stato di semiconduttore allo stato metallico quando viene superata una data temperatura critica: il passaggio allo stato metallico, conseguente al superamento della temperatura critica, induce nel materiale un comportamento riflettente maggiormente sensibile nella zona dell'infrarosso.

I principali prodotti termocromici per l'applicazione nel settore delle costruzioni sono il cosiddetto *Tald*, un gel stabile che presenta un punto di raffreddamento piuttosto basso, e il *Cloud Gel*, le cui proprietà sono da attribuire a un sottile strato di soluzione acquosa polimerica racchiusa tra due pellicole esterne plastiche: le molecole polimeriche restano trasparenti fino a una temperatura critica, al di sopra della quale il materiale diviene bianco e riflette la radiazione solare.

3.1.4. I gel termocromici

I gel termocromici sono particolarmente adatti a tutte quelle applicazioni in cui sia richiesta la schermatura della radiazione solare e la prevenzione del surriscaldamento. Il comportamento dei materiali termocromici, nei confronti della radiazione solare, consente di ottimizzare i consumi energetici dell'edificio diminuendo i carichi di raffreddamento e creando una condizione climatica caratterizzata da un elevato comfort ambientale.

3.1.5. I materiali fotocromici

I materiali fotocromici cambiano le loro proprietà e il loro colore quando sono esposti alla luce e ritornano allo stato iniziale quando



l'esposizione viene interrotta. Il fenomeno del fotocromismo si fonda sul cambiamento di stato reversibile (indotto, a esempio, da una radiazione elettromagnetica) di alcune sostanze chimiche tra due strati energetici aventi degli spettri di assorbimento diversi.

3.2.1 materiali isolanti trasparenti (Transparent Insulation Materials)

Negli ultimi anni sono stati condotti approfonditi studi anche su una nuova classe di materiali, in grado di combinare le proprietà di alta trasmissione delle radiazioni solari con ottime prestazioni termiche. Tali materiali, definiti materiali isolanti trasparenti (più brevemente TIM, dall'inglese *Transparent Insulation Materials*) presentano una capacità isolante pari a quella delle fibre di vetro e un coefficiente di trasmissione solare paragonabile a quello di un vetrocamera.

Le speciali proprietà ottiche e termiche rendono questi materiali particolarmente adatti a un utilizzo nel settore edilizio: la loro applicazione nell'involucro rende infatti possibile, da un lato un notevole risparmio energetico, grazie allo sfruttamento passivo dell'energia solare, dall'altro, un effettivo miglioramento delle condizioni di comfort termico e visivo dell'ambiente interno, grazie al basso valore di trasmittanza termica e all'elevato valore di trasmissione della luce in forma diffusa.

I materiali isolanti trasparenti sono applicati all'involucro edilizio principalmente in due modi: come strato esterno di un muro opaco entro un sistema solare passivo, per ridurre al minimo le dispersioni di calore, e come componente trasparente per migliorare le condizioni di illuminazione (grazie alla possibilità di ampliare la superficie finestrata senza aumentare le dispersioni termiche e quindi i consumi energetici) (figg. 15, 16, 17, 18).

I materiali isolanti trasparenti possono essere essenzialmente classificati in due categorie,

in base al tipo di materiale impiegato e al tipo di geometria.

- Gli aerogel omogenei e granulari, di natura inorganica. In questo ambito si evidenziano le caratteristiche dell'aerogel di silice, un materiale inorganico caratterizzato da una struttura porosa costituita da sfere di silice microscopiche. Questo aerogel può essere prodotto in lastre monolitiche di dimensioni massime di 60x60 cm oppure in una forma granulare. L'aerogel presenta un coefficiente di trasmissione termica molto basso (variabile tra 0,4 e 0,9 $W/m^2 \cdot K$, in funzione dello spessore e del procedimento di preparazione) e un coefficiente di trasmissione solare superiore all'80%.

- I policarbonati (PC) o polimetilmetacrilati (PMMA) a struttura a nido d'ape (lastre capillari e *honeycomb*), di natura organica. Questi materiali sfruttano la struttura geometrica per ottenere delle prestazioni ottiche e termiche elevate: questo schema strutturale è ottenuto disponendo, a file parallele o alternate, dei piccoli tubicini che possono avere sezione circolare (nel caso di lastre capillari) o retta. Le lastre capillari prodotte attualmente sono costituite da cilindri cavi aventi un diametro variabile tra 1 e 3 mm e un'altezza non superiore ai 15 cm. I tubicini sono in policarbonato (PC) o in polimetilmetacrilato (PMMA).

Recentemente sono stati realizzati alcuni prototipi di lastre capillari in vetro, sia per sfruttare le migliori capacità termiche di questo materiale, sia per superare i problemi di resistenza al fuoco.

Le strutture a nido d'ape a sezione retta (*honeycomb*) sono costituite da parallelepipedi di lato pari a 4-5 mm e di altezza solitamente non superiore a 10 cm. Le dimensioni minime dei cilindri o parallelepipedi cavi, costituenti la struttura, consentono una netta riduzione del volume d'aria all'interno della lastra. I valori di trasmittanza

termica di questi materiali, variabili tra 0,7 e 1,5 W/m².°K, dipendono dallo spessore della massa, dalle dimensioni dei tubicini e dalle proprietà del materiale acrilico di base.

Le proprietà ottiche dipendono dalla forma della sezione dei tubicini: nel caso delle lastre capillari, questi agiscono come delle fibre ottiche. I valori di trasmissione solare ottenibili con i TIM a nido d'ape possono superare il 90% nel caso di incidenza normale della radiazione e l'80% nel caso di incidenza diffusa.

4. I vetri assorbenti, riflettenti e a bassa emissività

Dall'intensa attività di ricerca e sperimentazione, condotta a livello nazionale e internazionale, nel settore vetrario, sono state messe a punto diverse tecnologie innovative per ottenere prodotti ad alte prestazioni. I risultati di questa ricerca hanno consentito la messa a punto di tre diverse categorie di prodotti:

- i vetri assorbenti;
- i vetri riflettenti;
- i vetri a bassa emissività.

4.1. I vetri assorbenti

I vetri assorbenti, colorati nella massa, consentono il controllo dell'irraggiamento solare per assorbimento energetico in modo proporzionale allo spessore della lastra e all'intensità della colorazione. In modo indipendente dal colore della lastra, non si verificano elevate distorsioni cromatiche, mentre la trasmissione luminosa si riduce in funzione dell'intensità della colorazione.

4.2. I vetri riflettenti

I vetri riflettenti respingono verso l'esterno una quota consistente dell'energia solare incidente. Presentano una faccia opportuna-

mente trattata con metodi fisici e chimici che consentono il deposito di ossidi metallici. Le proprietà ottiche, termiche ed estetiche del vetro dipendono dallo spessore e dal tipo di ossido depositato.

4.3. I vetri a bassa emissività

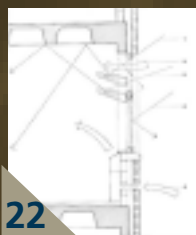
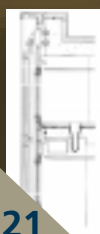
I vetri a bassa emissività consentono la riflessione verso l'interno dell'ambiente del calore relativo al riscaldamento irraggiato. Presentano una faccia schermata con metalli nobili e/o ossidi di metalli che sono depositati sulla lastra di vetro.

Le caratteristiche possono variare in funzione dei materiali depositati e soprattutto in funzione del procedimento di produzione. Il deposito sulle lastre deve essere contemporaneamente "opaco" al calore irraggiato dall'interno e "trasparente" al calore incidente dall'esterno. Questo è possibile disponendo opportunamente la griglia di particelle metalliche, in modo tale che la lastra sia attraversata dall'esterno da lunghezze d'onda estremamente ridotte e che sia impenetrabile per quelle di maggiore ampiezza: si tratta di pannelli capaci di riflettere un'alta percentuale di radiazione infrarossa emessa dai corpi radianti presenti negli spazi interni.

In particolare, i vetri basso emissivi consentono di contenere i consumi energetici relativi al riscaldamento degli edifici e, poiché risultano trasparenti nei confronti delle radiazioni caratterizzate da valori bassi della lunghezza d'onda, come quelle solari, permettono un guadagno solare di tipo passivo.

Le prestazioni dei vetri basso emissivi sono realizzate tramite un deposito speciale di metalli e ossidi di metalli. La differenza tra depositi basso emissivi è costituita dalla tecnica di deposizione del film. Questo può essere ottenuto:

- per via chimica, durante la fase di produzione del vetro piano (deposito pirolitico);
- per via fisica, in campo magnetico controllato e sottovuoto, fuori dalla linea di produ-



zione della lastra (secondo un deposito cosiddetto magnetronico o per elettrolisi). I metalli utilizzati in genere per realizzare un vetro basso emissivo sono l'argento, il piombo e lo zinco. Quando un vetro basso-emissivo è utilizzato come uno dei componenti il vetrocamera, il potere isolante dell'intercapedine d'aria si somma alla barriera termica offerta dallo strato a bassa emissività.

5. La progettazione bioclimatica dell'involucro edilizio

La progettazione bioclimatica si basa sulla equiparazione degli edifici a sistemi in grado di captare e accumulare, in modo naturale, l'energia solare. Questo deve condizionare le scelte lungo l'intero processo di progettazione e costruzione.

In ambito bioclimatico sono rilevabili le principali innovazioni che il settore edilizio, solitamente caratterizzato da un lento rinnovamento tecnico, ha accolto nell'ultimo decennio. La maggiore disponibilità di prodotti ha coinciso però solo in pochi casi con l'affermazione di tecniche progettuali e costruttive: infatti, all'interno dell'architettura contemporanea si è assistito alla formazione di una profonda frattura tra aspetti tecnici e ricerca formale, fattore che ha condotto a gravi carenze dal punto di vista energetico.

L'architettura solare nasce come tentativo di inserire l'edificio all'interno dei "flussi energetici dell'ecosistema", in modo da trarre dall'ambiente le risorse per il proprio equilibrio climatico: la forma, l'orientamento, lo studio dei materiali dell'involucro e dei sistemi di coibentazione, il dimensionamento delle superfici trasparenti e delle schermature costituiscono gli elementi centrali in una programmazione energeticamente consapevole (figg. 19, 20, 21, 22, 23, 24). I principi fisici su cui si basa questo tipo di architettura sono:



26



27



28



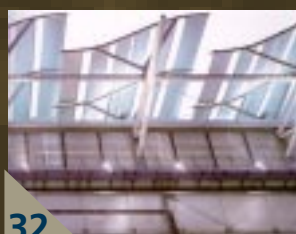
29



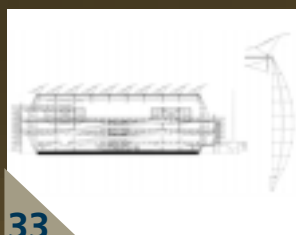
30



31



32



33

- l'effetto serra, per cui la radiazione solare con una lunghezza d'onda nel campo del visibile (luce) si trasforma in radiazione infrarossa (calore) all'interno dell'edificio. Le superfici vetrate impediscono il ritorno di questa radiazione verso l'ambiente esterno e quindi la temperatura interna tende ad aumentare progressivamente (**figg. 25, 26**);
- l'inerzia termica, dovuta a particolari materiali dell'involucro che hanno la capacità di accumulare calore e di cederlo in tempi successivi. In questo modo il calore trattenuto dall'involucro durante il giorno è sfruttato per riscaldare gli spazi interni durante le ore notturne.

I sistemi possono essere:

- a guadagno diretto, per cui la radiazione entra direttamente negli spazi interni (**figg. 27, 28, 29**);
- a guadagno indiretto, per cui la radiazione solare si trasforma in calore in uno spazio solitamente non abitato (serre, muri *Trombe*) (**fig. 30**);
- a guadagno isolato, per cui la radiazione solare si trasforma in calore in uno spazio "collettore" e viene trasferita agli spazi interni attraverso dei fluidi (acqua o aria).

Inoltre, le cosiddette celle solari fotovoltaiche consentono la trasformazione diretta della luce solare in energia elettrica. Si tratta di un processo che permette di produrre energia senza parti o impianti meccanici, né sostanze inquinanti per l'ambiente. L'attuale obiettivo di questa sperimentazione consiste nell'integrare le celle solari su grandi superfici edilizie, per approvvigionare di elettricità edifici costruiti in zone favorite dall'esposizione solare e ad alta densità abitativa (**figg. 31, 32, 33, 34**).

In generale, i pannelli fotovoltaici sono costituiti da un vetro composito esterno e da un vetrocamera. Il composito esterno contiene celle in silicio policristallino annegate tra due lastre di vetro; verso l'interno c'è un vetroca-



mera chiaro dotato di intercapedine, assemblato all'elemento esterno mediante un telaio distanziatore. Grazie all'adozione di misure speciali (riempimento dell'intercapedine con gas e utilizzazione di vetro riflettente per la lastra interna) l'elemento di facciata fotovoltaico possiede anche notevoli proprietà termoprotettive (figg. 35, 36, 37, 38).

Dal punto di vista distributivo, esistono due sistemi di impianti fotovoltaici:

- gli impianti a isola, non collegati alla rete elettrica. Quelli di dimensioni maggiori sono spesso combinati con motori Diesel, generatori eolici o piccole centrali idroelettriche;
- impianti collegati alle reti elettriche, che prevedono l'immissione dell'energia prodotta nelle reti domestiche a corrente alternata, in genere collegate alla rete dell'azienda elettrica locale.

6. Riferimenti bibliografici

Anderson Bruce,
(1977), *Solar Energy: Fundamentals in Building Design*, Total Environmental Action (tr. it. di Girolamo Mancuso, *Energia solare: manuale di progettazione*, Muzzio, Padova, 1980).

Baker N., Fanchiotti A. Steemers K., edited by,
(1993), *Daylighting in Architecture. An European Reference Book*, James & James, Londra.

Bassan Mario,
(1992), «I materiali compositi per l'edilizia», *L'Edilizia*, n. 3, mar., pp. 117-125.

Brookes John Alan,
(1983), *Cladding of Buildings*, Construction Press, Londra.

(1985), *Concepts in Cladding. Case Studies of Jointing for Architects and Engineers*, Construction Press, Londra.

- Button David, Pye Brian,
(1993), *Glassin Building. A Guide to Modern Architectural Glass Performance*, Butterworth, Oxford.
- Campioli Andrea,
(1993), *Il contesto del progetto. Il costruire contemporaneo tra sperimentalismo high-tech e diffusione delle tecnologie industriali*, Angeli, Milano.
- Colafranceschi Daniela,
(1995), *Architettura in superficie. Materiali, figure e tecnologie delle nuove facciate urbane*, Gangemi, Roma.
- Compagno Andrea,
(1995), *Intelligent Glass Façades*, Artemis, Zurigo.
- Goulding John R., Lewis J. Owen, Steemers Théo C.,
(1993), *Energy in Architecture. The European Passive Solar Handbook*, Batsford, Londra.
- Herzog Thomas,
(1994), *Design Center, Linz*, Hatje, Monaco.
- Holtz Michael J.,
(1992), *Building Integration*, in J. Douglas Balcomb, edited by, *Passive Solar Buildings*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 1992, pp. 331-398.
- Humm Othmar, Toggweiler Peter,
(1993), *Photovoltaics in Architecture*, Birkhäuser, Basilea.
- Jäger F.,
(1981), *Solar Energy Applications in Houses*, Pergamon Press, Oxford.
- Johnson Timothy E.,
(1992), *Materials and Components*, in J. Douglas Balcomb, edited by, *Passive Solar Buildings*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 1992, pp. 199-234.
- Kodama Yuichiro, Cook Jeffrey, Yannas Simos,
(1991), *Passive and Low Energy*

- Architecture, Process Architecture, Tokyo.
- Macchi Giulia,
(1994), «Verso strati specializzati», *Modulo*, n. 204, set., pp. 806-812.
- Mangiarotti Anna,
(1995), *Le tecniche dell'architettura contemporanea. Evoluzione e innovazione degli elementi costruttivi*, Angeli, Milano.
- Manzini Ezio,
(1986), *La materia dell'invenzione*, Arcadia, Milano.
- Mazria Edward,
(1979), *The Passive Solar Energy Book* (tr. it. di Girolamo Mancuso, *Sistemi solari passivi*, Muzzio, Padova, 1980).
- Mazzoleni Gian Luca,
(1988), «I vetri bassoemissivi», *Vetrospazio*, n. 11, ott., pp. 56-58.
- McCullagh James C.,
(1978), *The Solar Greenhouse Book* (tr. it. di Girolamo Mancuso, *Il libro delle serre solari*, Muzzio, Padova, 1979).
- Montieri Valerio,
(1991), «Architettura solare fra passato e futuro», *Vetrospazio*, n. 20, mar., pp. 33-40.
(1991), «Architettura bio-ecologica», *Vetrospazio*, n. 21, giu., pp. 47-54.
- Moore Fuller,
(1991), *Concepts and Practice of Architectural Daylighting*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Morfini Luisa, Scrollini Eva,
(1990), «L'orizzonte dei nuovi materiali», *Modulo*, n. 167, dic., pp. 1526-1533.
- Paul J. K.,
(1979), *Passive Solar Energy Design and Materials*, Noyes Data Corporation, New Jersey.
- Pedrotti Laura,
(1995), *La flessibilità tecnologica dei sistemi di facciata. Evoluzione delle tecniche di produzione e di assemblaggio*, Angeli, Milano.

