

# CLIMATE RESPONSIVE ENVELOPES

Frontiere dell'innovazione tecnologica e prestazionale nel progetto della pelle degli edifici

*Frontiers of technological and performance innovation in the design of the buildings skin*

INDICE | INDEX

## **Introduction**

***Environmental and climatic adaptivity of the architectural envelope: a not so distant future***

7

**1. L'involucro architettonico: da barriera protettiva a interfaccia dinamico, selettivo e adattivo tra macroambiente esterno e microambiente interno**

13

**2. Smaterializzazione *versus* massività: alla ricerca dei nuovi requisiti ambientali della pelle degli edifici**

45

**3. Concezione aperta e flessibile di ruoli, prestazioni, configurazioni**

55

**4. Strategie adattive per la gestione degli aspetti termici e fluidodinamici dell'involucro**

65

4.1. Quali strategie su quali componenti

65

4.2. Dal componente di base: la finestra, al sistema di componenti: l'involucro trasparente, semiopaco

67

4.3. L'evoluzione: i sistemi d'involucro edilizio per la gestione bioclimatica passiva dell'energia solare

77

4.4. L'innovazione: gli elementi di controllo del comportamento prestazionale dei sistemi d'involucro

88

**5. Categorie e caratteri dei sistemi tecnologici dell'involucro adattivo**

92

5.1. L'involucro interagente in senso passivo e attivo con l'energia solare

95

5.2. L'involucro regolatore dei flussi luminosi naturali in entrata

98

5.3. L'involucro schermato e oscurato

108

**6. Innovazione delle frontiere d'involucro: tre questioni centrali**

115

6.1. Considerazioni preliminari

115

6.2. Adattabilità, mutabilità e regolarità dell'involucro al centro della riflessione

116

6.3. L'indissolubile rapporto involucro/clima/energia

119

**7. Gli attuali sviluppi dell'innovazione tecnologica e tipologica dell'involucro architettonico**

123

7.1. Evoluzione tecnologica *in progress* degli involucri architettonici

123

7.2. Evoluzione tipologica *in progress* degli involucri architettonici

133

<b>8. Nuove frontiere per le future evoluzioni dell'involucro architettonico.</b> <i>Conclusioni in progress</i>	153
---	-----

## APPARATI DI SUPPORTO | *SUPPORT REFERENCES*

<b>Nuovi fattori prestazionali dell'involucro architettonico</b> <i>Valeria Cecafosso</i>	169
<b>Riferimenti bibliografici   <i>References</i></b>	199
<b>Legislazione di riferimento   <i>Reference Legislation</i></b>	212
<b>Norme UNI di riferimento   <i>UNI Reference Standards</i></b>	213

## ***Introduction***

### ***Environmental and climatic adaptivity of the architectural envelope: a not so distant future***

The choices concerning technological projects in the production of the components for the surfaces of the buildings are today finalized to reach the global of eco efficiency and environmental quality in architecture. One of the main points on which architecture focuses its attention and efforts is without doubt the research and efficient control of natural lighting.

In concrete, this experimental attitude has become fundamental in the application of research which aim is to enhance the level of innovation and performance, so that even research and industry are strongly considering the conversion of the entire technological system. This system deals with the organization/planning/ production/control/monitoring of the envelope component. In this way the lay out of the performance is enhanced and less energy is used in relation with the bio physical conditions, which are exactly those of the local environment and the micro climate conditions which are strongly linked to the delicate matter of the quality of living spaces and its benefits in particular in relation to the interaction of internal and external conditions filtered through the envelope element itself. One of the main roles in this point of view is the "Control of transparency", which needs to be focused on because it is subject on one hand to great positive changes but on the other it can also cause many problems with negative effects due to the way in which "transparency" is applied. The fact of being aware of the increasing use of glazed envelope, semi transparent and translucent material or in any case the intelligent and dynamic use of transparency also in the non transparent walls, highlights the great advantages in pursuing eco efficiency in architecture.

For this reason it will be very important to face and experiment the matter of "controlling transparency" the transparent closures and the techniques related to innovative and environmental friendly material which support the efficiency of the control in question, with a point of view that gives a priority first to the intention of reaching the goals thanks to the optimization of the natural lightning but also at the same time by the use of the "passive" management and control of ventilation, lightning, natural cooling and heating in morphologic and typological different content. Increasing in development and capable of bringing great benefits. Its use enables to enlarge spaces, to look at the exterior in the same spectacular way in which the transparent surface of the wall is extended.



*Herzog + Partner, Casa atelier, Monaco, Germania*



*Ash Sakula Architects, Shared-Ownership housing, London*



Its use provides and makes powerful the use of natural lighting, allowing it to enter directly and facilitating its diffusion inside the building integrating it with specific elements and systems.