Roaf Susan, Hancock Mary, edited by,
(1992), *Energy Efficient Building. A Design Guide*, Blackwell, Oxford.

Rondoni Adriano,
(1993), «Controllare luce e calore»,
Vetrospazio, n. 28, mar., pp. 41-46.

Sala Marco, a cura di,
(1994), *Tecnologie bioclimatiche in Europa*, Alinea, Firenze.

Schiaffonati Fabrizio,
(1990), *Architettura e nuove tecnologie*, in
Oliviero Tronconi, a cura di, *L'edificio intelligente. L'innovazione informatica, telematica e dei sistemi di automazione per il settore delle costruzioni*, Etas, Milano, pp. 4-39.

Schwolsky Rick, Williams James I.,
(1982), *The Builder's Guide to Solar Construction*, McGraw-Hill, New York.

Scrosati Bruno, Mastragostino Marina,
(1995), «Vetro elettrocromico: cos'è, come funziona»,
Vetrospazio, n. 36, mar., pp. 28-31.

Serra Valentina, D'Adderio Luciana,
(1994), «Luce sì, calore no», *Modulo*, n. 201, mag., pp. 444-450.

Serra Valentina, D'Adderio Luciana, M. Filippi,
(1994), «A trasparenza variabile», *Modulo*, n. 205, ott., pp. 932-940.

Simonelli Giuliano,
(1992), «E per vestito un guscio di plastica»,
Modulo, n. 179, mar., pp. 190-196.

Stemmers Théo C., edited by,
(1991), *Architectures Solaires en Europe. Conceptions, Performances, Usages*, Edisud.

Szokolay Steven V.,
(1975), *Solar Energy and Building*, The Architectural Press, Londra.

Swanson John,
(1993), «Vetrare come punti di forza»,
Vetrospazio, n. 30, 3° trim., pp. 31-36.

Toricelli Maria Chiara, Sala Marco, Secchi Simone,
(1995), *La luce del giorno. Tecnologie e*

argomenti di cultura tecnologica

Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo

strumenti per la progettazione, Alinea, Firenze.

Yannas Simos,

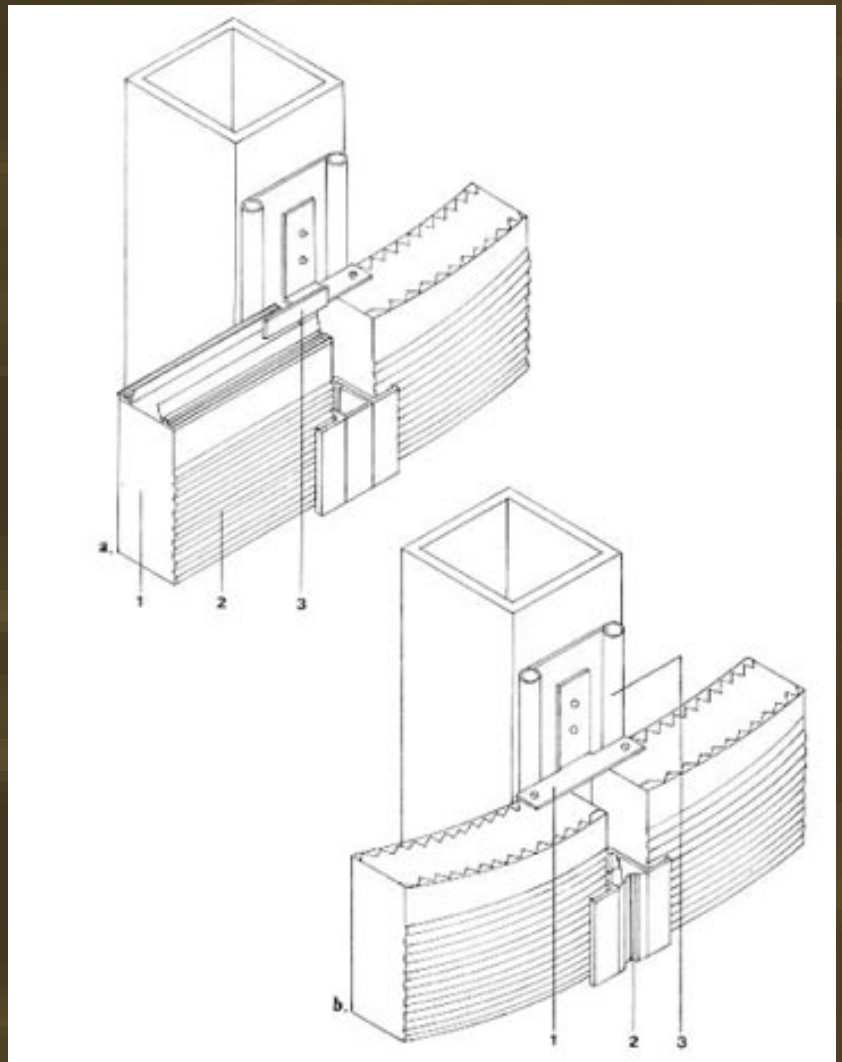
(1994), *Solar Energy and Housing Design*.

Vol. 1: *Principles, Objectives, Guidelines*, Crown, Londra.

[indice](#)

[illustrazioni](#) [info](#) [esci](#)





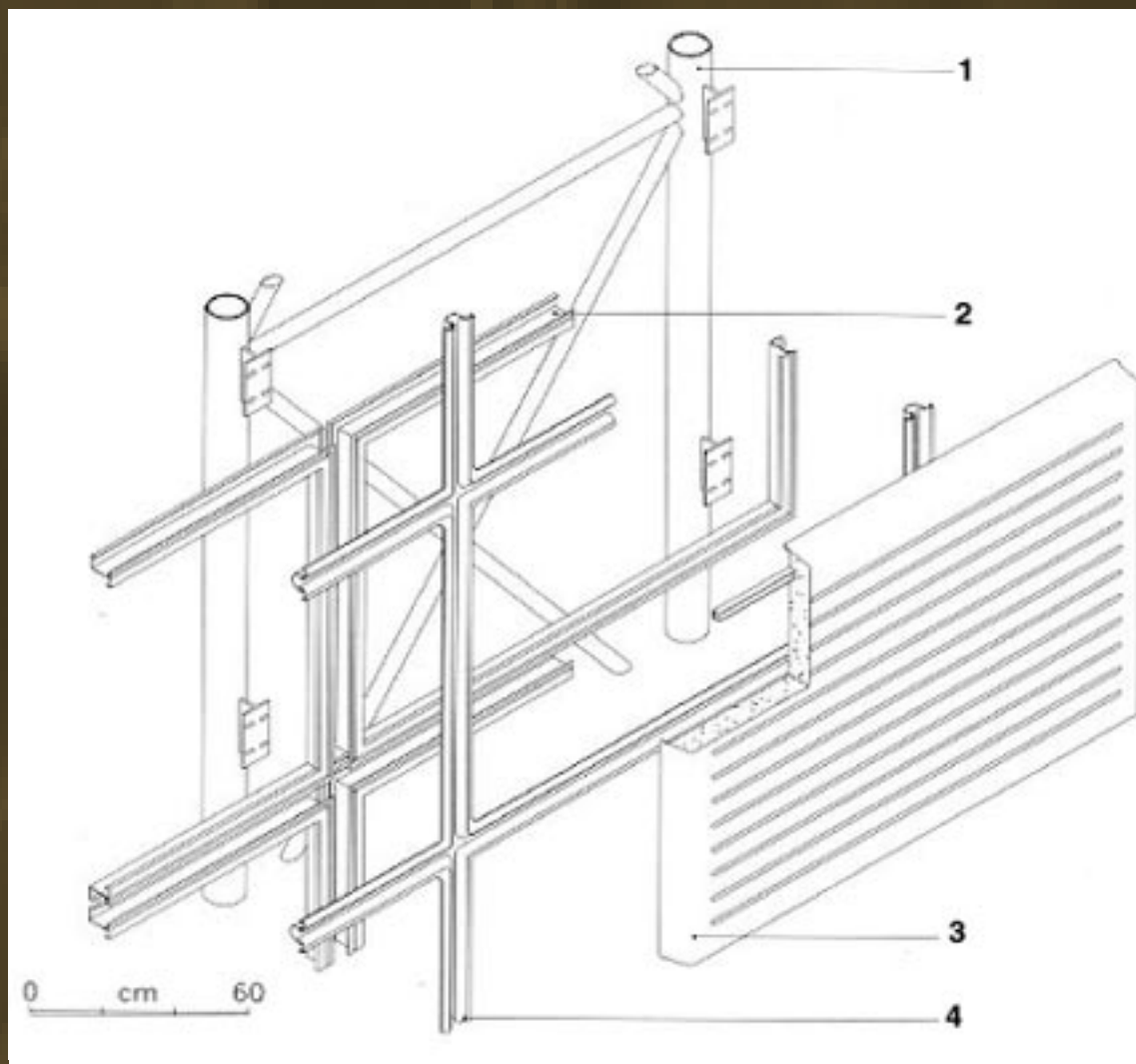
Pannello sandwich in lamiera di alluminio.

I pannelli sono realizzati mediante un sistema di produzione in continuo che incolla il rivestimento, in alluminio o in acciaio, al materiale isolante interno. Questo sistema di produzione, a differenza di quello a lotti, consente una minore flessibilità del pannello. Tutti i pannelli hanno lo spessore di 70 mm e il valore della trasmittanza termica è pari a $0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$. La lunghezza dei pannelli può variare da 30 a 600 cm, mentre la larghezza è di 90 o di 100 cm. Il raggio di curvatura dei pannelli può variare da 0,5 fino a 10 m.

a. Giunto tra il pannello piano e il pannello curvo: 1. isolante in polistirene espanso; 2. rivestimento microprofilato di 0,7 mm in acciaio; 3. supporto temporaneo per consentire l'ancoraggio tra i pannelli.

b. Giunto tra due pannelli curvi: 1. supporto temporaneo per consentire l'aggancio tra i pannelli; 2. guarnizione in elastomero EPDM per la tenuta all'acqua; 3. guarnizione continua in elastomero EPDM per la tenuta all'aria.

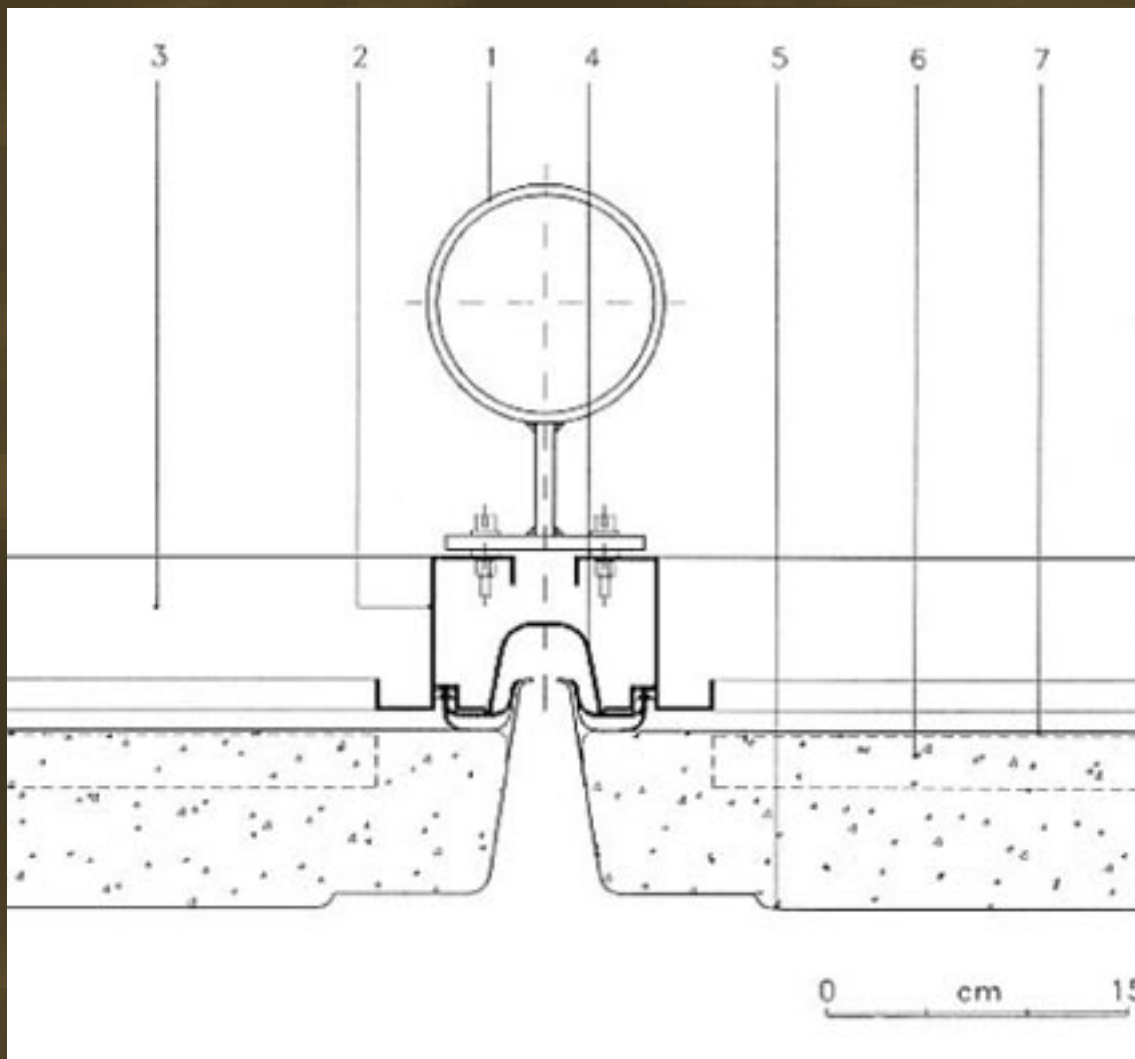
(da: Laura Pedrotti, *La flessibilità tecnologica dei sistemi di facciata. Evoluzione delle tecniche di produzione e di assemblaggio*, Angeli, Milano, 1995, p. 23; ridisegno dell'autore dalla documentazione Montrex CR, Kingspan).



Norman Foster, *Centro Sainsbury* per le arti visive, Norwich, Gran Bretagna, 1978.

Pannello stampato in alluminio "superplastic". Esploso assonometrico del sistema di tamponamento esterno. In dettaglio: 1. struttura portante reticolare; 2. profili estrusi di alluminio per il fissaggio dei pannelli di tamponamento; 3. pannello stampato in alluminio "superplastic"; 4. guarnizione estrusa in neoprene.

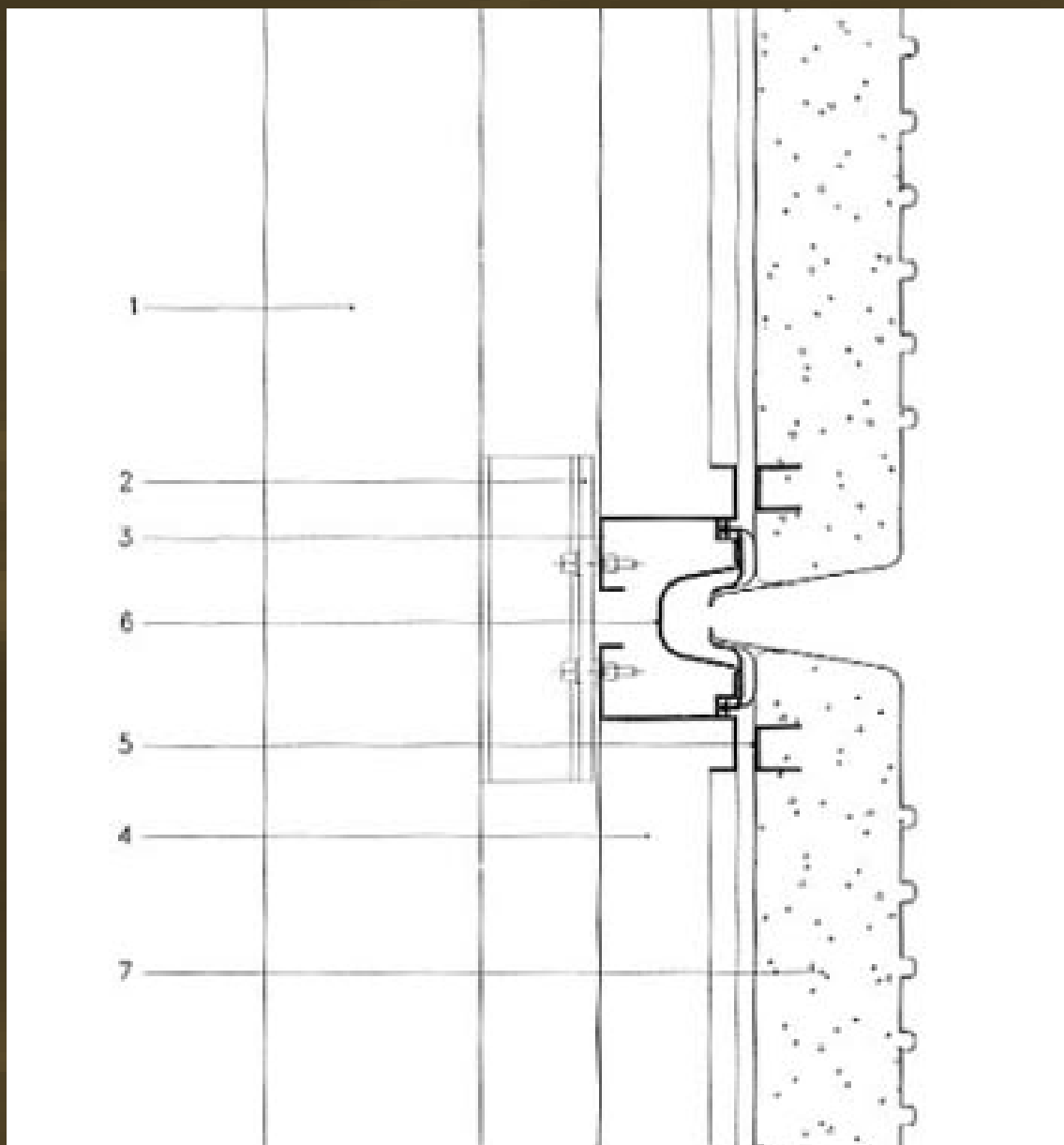
(da: Anna Mangiarotti, *Le tecniche dell'architettura contemporanea. Evoluzione e innovazione degli elementi costruttivi*, Angeli, Milano, 1995, p. 99; ridisegno di Oscar Trovalusci da John Alan Brookes, *Concepts in Cladding*, Construction Press, Londra, 1995).



Norman Foster, *Centro Sainsbury* per le arti visive, Norwich, Gran Bretagna, 1978.

Pannello stampato in alluminio "superplastic". Sezione orizzontale del sistema di tamponamento esterno in corrispondenza del giunto verticale. In dettaglio: 1. tubolare in acciaio della struttura portante; 2. montante estruso in alluminio imbullonato alla struttura principale per l'ancoraggio dei pannelli di chiusura; 3. traverso estruso in alluminio; 4. guarnizione in neoprene con doppio canale di scolo per l'acqua piovana; 5. pannello stampato in alluminio "superplastic" anodizzato 1800/1200/1,5 mm; 6. poliuretano espanso 100 mm; 7. lastra interna in alluminio con giunto a taglio termico.

(da: Anna Mangiarotti, *Le tecniche dell'architettura contemporanea. Evoluzione e innovazione degli elementi costruttivi*, Angeli, Milano, 1995, p. 100; ridisegno di Oscar Trovalusci da John Alan Brookes, *Concepts in Cladding*, Construction Press, Londra, 1995).



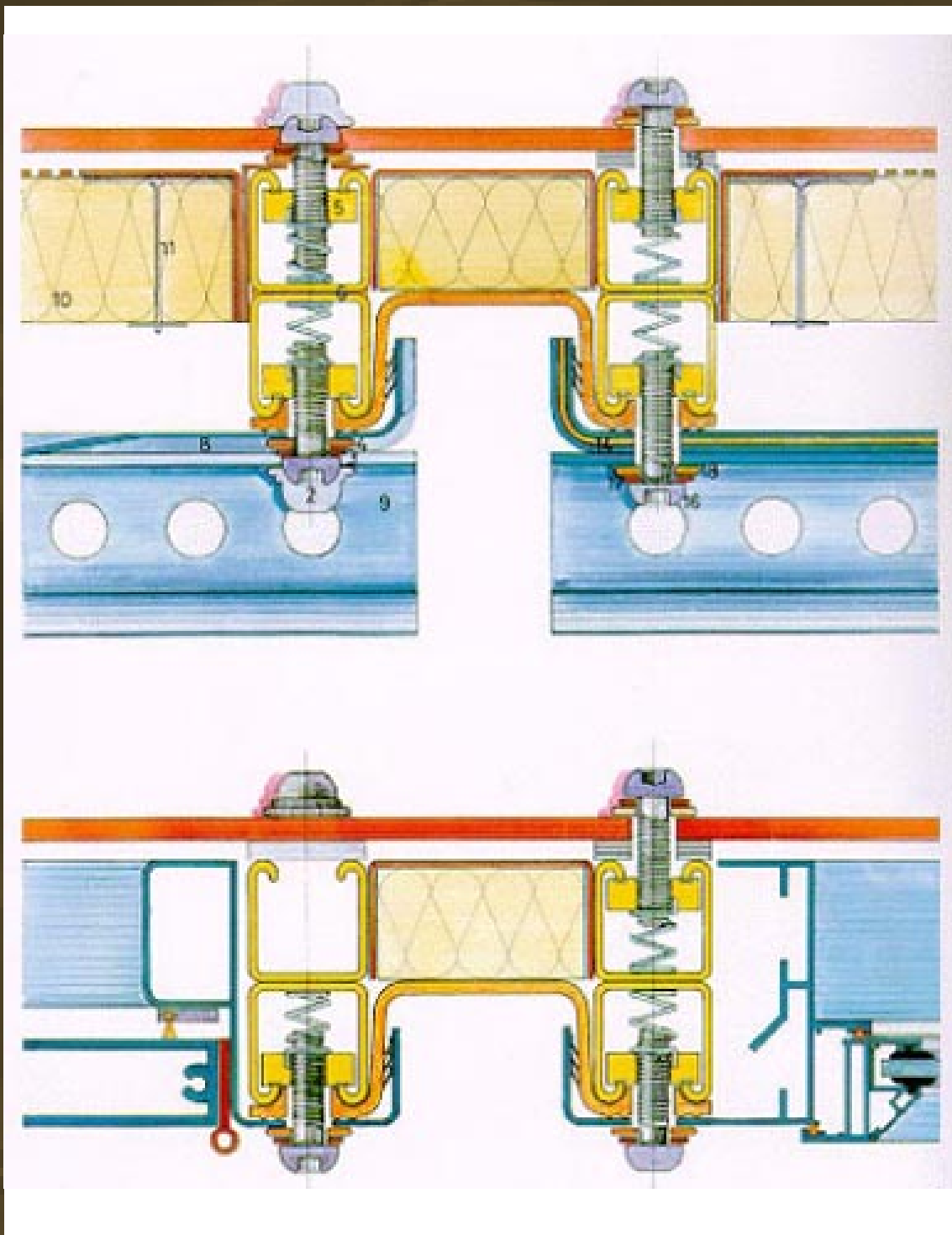
Norman Foster, *Centro Sainsbury* per le arti visive, Norwich, Gran Bretagna, 1978.

Pannello stampato in alluminio "superplastic". Sezione verticale del sistema di tamponamento esterno in corrispondenza del giunto orizzontale. In dettaglio: 1. tubolare in acciaio della struttura portante; 2. piastra di ancoraggio della sottostruttura saldata al tubolare in acciaio; 3. traverso estruso in alluminio imbullonato alla struttura principale; 4. montante estruso in alluminio; 5. profilo a U in alluminio per l'ancoraggio dei pannelli alla sottostruttura; 6. guarnizione in neoprene con doppio canale di scolo per l'acqua piovana; 7. pannello stampato in alluminio "superplastic" con nervature di rinforzo.

(da: Anna Mangiarotti, *Le tecniche dell'architettura contemporanea. Evoluzione e innovazione degli elementi costruttivi*, Angeli, Milano, 1995, p. 101; ridisegno di Oscar Trovalusci da John Alan Brookes, *Concepts in Cladding*, Construction Press, Londra, 1995).

argomenti di cultura tecnologica

Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



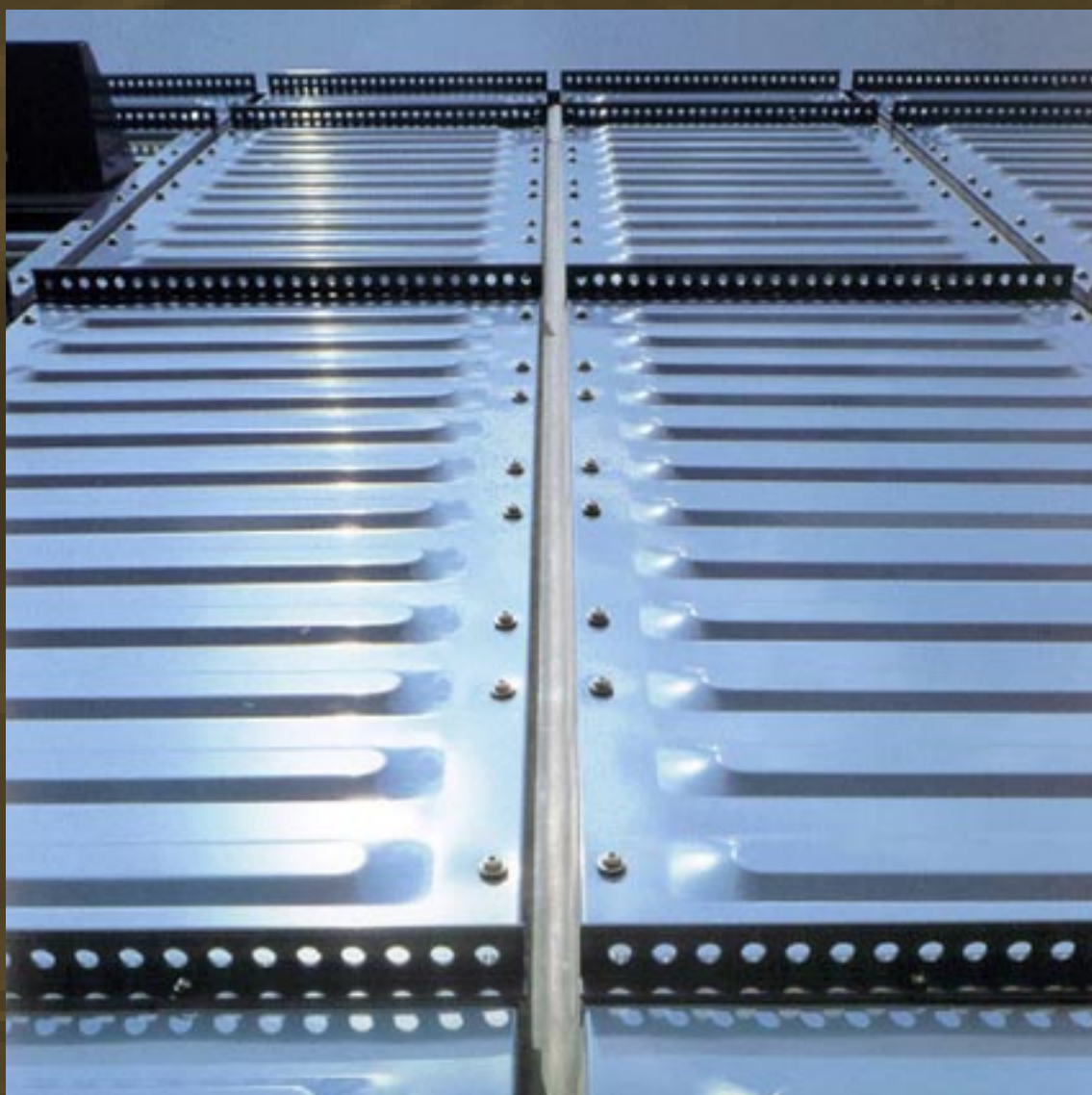
Nicholas Grimshaw & Partners, *Herman Miller Distribution Centre*, Chippenham, 1982.

Composizione stratificata e schema dell'assemblaggio dell'involucro di facciata (sezioni orizzontali). I pannelli leggeri in lamiera di alluminio sono montati a secco ai montanti, sui quali si innestano ulteriori profili metallici per il supporto dei pannelli fono e termoisolanti.

(da: Colin Amery, *Architecture, Industry and Innovation. The Early Work of Nicholas Grimshaw & Partners*, Phaidon, Londra, p. 142).

argomenti di cultura tecnologica

Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



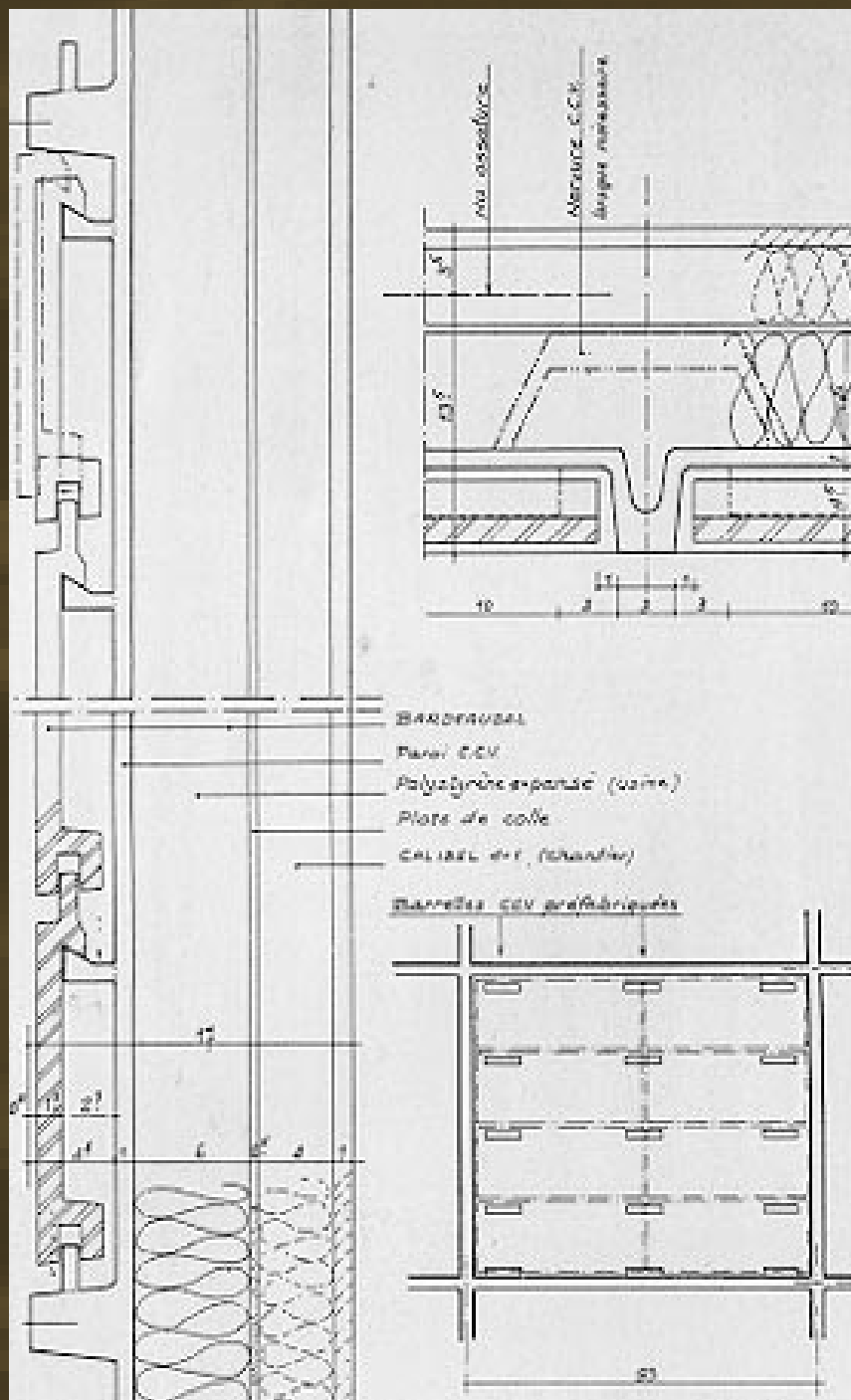
Nicholas Grimshaw & Partners, *Herman Miller Distribution Centre*, Chippenham, 1982.

Prospetto dell'edificio in cui risalta la resa cromatica e l'assemblaggio meccanico dei pannelli in lamiera di alluminio ai montanti verticali. La struttura delle lamiere di involucro è irrigidita e rinforzata dalle nervature a guscio poste sulla superficie esterna.

(da: Colin Amery, *Architecture, Industry and Innovation. The Early Work of Nicholas Grimshaw & Partners*, Phaidon, Londra, p. 143).

argomenti di cultura tecnologica

Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



Renzo Piano, *Complesso residenziale in Rue de Meaux, Parigi, 1991.*

L'involucro dell'edificio presenta un tamponamento costituito da un pannello strutturale in cemento rinforzato con fibre di vetro (*Glass Reinforced Concrete*). All'interno di questo pannello sono fissati l'isolante e una lastra di cartongesso, all'esterno delle mattonelle in terracotta assemblate a secco. In dettaglio: schizzo della sezione verticale, orizzontale e del prospetto del tamponamento.