Finally it also involves the relevant possibility by an energetic point of view to develop the warming effect that generates and transmits heat. Unfortunately it is known that such benefits need to be controlled and managed in order to prevent the contrary effect. It is very easy to face with discomfort conditions in certain seasons (dazzling phenomena during the entire period of the year and an excessive thermo contribution as the warming effect during the warm seasons and which is very difficult to bring benefits and advantages by an economical and technological point of view. Moreover, the qualities linked to transparency may cause problems such as cleanliness, maintaining with these, other elements contribute to worsen its management and these are the easy conditions in which the cleanliness and integrity may deteriorate.



In concrete, the precious “position next to the window” if badly projected and designed, could be instead the coldest or warmest place of the building, the most uncomfortable for the longest period of the year, the most subjected to dazzling phenomena and in the end the dirtiest and most deteriorated place which is unacceptable by a planning and programmatic point of view in what is meant today in architecture by a sustainable space, where moreover, it shouldn't be forgotten, this would put in danger the necessary development and increase of the awareness of future generations of the quality in its total of the spaces in which one lives and the environmental and bioclimatic quality now impossible to be ignored in order to fulfil and meet the requirements of the ethic of sustainability.

Architects 61, Asia Pacific Headquarters, Singapore



DGT architects, Estonian national museum, Tartu, Estonia

In the future the transparent and transfused envelopes will share the mutual transfer of technologies involving marine, aeronautic, motor, electronic, optical point of view so that architecture will make possible the use of an envelope which will be able to characterise the bio climatically a building with the use of total natural material and reduce nearly to zero in a passive way its energy consumption. As it is well known, most of these technologies aimed for these purposes already exist or are being studied also in other fields with the intention to be readapted later. For example, it is significant the example of the technologies of advanced coatings, which are developing especially, thanks to the experimentation in the transports and in particular in the aerospace sector and from these we perceive only the beginning and their potential and exponential development. In trying to make a material better and its context projected to what it results to be more adapted to, it is possible to analyse the entire series of rating and characteristics and at the same time be aware of the requirements that lead the researcher to

work starting by the problems, going through the objects defined and concrete that lead you to specific operative strategies and technological solutions. For example, the theme of multiple and specialised stratification, clutches an important factor, which years before was unconsidered but now can't be left aside in the projection of the envelope of the building which is efficient by and ecological and energetic point of view which is the control of the quantity of solar energy received and the thermal energy released in the output, in trying to find the often difficult balance between the two, which as known change in relation to the high level of parameters and in particular in their relation with the two above mentioned problems.

The realization of multiple coat of the envelope, which shim can be measured with a nanometre is now an acquainted and common fact, but it will be on its rating of these layers that in the coming decades there will be the whole innovation of the envelope in the building sector.

Systems of rating which are possible to be activated and ruled by an automatic system, contemporary on different levels, electronic integrated films, interlayers and other ratings all require the greatest integration with complex and polyvalent architectural envelopes and the producers of microprocessors in the building and electronic sector will have to lay out a new technological level that today we are staring to perceive and understand and therefore define more clearly in order to lay out components which in few years could change the performance of architecture rating of the twenty first century, not only by the control of the lightning point of view.

The main object of aerogels and for TIM for the chromogens for the pane and the selection of the angles and the spectral (just to mention some examples) and with the combination of these with normal pane or special low emissive material is to reach an online process which puts these material as to used as normal float. It won't be easy but only with technological relevant progress as in the study of components of architecture bio ecological and eco sustainable of the latest years, it will be possible to produce mass getting the cost benefits necessary to have a low price, thanks to which these innovations will find a wide market to be addressed to and the correct financial motivations, considering what shouldn't be forgotten that the well known application will contribute in a definitive way to increase the efficiency of ecology, of the environment and energy saving in those buildings characterised by envelopes which are rich in rating, first of all in those which are public named (also clearly expressed in the recent laws) to offer a "good example of practice" in the large sector of construction to be applied as ex novo in our new contemporary cities.



*Jensen & Skodvin, Chiesa di Mortersurd, Oslo, Norvegia*



*FOBA, Casa di abitazione, Tokyo*



*Vararbergr Okohaus, Christian Walch, Scouts Hostel, Ludesch, Liechtenstein*

There is still the long and fundamental matter concerning the shielding of the solar irradiation in the building sector. The need to control and graduate the penetration of natural light and of the thermal effects of the solar irradiation in the buildings has always been a need which used to be fulfilled thanks to the fact of following simple rules consolidated in determinate cultural and in precise climate areas. During the course of the years, precise different systems have been studied, some of which are the result of the fact of using again construction patterns dated back to ancient, whereas other innovative ones are possible thanks to the ongoing progress of the technological material and components which, thanks to process and particular awareness it has made possible to reach an optimal technoring in the shadowing systems during the period of the strongest insolation.