(da: Andrea Campioli, *Il contesto del progetto. Il costruire contemporaneo tra sperimentalismo high-tech e diffusione delle tecnologie industriali*, Angeli, Milano, 1993, p. 234).

argomenti di cultura tecnologica

Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



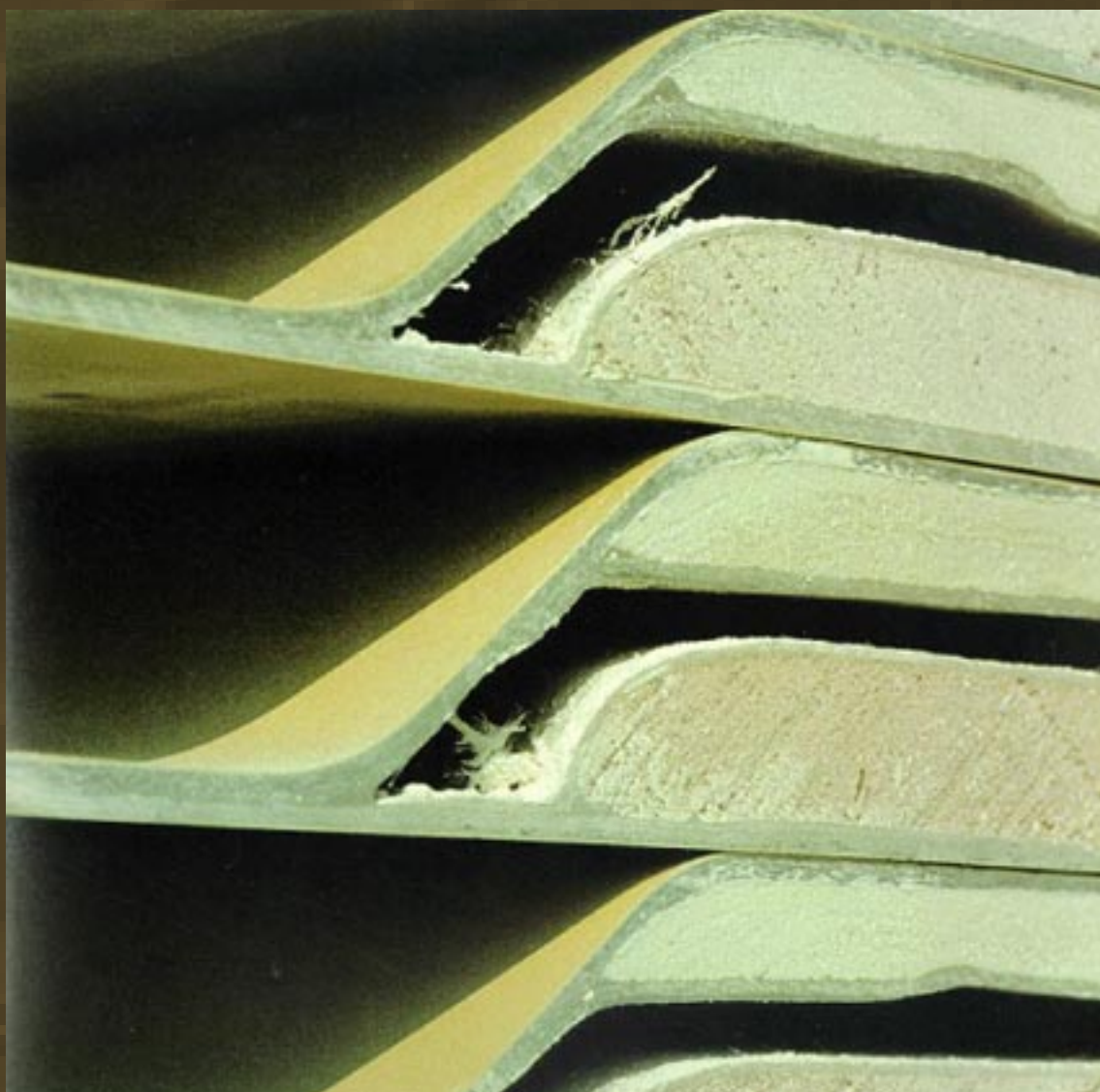
Renzo Piano, *Complesso residenziale in Rue de Meaux, Parigi, 1991.*

L'applicazione, per l'involucro edilizio, di un tamponamento costituito da un pannello strutturale in cemento rinforzato con fibre di vetro (*Glass Reinforced Concrete*) determina la composizione complessiva del prospetto, secondo moduli ripetitivi come dimensioni.

(da: Andrea Campioli, *Il contesto del progetto. Il costruire contemporaneo tra sperimentalismo high-tech e diffusione delle tecnologie industriali*, Angeli, Milano, 1993, p. 232).

argomenti di cultura tecnologica

Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



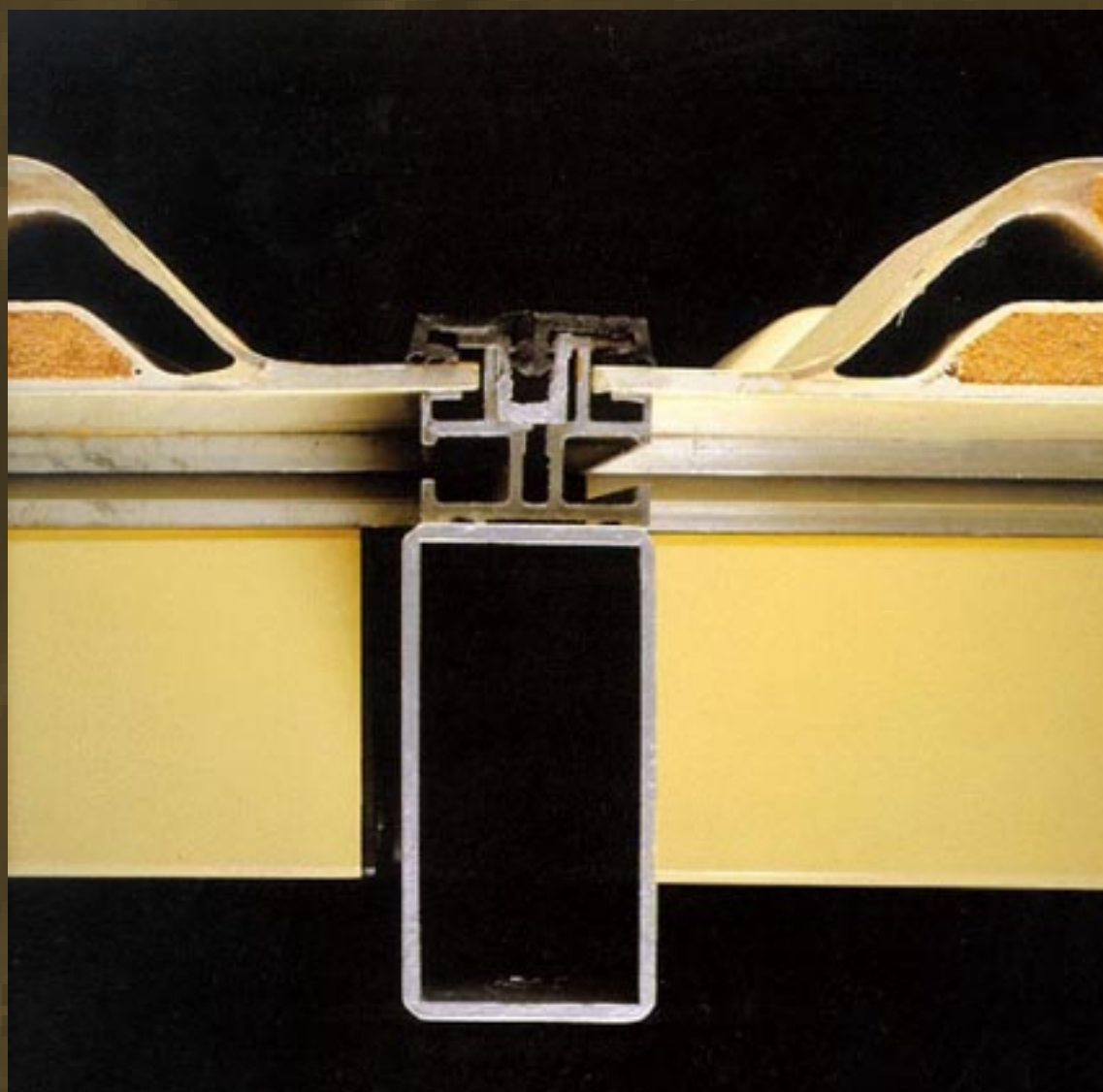
Nicholas Grimshaw & Partners, *Stabilimento Herman Miller*, Bath, 1976.

I pannelli dell'involucro dell'edificio sono costituiti da una doppia scocca in poliestere rinforzato con fibre di vetro (*Glass Reinforced Polyester*), all'interno della quale è insufflato del materiale termoisolante sotto forma di schiuma.

(da: Colin Amery, *Architecture, Industry and Innovation. The Early Work of Nicholas Grimshaw & Partners*, Phaidon, Londra, p. 75).

argomenti di cultura tecnologica

Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



Nicholas Grimshaw & Partners, *Stabilimento Herman Miller*, Bath, 1976.

Sezione orizzontale dei pannelli dell'involucro costituiti da una doppia scocca in poliestere rinforzato con fibre di vetro (*Glass Reinforced Polyester*), in cui risalta l'assemblaggio al montante verticale in acciaio mediante l'incastro a profili in alluminio estrusi.

(fonte: Colin Amery, *Architecture, Industry and Innovation. The Early Work of Nicholas Grimshaw & Partners*, Phaidon, Londra, p. 76).

argomenti di cultura tecnologica

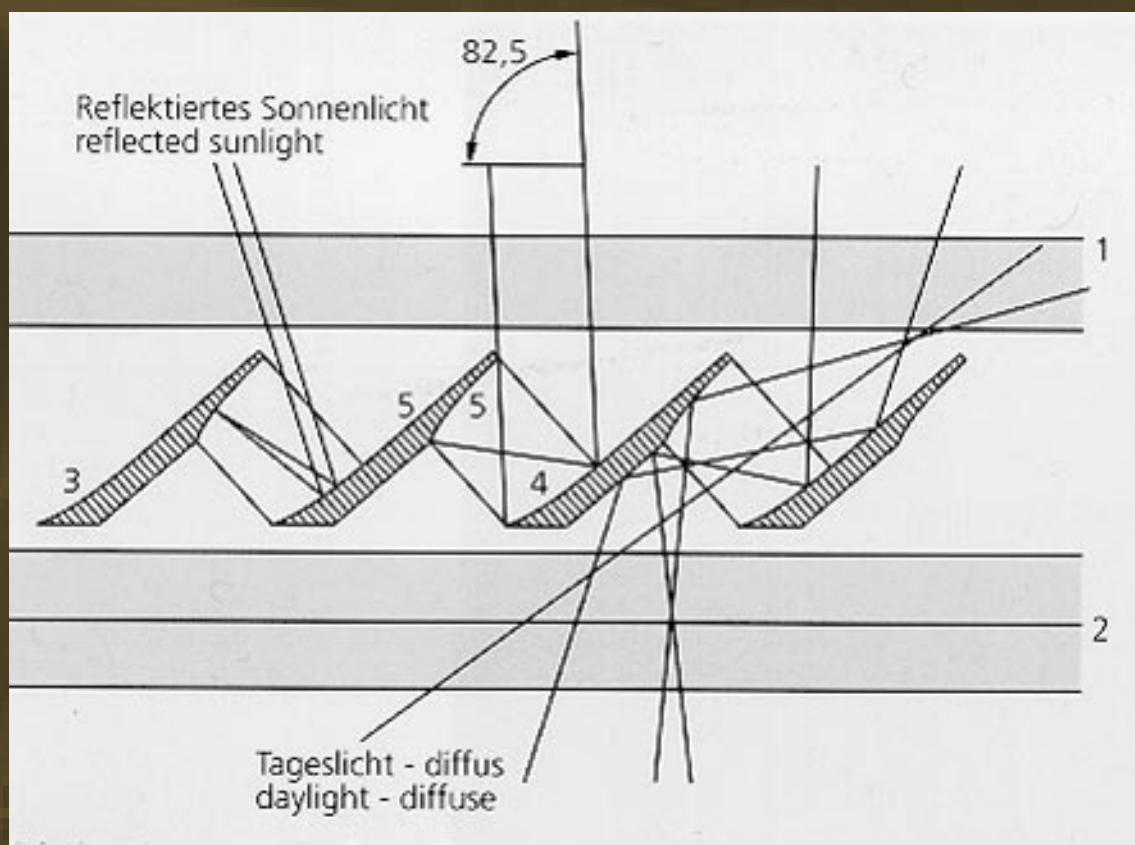
Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



Thomas Herzog, *Design Center*, Linz (Austria), 1993.

La copertura ad archi della costruzione è stata realizzata mediante un sistema di lastre di vetro isolante in cui sono interposti dei reticoli retroflettivi (dello spessore di soli 16 mm), con fili di alluminio montati in modo contiguo, al fine di consentire l'ingresso dei raggi solari indirettamente e di disperdere quelli diretti. I pannelli di vetro (di larghezza pari a 2,70 m, paralleli alla superficie curva) si adattano alla struttura con un taglio geometrico del reticolo. Questo reticolo specchiante permette di utilizzare una grande quantità di luce evitando l'indesiderato effetto serra durante la stagione estiva. La struttura portante dell'involucro di vetro consiste di una costruzione ad arco in acciaio.

(da: Thomas Herzog, *Design Center, Linz*, Hatje, Monaco, 1994, p. 34).



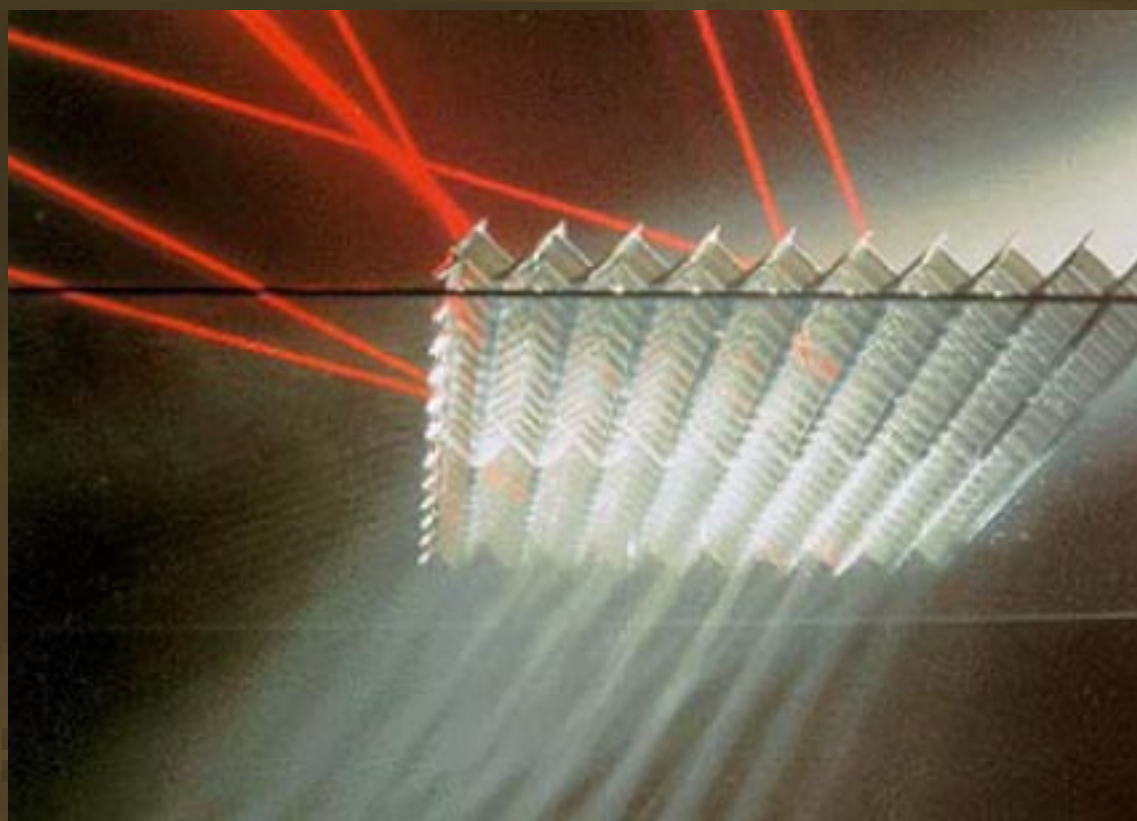
Thomas Herzog, Design Center, Linz (Austria), 1993.

Sezione dei principali elementi del reticolo retroflettivo: 1. involucro superiore composto da uno strato di vetro temprato; 2. involucro inferiore composto da un doppio strato di vetro laminato; 3. lamine di alluminio che dirigono l'incidenza dei raggi solari; 4. parte inferiore della lamina che convoglia i raggi solari sulle superfici riflettenti; 5. superfici riflettenti opposte alla radiazione solare.

(da: Thomas Herzog, *Design Center, Linz*, Hatje, Monaco, 1994, p. 102).

argomenti di cultura tecnologica

Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



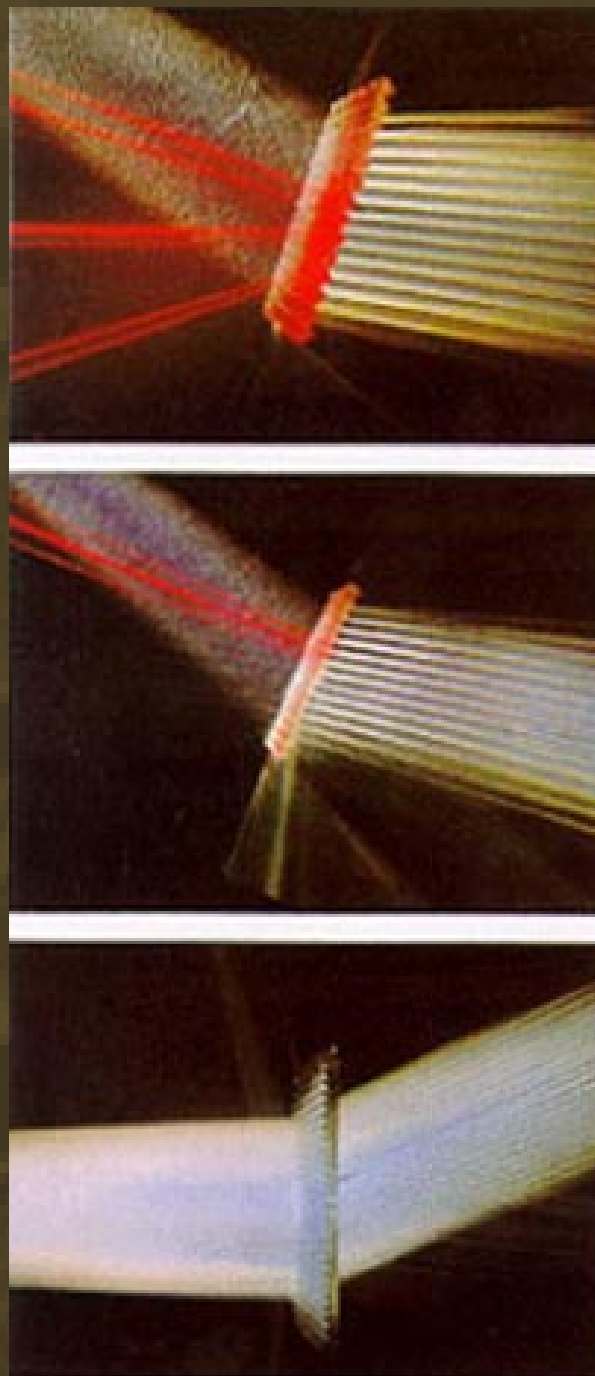
Thomas Herzog, *Design Center*, Linz (Austria), 1993.

Schema del comportamento della luce naturale rispetto al reticolo retroflettivo. I raggi solari sono evidenziati secondo molteplici direzioni e angoli di incidenza contro le lamine di alluminio: il reticolo consente una attenuazione e una diffusione indiretta dei raggi, creando nell'ambiente interno un effetto di "corte lucernario".

(fonte: Thomas Herzog, *Design Center, Linz*, Hatje, Monaco, 1994, p. 102).

argomenti di cultura tecnologica

Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



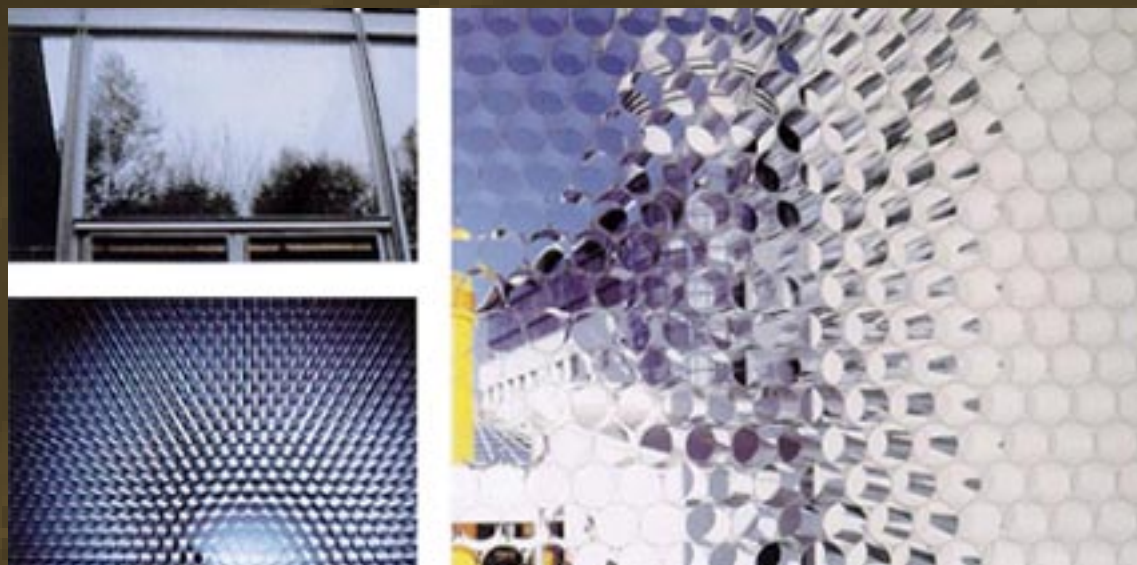
Pannelli reattivi a vetri prismatici.

Questi componenti utilizzano la proprietà del vetro e delle materie plastiche trasparenti di riflettere diverse porzioni della luce che giunge su di loro secondo l'angolo di incidenza, trasmettendo in misura maggiore i raggi con direzione che si avvicina alla normale alla loro superficie. La luce trasmessa viene poi direzionata verso il soffitto degli spazi interni mediante le sfaccettature presenti sulla superficie interna o esterna della lastra. In dettaglio: a) captazione dei raggi solari; b) captazione e diffusione dei raggi solari; c) diffusione dei raggi solari diretti.

(documentazione Siemens).

argomenti di cultura tecnologica

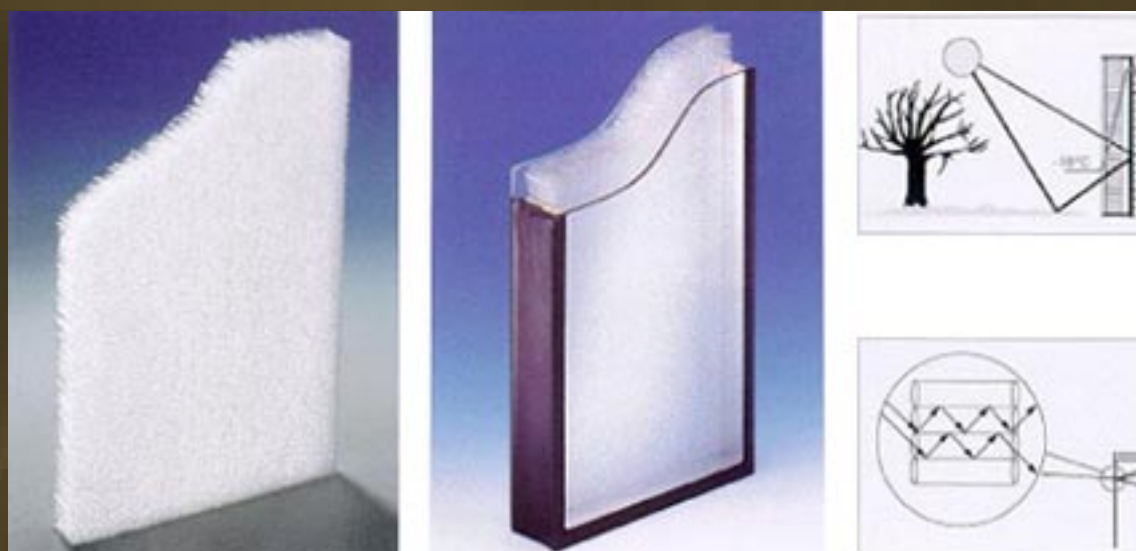
Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



Pannelli realizzati con materiali isolanti trasparenti.

Questo pannello può essere applicato come sistema di illuminazione naturale oppure come parete solare per accumulo di energia. Attraverso l'effetto di pilotaggio della luce è possibile raggiungere una distribuzione di luce regolata negli spazi interni mentre, con il suo alto grado di trasmissione e le proprietà di isolamento termico, una parete solare di questo tipo produce un risparmio energetico di 299 kWh/mq l'anno.

(documentazione Helioran).

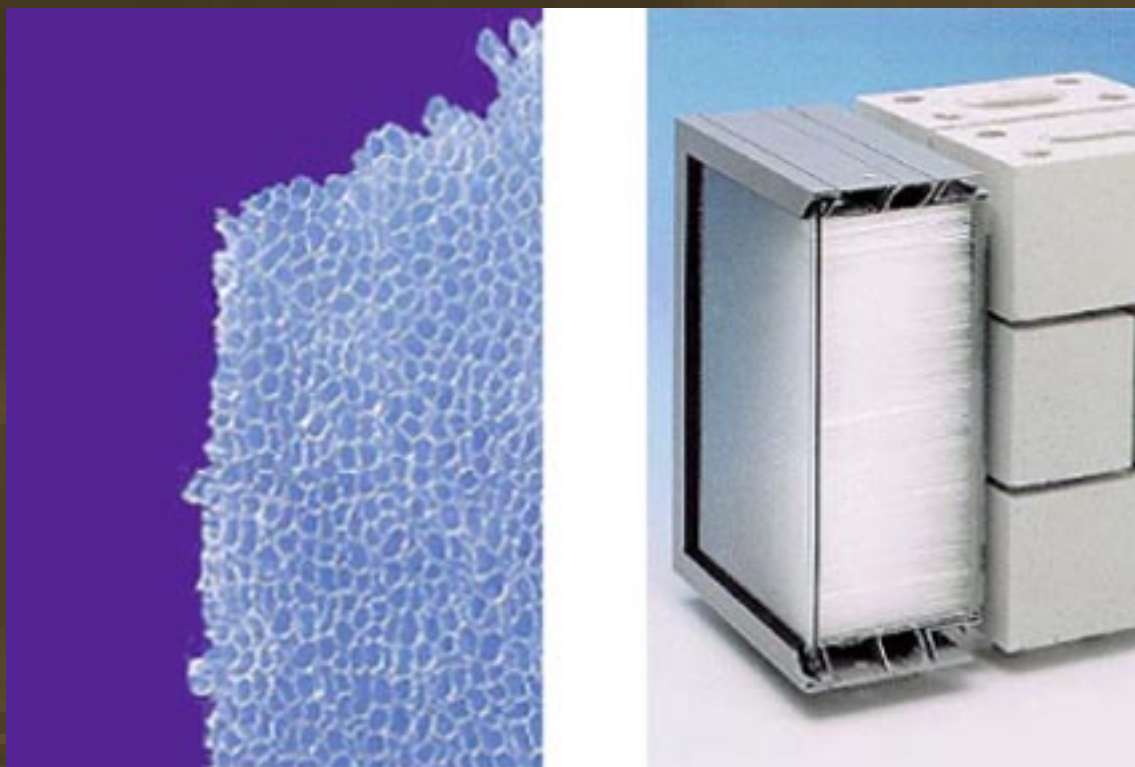


Pannelli realizzati con materiali isolanti trasparenti.

La struttura capillare di questo pannello si accorda al principio dell'isolamento del calore traslucente: essa racchiude le caratteristiche di massima permeabilità all'irraggiamento solare con un elevato isolamento termico. Il *Kapipane*, una barriera trasparente al calore configurata in modo capillare, consiste in una miriade di tubicini (diametro: 3,5 mm) di pellicola sottile orientata perpendicolarmente alla superficie. Attraverso la riflessione sulla parete dei tubicini la luce viene deviata e, nell'uso senza lastra assorbente, viene trasmessa in profondità negli spazi interni così da migliorare l'intensità di illuminazione dello spazio. Il principio funzionale di isolamento termico si basa sull'irraggiamento del sole su una parete assorbente dipinta di nero posteriore al materiale traslucente: la parete si scalda e trasmette il calore agli ambienti contigui. (documentazione Kapipane).

argomenti di cultura tecnologica

Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



Pannelli realizzati con materiali isolanti trasparenti.

Il sistema traslucido con qualità di isolamento termico prevede tre applicazioni: utilizzo dell'energia solare, impiego come sorgente isolata di luce, riscaldamento dei collettori d'acqua. Il materiale sintetico (polimetilmetacrilato) in forma tubolare consente il passaggio della luce e la trasforma in calore. I tubolari di materiale sintetico sono montati tra una lastra di vetro e un piano di assorbimento e sono contenuti in un telaio di montaggio.
(documentazione Schweizer).

argomenti di cultura tecnologica

Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



Thomas Herzog, *utilizzo dei materiali isolanti trasparenti nell'edilizia residenziale.*

L'applicazione di lastre composte da aerogel omogenei e granulari, di natura inorganica, nell'involucro edilizio consente un elevato risparmio energetico, grazie allo sfruttamento passivo dell'energia solare, e un miglioramento delle condizioni di comfort termico dell'ambiente interno, a causa del basso valore di trasmittanza termica e dell'elevato valore di trasmissione della luce in forma diffusa.

(da: *Detail*, n. 1, feb./mar., 1995, p. 33).

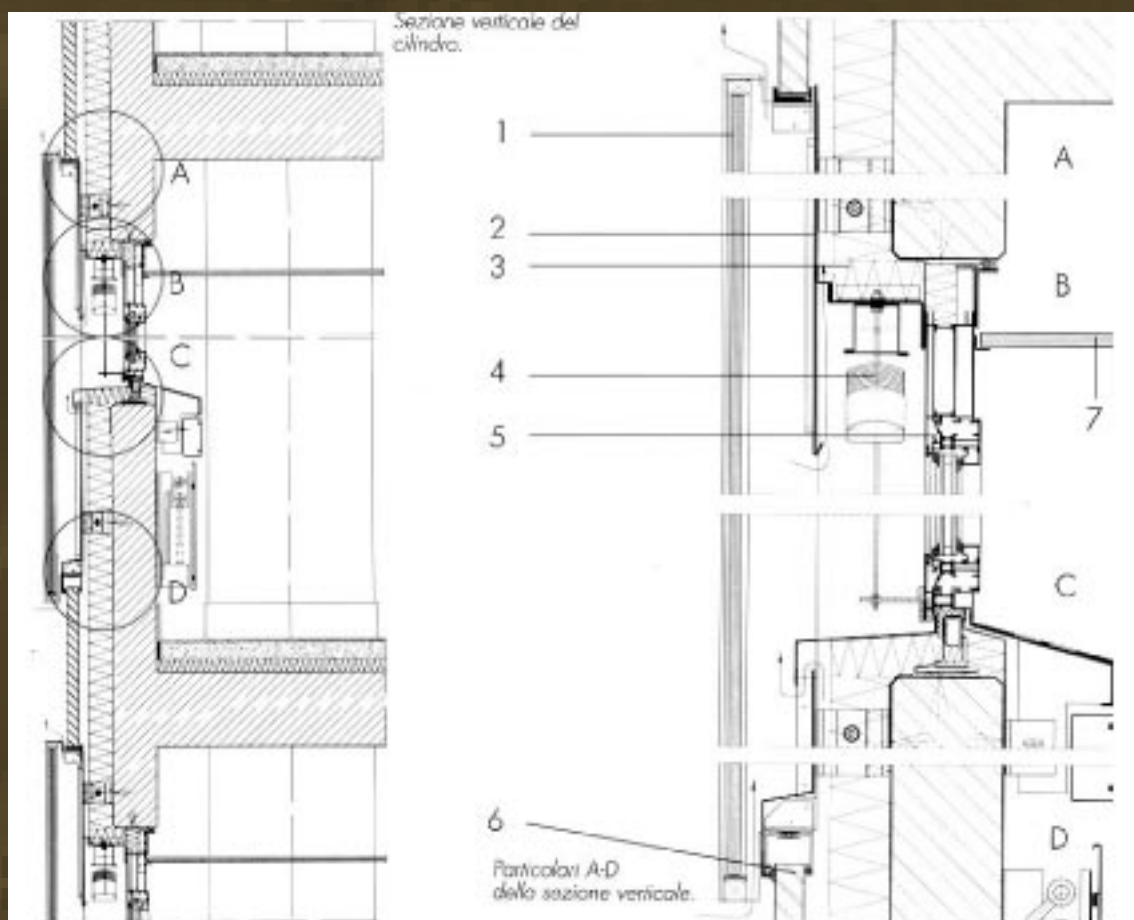
argomenti di cultura tecnologica

Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



Bülow Löwentor-Center, Stoccarda, 1992.

Si tratta di un edificio a uso uffici di 15 piani, di forma cilindrica, con due corpi sporgenti. La costruzione si caratterizza per l'applicazione di un sistema di facciata a doppio rivestimento, per prevenire dispersioni di calore in inverno e l'eccessiva irradiazione solare d'estate. Al corpo strutturale dell'edificio, definito da finiture tradizionali, quali parapetti in muratura e nastri di finestre con aperture ad anta o ad anta e ribalta (per la pulizia dell'intercapedine ventilata e l'aerazione dei locali) è stato previsto un rivestimento realizzato con lastre di vetro monolitiche temperate, vincolate lateralmente a una struttura portante in alluminio.
(documentazione Schüco).

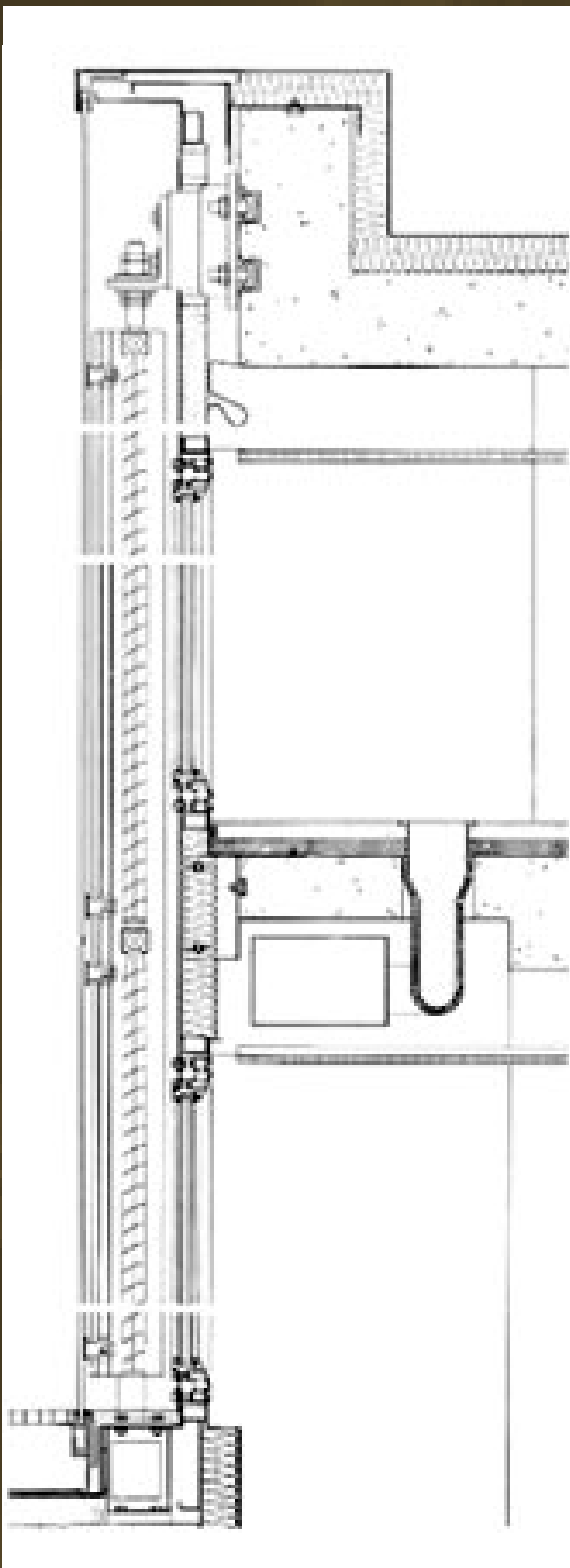


Bülw Löwentor-Center, Stoccarda, 1992.

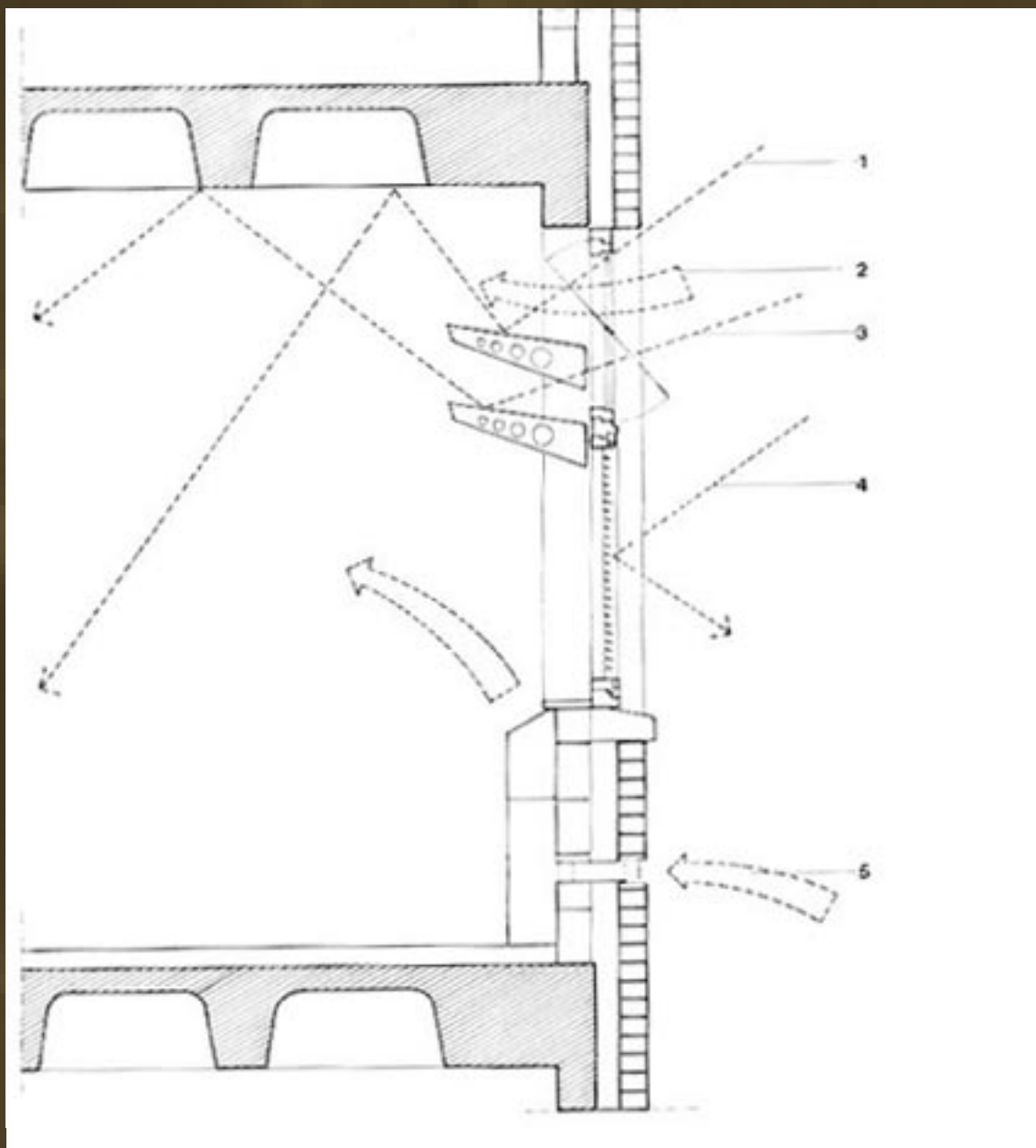
Sistema di facciata a doppio rivestimento, con con lastre di vetro monolitiche temperate. In dettaglio (sezione verticale): 1. lastra di vetro ventilata (spessore: 16 mm); 2. lamiera di rivestimento ventilata in corrispondenza del canale di alloggiamento della tenda a lamelle; 3. materassino isolante (spessore: 80 mm); 4. tenda esterna a lamelle guidata lateralmente da cavi; 5. finestratura; 6. rivestimento in pietra naturale; 7. controsoffitto.
(documentazione Schüco).

argomenti di cultura tecnologica

Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



Norman Foster,
Business Promotion Centre, Duisburg, 1993. Sezione verticale della facciata. La facciata è formata da un'intercapedine a tutta altezza, delimitata da due superfici vetrate che contengono delle veneziane metalliche perforate. Il vetro interno è costituito da una vetrata isolante riempita con argon e con vetro interno basso-emissivo. Il vetro interno è apribile per la manutenzione, mentre quello esterno è sospeso ai montanti verticali. La camera d'aria continua per tutta l'altezza dell'edificio consente l'estrazione dell'aria calda che si accumula nell'intercapedine della facciata durante i mesi estivi e costituisce uno strato d'aria isolante in cui viene fatta circolare e preriscaldare l'aria, successivamente immessa negli ambienti di lavoro durante i mesi invernali. (da: Laura Pedrotti, *La flessibilità tecnologica dei sistemi di facciata. Evoluzione delle tecniche di produzione e di assemblaggio*, Angeli, Milano, 1995, p. 147).



Arup Facade Engineering, *Anglia Polytechnic University*. Studio del sistema di facciata.

Il progetto affida alla finestra la funzione di consentire la ventilazione naturale dell'edificio e il controllo del comfort visivo e termico. Le finestre dell'edificio sono alte 2,05 m e larghe 1,8 m, e si restringono a 1,5 m nel prospetto a sud-ovest e a 1,2 m a sud. In dettaglio: 1. luce diffusa dagli scaffali; 2. ventilazione naturale; 3. luce diffusa dagli scaffali; 4. luce riflessa dalla veneziana posta nel vetrocamera; 5. ventilazione naturale.

(da: Laura Pedrotti, *La flessibilità tecnologica dei sistemi di facciata. Evoluzione delle tecniche di produzione e di assemblaggio*, Angeli, Milano, 1995, p. 142; ridisegno dell'autore da *The Architects Journal*, n. 2, giu., 1993, p. 43).

argomenti di cultura tecnologica

Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



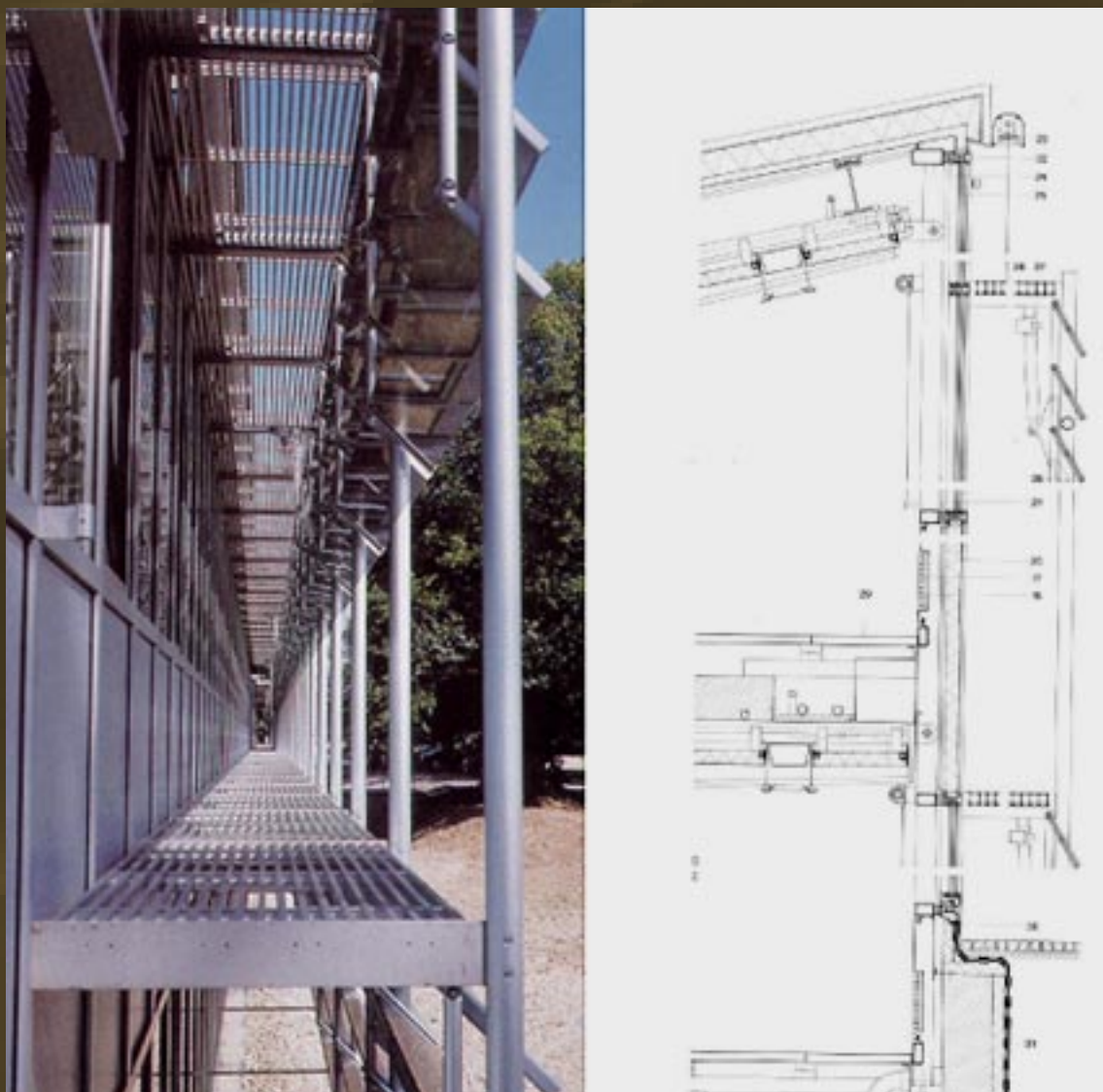
Kurt Ackermann, *Design Office*, Gundelfingen.

La facciata dell'edificio è caratterizzata da una intelaiatura in alluminio che sostiene delle lastre di vetro a triplo strato: due strati sono di tipo riflettente, consentendo la dispersione delle radiazioni infrarosse, e uno strato è riempito di gas inerte. La stessa intelaiatura sostiene delle lamine di vetro semitrasparenti regolabili, che permettono di schermare i raggi solari diretti e l'ingresso di luce diffusa negli spazi interni.

(da: *Detail*, n. 6, dic./gen., 1992, p. 592).

argomenti di cultura tecnologica

Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



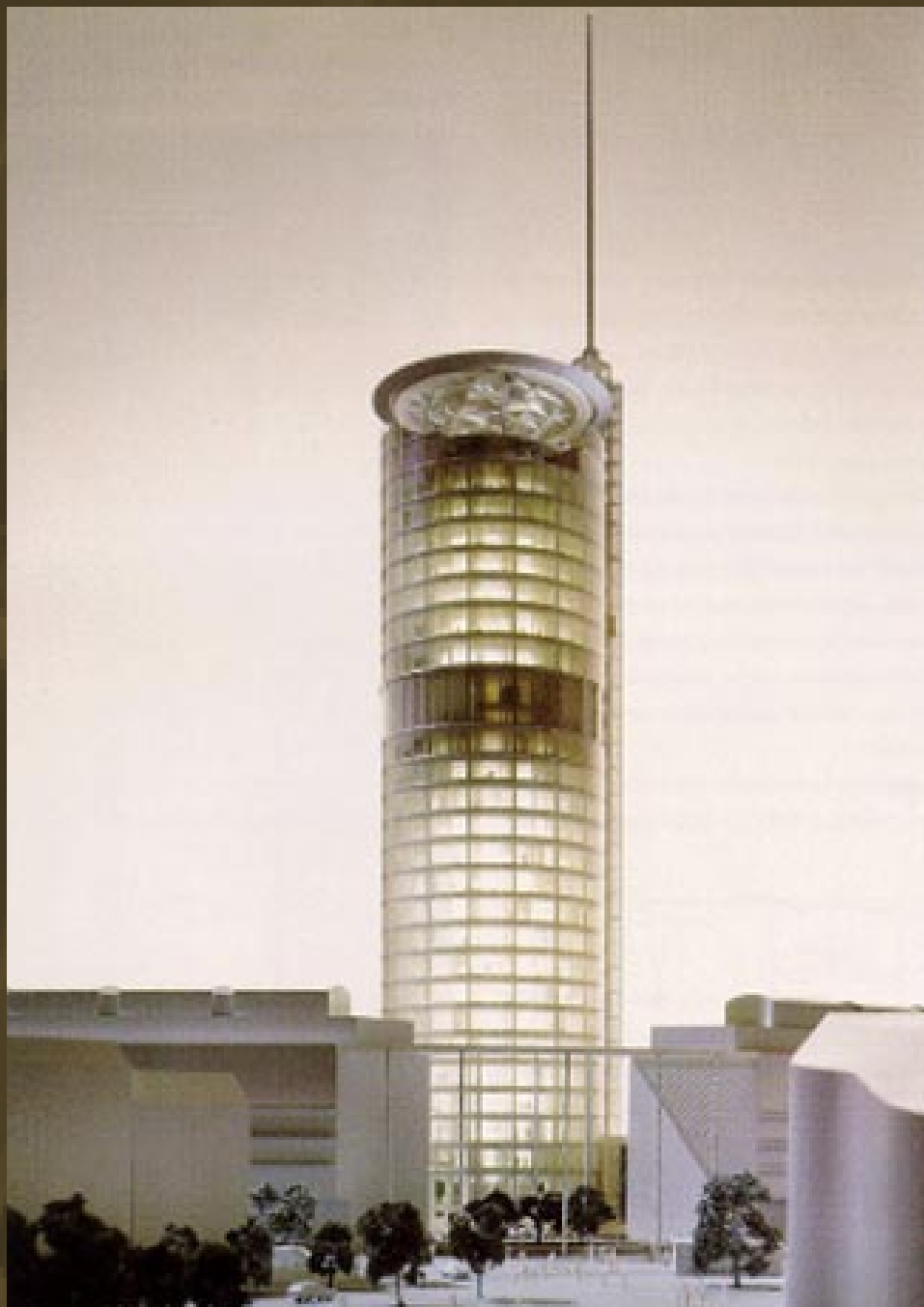
Kurt Ackermann, *Design Office*, Gundelfingen.

Involucro dell'edificio costituito da una pannellatura di lastre di vetro a triplo strato e da un sistema di rivestimento esterno costituito da lamine di vetro semitrasparenti regolabili. In dettaglio (sezione verticale): 17. griglia in alluminio per la ventilazione; 18. filtro; 20. pannello di facciata (lastra di alluminio, isolamento termico, pannello ad accumulo di calore, lastra di alluminio); 22. profilo in alluminio; 23. protezione del sistema di oscuramento; 24. profilo in acciaio; 25. triplo vetrocamera; 26. griglia in alluminio; 27. supporto in acciaio inossidabile; 28. finestratura regolabile; 29. pavimentazione; 30. risvolto in acciaio; 31. guaina bituminosa.

(da: *Detail*, n. 6, dic./gen., 1992, p. 591).

argomenti di cultura tecnologica

Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



Christoph Ingenhoven, *Sede centrale della RWE AG & Ruhrkohle AG*, Essen, 1996.

Si tratta di un grattacielo di forma cilindrica la cui disposizione prevede gli uffici collocati al perimetro e la parte di servizio al centro. La facciata è composta da un doppio involucro ideato secondo alcune tecniche finalizzate al risparmio energetico. La facciata è composta da un doppio involucro ideato secondo alcune tecniche finalizzate al risparmio energetico. La parte di intercapedine (dello spessore di 50 cm) posta tra i due pannelli di facciata può essere ventilata in modo naturale attraverso l'apertura delle feritoie al livello della soletta.

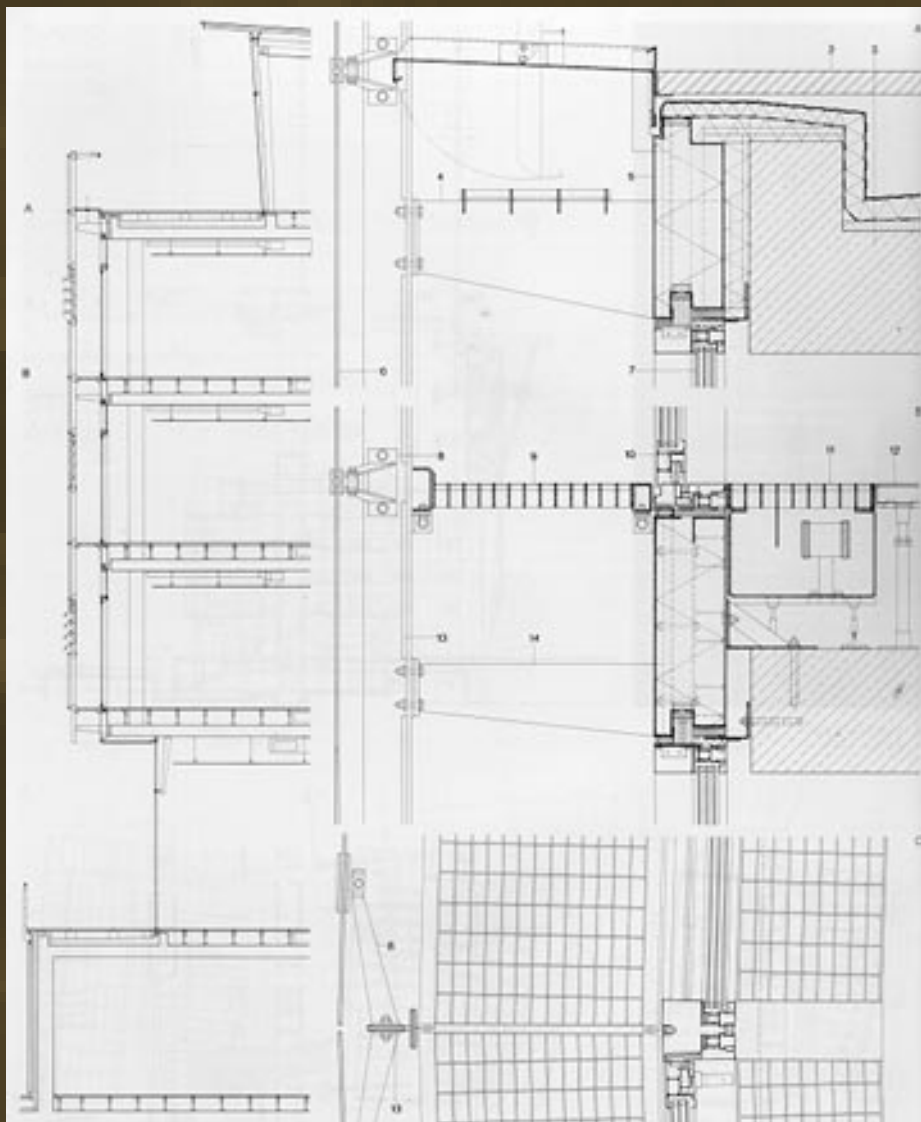
(da: Andrea Compagno, *Intelligent Glass Façades*, Artemis, Zurigo, 1995, p. 106).



Christoph Ingenhoven, *Sede centrale della RWE AG & Ruhrkohle AG*, Essen, 1996.

La facciata dell'edificio è costituita da una parte esterna in vetro riflettente, con opportune bocchette di ventilazione al livello della soletta, e da una parte interna isolante: nell'intercapedine tra le due superfici circola l'aria esterna, favorita da un "effetto camino" innescato dal calore irradiato dalla vetrata interna. Durante il periodo invernale la presenza di uno schermo esterno consente di aumentare la resistenza termica effettiva, mentre durante il periodo estivo la differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno provoca un flusso d'aria con conseguente diminuzione della quantità di calore in ingresso nell'edificio. Inoltre, lo spazio tra le due facciate è impiegato come elemento serra (per utilizzare nell'edificio l'aria preriscaldata durante la stagione invernale), messo in comunicazione con l'interno attraverso una parte pronunciata delle solette che svolgono la funzione di accumulatori termici.

(da: Andrea Compagno, *Intelligent Glass Façades*, Artemis, Zurigo, 1995, p. 107).

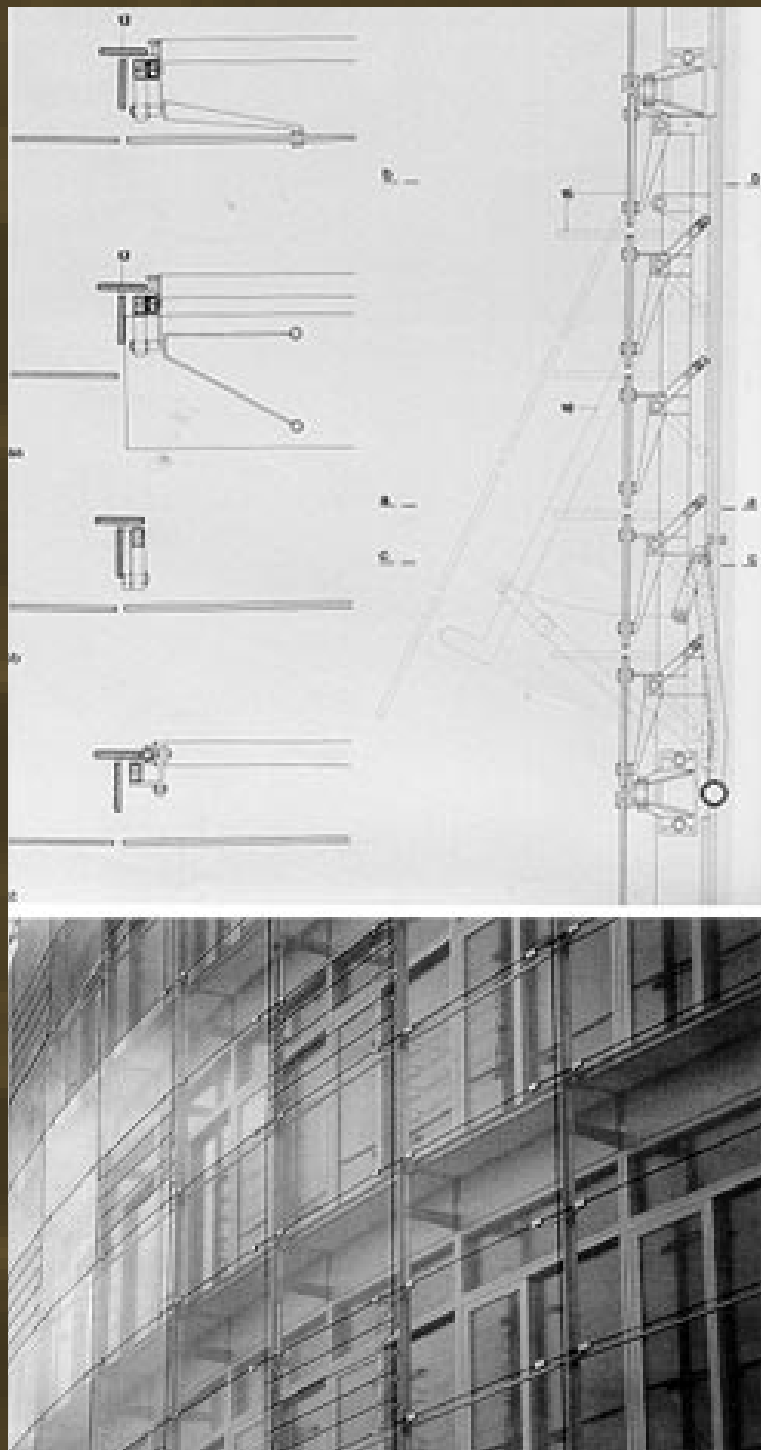


Rodolphe Luscher, *Centro per le telecomunicazioni a Losanna-Ecublens*, 1995.

Sezione verticale e orizzontale in corrispondenza della facciata. In dettaglio: 1. lamina in acciaio inossidabile (regolabile per il controllo della ventilazione); 2. lastra in granito; 3. soletta in cemento armato; 4. supporto in acciaio inossidabile (670/250/15 mm); 5. scocca in alluminio con isolante termico interno; 6. involucro esterno: lastra di vetro (spessore: 8 mm) con giunti in acciaio; 7. involucro interno: triplo vetro (spessore: 36 mm) con argon nelle intercapedini; 8. braccio di sostegno in acciaio inossidabile; 9. griglia in acciaio inossidabile a livello del pavimento; 10. telaio in alluminio della porta scorrevole; 11. strato di copertura con funzione termoconvettrice; 12. pavimento galleggiante; 13. montante in acciaio inossidabile (di sezione orizzontale a T); 14. supporto in acciaio inossidabile (670/250/15 mm); 15. feritoia di ventilazione (regolazione massima fino a 90°); 16. intelaiatura regolabile per la pulizia delle lastre.
(da: *Detail*, n. 4, giu., 1996, p. 556).

argomenti di cultura tecnologica

Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



Rodolphe Luscher, *Centro per le telecomunicazioni a Losanna-Ecublens*, 1995.

Sezione verticale e orizzontale in corrispondenza della facciata. Particolare del sistema di regolazione degli elementi costruttivi dell'involucro esterno e di ventilazione: in evidenza i meccanismi delle strutture di sostegno e delle lastre di vetro. In dettaglio: 13. montante in acciaio inossidabile (di sezione orizzontale a T); 15. feritoia di ventilazione (regolazione massima fino a 90°); 16. intelaiatura regolabile per la pulizia delle lastre.

(da: *Detail*, n. 4, giu., 1996, p. 557).

argomenti di cultura tecnologica

Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



Rodolphe Luscher, *Centro per le telecomunicazioni a Losanna-Ecublens*, 1995.

La facciata esterna presenta un sistema a doppio involucro, costituito da un vetro monostrato all'esterno e da un vetro triplo all'interno. Questa applicazione consente un elevato grado di isolamento termico durante la stagione invernale. I pannelli orizzontali per il controllo della ventilazione, in alto e in basso, restano chiusi in inverno, permettendo un lieve ricambio d'aria per evitare la formazione di condensa. Gli altri vantaggi dovuti al doppio involucro sono determinati dall'accumulo di calore consentito dall'effetto serra, durante i periodi più freddi, una elevata illuminazione e un notevole isolamento acustico. Gli effetti negativi causati dalla luce abbagliante sono risolti dagli schermi collocati nella parte interna dello spazio intermedio. Per evitare i fenomeni di surriscaldamento durante l'estate è possibile regolare le lamine di vetro poste nella parte esterna dell'involucro: questo determina un sistema di ventilazione naturale nello spazio intermedio, mediante l'elevata aspirazione di aria esterna che avviene grazie all'apertura delle lamine di vetro.

(da: *Detail*, n. 4, giu., 1996, p. 558).

argomenti di cultura tecnologica

Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



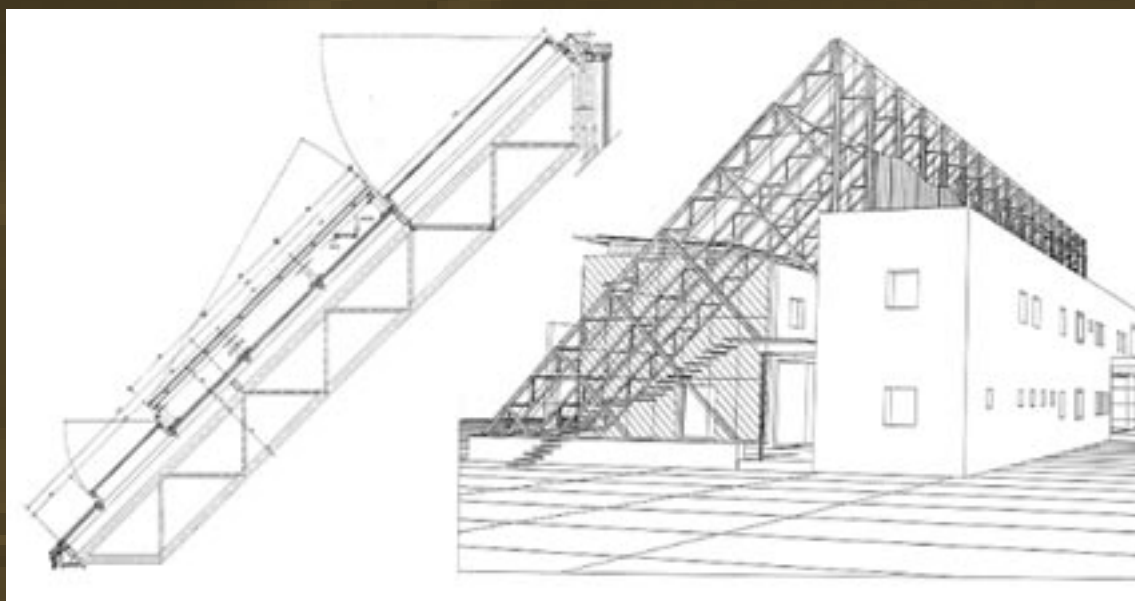
Herzog & de Meuron, *sede centrale della Swiss Insurance Company*, Basilea, 1993.

L'edificio presenta un sistema a doppio involucro, in cui la pannellatura esterna presenta delle lastre a vetri prismatici poste nella parte superiore della facciata. In questo modo, i pannelli a vetri prismatici escludono l'ingresso dei raggi solari diretti (quando il sole si trova basso sull'orizzonte) e consentono il passaggio della luce diurna proveniente dallo zenit, direzionandola verso il soffitto degli spazi interni. Inoltre, tale applicazione garantisce la riduzione del surriscaldamento estivo che è dovuto al guadagno solare passivo ottenuto mediante la struttura dell'involucro.

(da: Andrea Compagno, *Intelligent Glass Façades*, Artemis, Zurigo, 1995, p. 100).

argomenti di cultura tecnologica

Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



Funk & Schröder, *Kindergarten*, Francoforte, 1990.

L'asilo nido presenta, sul lato esposto a sud, dei collettori solari integrati e un impianto fotovoltaico, parallelo alla vetrata. Questo sistema di involucro consente anche un accumulo di calore, grazie al conseguente effetto serra che si determina per la presenza dei pannelli vetrati.

(da: Othmar Humm, Peter Toggweiler, *Photovoltaics in Architecture*, Birkhäuser, Basilea, 1993, p. 25).

argomenti di cultura tecnologica

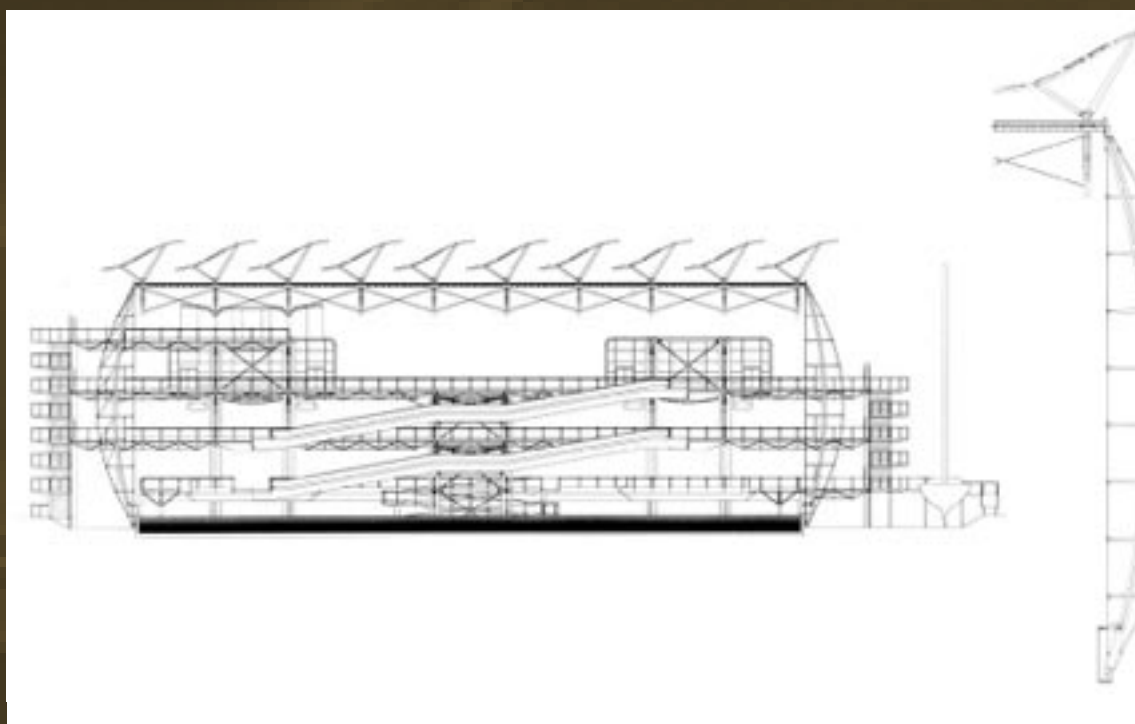
Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



Nicholas Grimshaw, *Padiglione britannico a Siviglia, 1992*.
Integrazione dell'involucro edilizio con elementi fotovoltaici. In questo padiglione l'energia elettrica ottenuta dalla conversione dell'energia solare è usata per rinfrescare gli ambienti interni. Sul lato est del padiglione rettangolare scorre dell'acqua sopra una vetrata e cade in un bacino, da cui viene filtrata e ripompata: l'acqua viene così raffreddata. L'energia che aziona le pompe è prodotta da una serie di "vele solari" a forma di S, posta sulla sommità dell'involucro edilizio, dotata di pannelli solari.
(dai: Othmar Humm, Peter Toggweiler, *Photovoltaics in Architecture*, Birkhäuser, Basilea, 1993, p. 45).

argomenti di cultura tecnologica

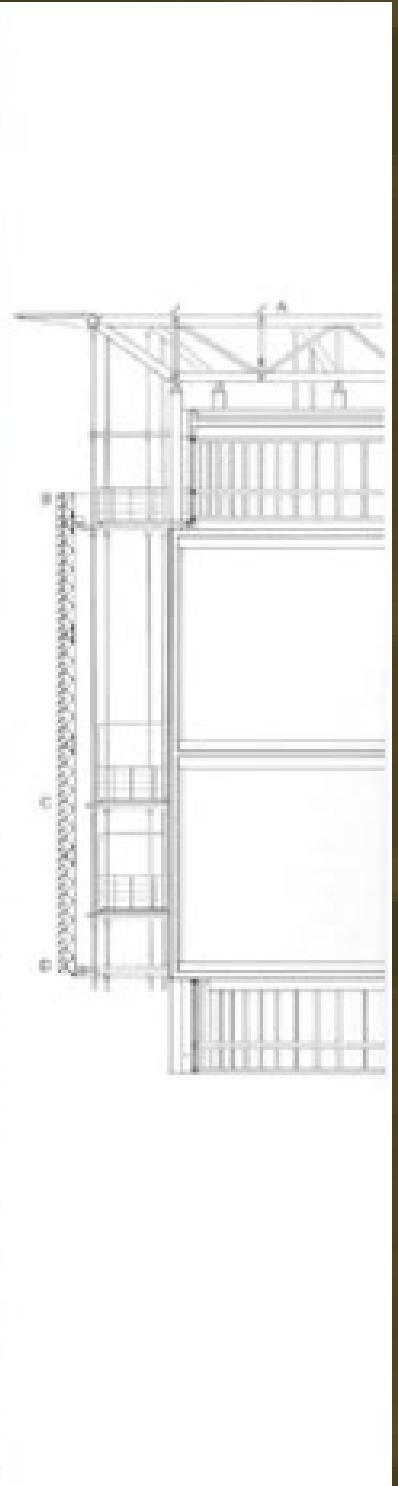
Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



Nicholas Grimshaw, *Padiglione britannico a Siviglia*, 1992.
Sezione dell'edificio in cui risalta la disposizione, in copertura, delle "vele solari" per la captazione dell'energia solare. In dettaglio: particolare della "vela solare" e dell'intelaiatura in tubi e tiranti di acciaio. (da: Othmar Humm, Peter Toggweiler, *Photovoltaics in Architecture*, Birkhäuser, Basilea, 1993, p. 46).

argomenti di cultura tecnologica

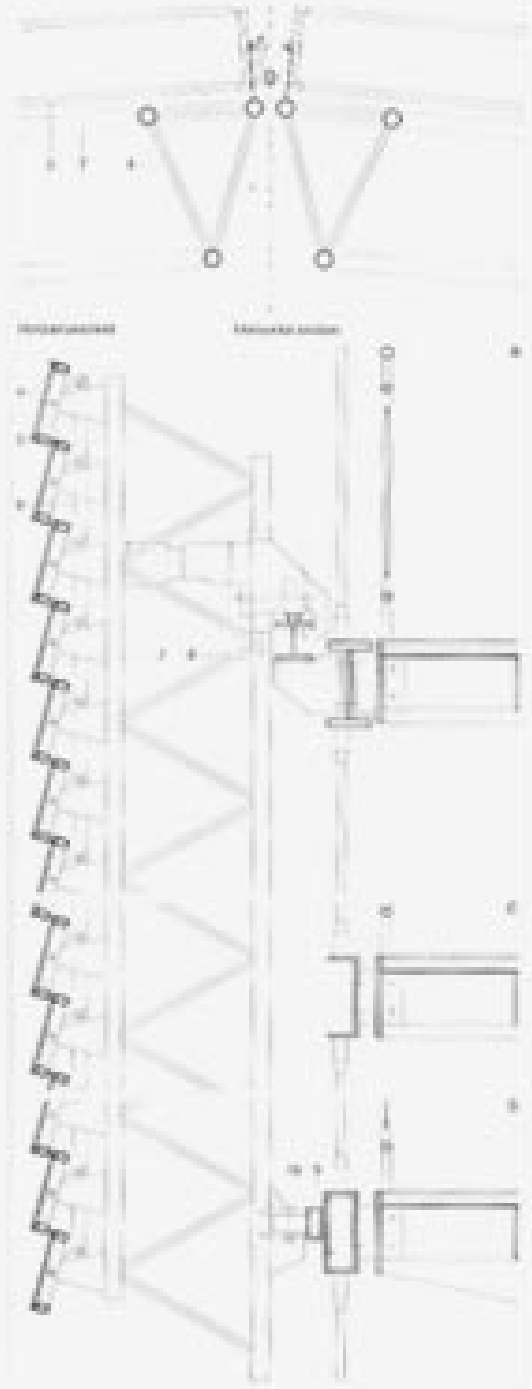
Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



iemens AG, *Padiglione espositivo tedesco*, Siviglia, 1992.
Integrazione dell'involucro edilizio con elementi fotovoltaici, caratterizzati da lastre di vetro acrilico a sezione prismatica regolabili sostenute da una intelaiatura in acciaio inossidabile.
(da: *Detail*, n. 6, dic./gen., 1992, p. 600).

argomenti di cultura tecnologica

Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



Siemens AG, *Padiglione espositivo tedesco*, Siviglia, 1992.

Integrazione dell'involucro edilizio con elementi fotovoltaici. In dettaglio: 4. lastra di vetro acrilico a sezione prismatica; 5. telaio in acciaio inossidabile; 6. supporto per la regolazione; 7. tubolare in acciaio inossidabile; 8. tubolare in acciaio inossidabile; 9. tubo in acciaio; 10. cerniera.

(da: *Detail*, n. 6, dic./gen., 1992, p. 601).



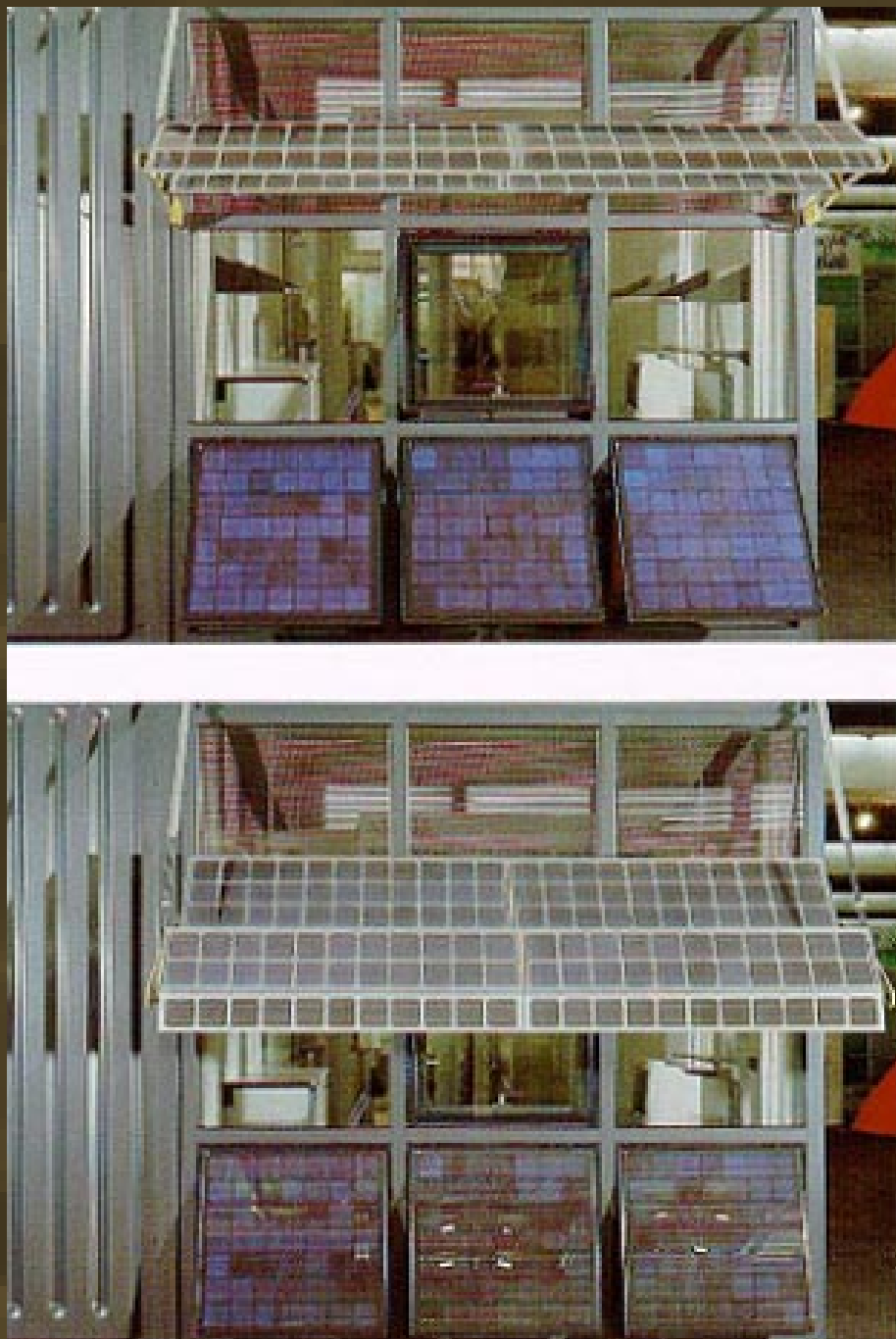
HHS Planners and Architects, *case a schiera* (IGA '93), Stoccarda, 1993.

Le facciate poste a sud presentano, in corrispondenza dei giardini d'inverno, delle pannellature orientabili costituite da lastre di vetro che incorporano uno strato a funzione fotovoltaica e lastre di vetro che includono delle pellicole a comportamento olografico. Le pellicole (o film) a comportamento olografico, a differenza delle vetrate prismatiche, cambiano la direzione dei raggi di luce incidenti mediante il principio della diffrazione e si applicano, in generale, sulla superficie dei pannelli di vetro. Il film olografico consente un notevole miglioramento nella distribuzione della luce naturale negli spazi interni e presenta una elevata sensibilità alla lunghezza d'onda della luce incidente, caratteristica che permette di bloccare la radiazione ultravioletta e, se sottoposto a particolari trattamenti, anche la radiazione infrarossa (responsabile del carico termico passivo negli spazi interni). Le facciate esterne che integrano pellicole olografiche nei pannelli di vetro ricevono un incremento delle prestazioni termiche soprattutto in presenza di irraggiamento solare diretto e per elevati angoli di inclinazione dei raggi rispetto all'orizzontale.

(da: Andrea Compagno, *Intelligent Glass Façades*, Artemis, Zurigo, 1995, p. 48).

argomenti di cultura tecnologica

Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



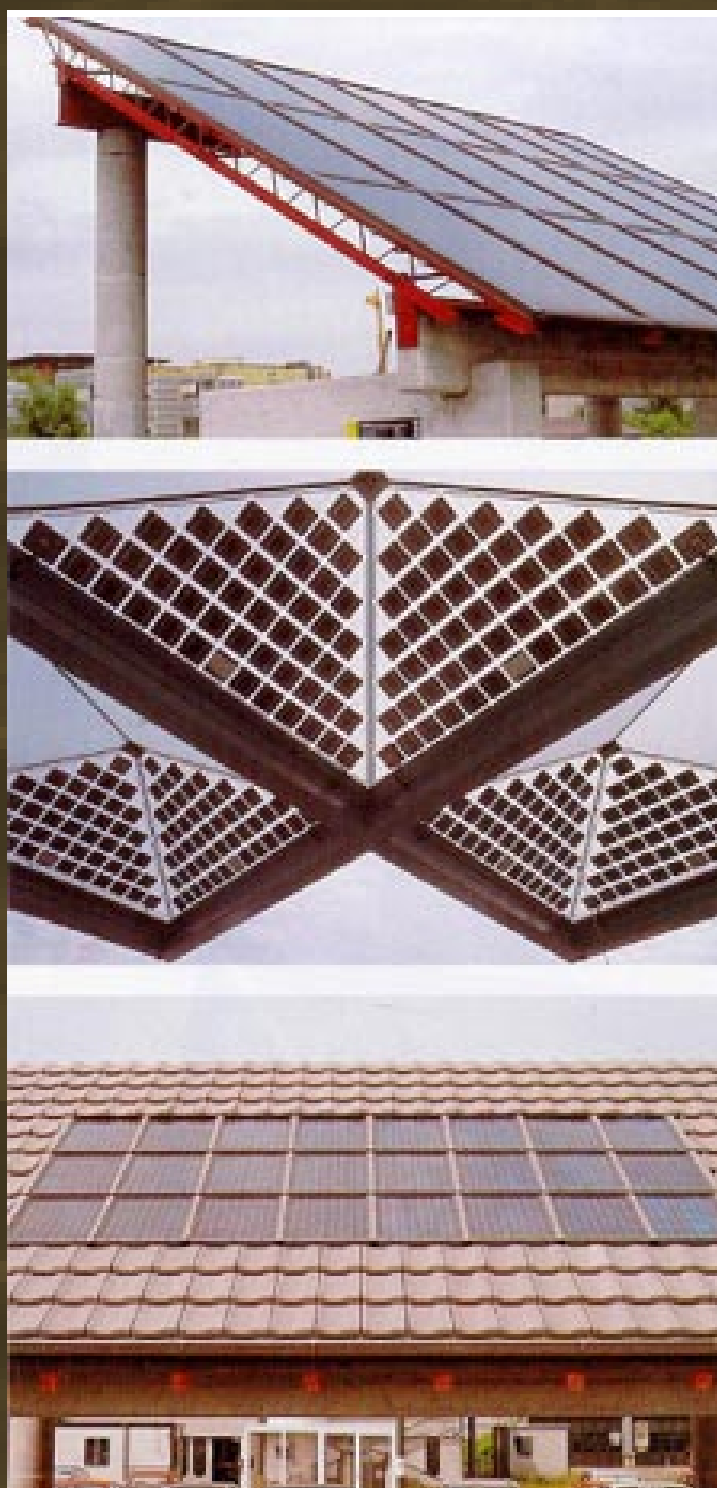
Burckhardt and Partners, *modello di ufficio per la Swissbau '93*, 1993.

La facciata esterna di questo modulo edilizio presenta delle lamelle ombreggianti e dei pannelli fotovoltaici - le prime poste sopra e i secondi sotto le finestre - che si inclinano in corrispondenza dell'orbita solare, creando una schermatura ai raggi solari e permettendo di sfruttare al meglio l'impianto di produzione di energia fotovoltaica. Attraverso la riflessione parziale interna, le lamelle fotovoltaiche regolano la diffusione della luce in caso di condizioni di luce esterne poco favorevoli.

(da: Othmar Humm, Peter Toggweiler, *Photovoltaics in Architecture*, Birkhäuser, Basilea, 1993, p. 21).

argomenti di cultura tecnologica

Sistemi di tamponamento stratificati e a comportamento dinamico e reattivo



Coperture integrate da pannelli fotovoltaici.

L'interazione tra i numerosi materiali di costruzione e i pannelli fotovoltaici apre nuovi orizzonti alla configurazione di tetti e facciate. Si indicano alcune soluzioni promosse dalla ditta APS (Advanced Photovoltaic System) di New York (in alto: tetto fotovoltaico con moduli fotovoltaici integrati), dalla ditta Colt International di Baar, Svizzera (al centro: tetto piramidale dotato di elementi fotovoltaici trasparenti) e dalla ditta Newtec (in basso: vela solare).

(da: Othmar Humm, Peter Toggweiler, *Photovoltaics in Architecture*, Birkhäuser, Basilea, 1993, p. 38).