Today the use of use of new techniques of day light lightening enable to quantify the amount of light orientating in a uniform and eliminating some of the negative aspects of the surfaces of pane surfaces or in general transparent or semi transparent as to mention only those which are the most obvious and bothering effects such as glare and excess of heat production. Considering the envelope of the environment, as an active element capable of transforming the external environmental in energy resources for the optimisation of the "passive " comfort and on one hand of the natural internal climate level, in order to reduce the energy need and the "active " production on the other hand, generally the facade and the envelope become the systems with which the most interesting and possible applications can be experimented and therefore become in some cases components of automatic thermoregulation.

Starting from the objects of the project defined on the basis of the geometrical spaces, and reaching the destination of use and for the customers view, the need to massimify the quality of life and the quantity of light which you can transport and moreover the need to control its quality during the out put requires necessarily a complex iter planning which can be controlled by a scientific point of view. The planning of the systems to apply in different specific areas, in other words it is impossible to lay aside the knowledge of the criteria of the dimension which can lead to define the correct approach of the problem. In this view, the components through which the light goes through are devices thought to enable the transmission of the light from an environment full of light to one right in front. The basal reference element is once more the glaze wall, which has the function to open the non transparent part; either it is a perimeter wall primarily vertical or a horizontal or inclined coverage. In the contemporary conception the glazed window has been used with the meaning of multifunctional element, composed by a series of element which separately but also contemporarily have more than one function in order to fulfil the

requirements of the needs of the classes so as to say 'traditional' and innovative, enabling to have the fundamental functions of control on the natural light and on the thermal passive benefit, that is to operate clearly on the various basal actions to aerate, to lighten, to shield, to allow the view of external, to forbid or not the view of external through the internal, to boost the warming effect changing the solar irradiation into thermal benefits and vice versa in preventing the development of thermal energy and in decreasing the temperature of the air.

In this way it is possible to relate and to lead the organisation of what could be defined as 'global control' in a series of completely autonomous functions even if strictly correlated together. In fact today research and sedimentation in this field has made great progress and the need to control and of the correction of the rating of the glazed surfaces has led the building sector to lay out some components highly innovative by a technological point of view which in many cases have the privilege and the exceptional capacity to put together three functions that once were difficult to combine together in one unique technological class, at the same time it enables the shielding of direct solar light preventing the visual introspection without forbidding the visual introspection and aren't an obstacle in order to see through the external. The components through which the light, air and heat pass through are therefore today be included in a great variety of elements of control which are defined in three main great categories such as external shielding of the envelope, total shielding of the envelope and internal shielding of the envelope.

A good choice and a correct dimension of the shielding system enable a relevant control on the thermal effects due to the solar radiation which is present on the non transparent surface.

Many are the factors which determine a better choice of the shielding systems, the climate, the type of building and the use and costs of construction. All of this requires correct architectural choices in the line with those ones that are considered to better technological and functional solutions in relation to its specific single case. These solutions are each time oriented towards the fulfilment of the best environmental result and the most strict bio climate control. Today there is a trend, moreover curious but nevertheless spread and partially contradicting that is applied to structures of control and solar protection also to environment air conditioned in order to make more efficient the refreshing action and electrical energy friendly, that is to say at a low consumption. Naturally the real aim is another one, to prevent the use of air conditioning, as active elements in infrastructures which release enormous amount of energy and cause many problems directly to the customer's health, who is subject to the overworking effect of the air released out by machines used for air conditioning internal and external spaces. use the artificial conditioning at a low consumption.



*Odiilo Reutter, State Office for the Conservation of Historic Monuments, Esslingen, Germania*



*Fei & Cheng Associates, Inotera Headquarters, Taipei, Taiwan*



*Bruckner & Bruckner, Accumulatore culturale, Wurzburg, Germania*

Without considering the fact that all together the internal features of comforter the natural control of the solar irradiation for a passive decrease of the temperature in the air, in compare with the 'forced' and artificial refreshed air effect with the active infrastructural systems. In the trying to get acquainted to these particular defences against the solar irradiation, it is necessary to consider that the production of sunbreaking is quite expensive. The range differs in material, shapes, many solutions are based on the simple screen, whereas others are the result of a detailed trig metrical study of the different solar positions during all the period of the year and with all the different latitudes because often the need of shade in certain hours of the day is in contrast with the day light supply. It has been reported that the systems of shielding, in general should stop the sun rays and let the air pass through, in order to have correct ventilation through the opening spaces allowing at the same time the external view. During the hot period of the year, there are different components which succeed in the lay out of unfriendly and uncomfortable environmental conditions. Among these, there are the external temperature, the solar irradiation, and the internal benefits due to people and infrastructures which are used inside the buildings. The strategies aimed to reduce such phenomena shouldn't be set aside because they might have an effect on the shape of the building. Those concerning the solar shielding effect or the use of heavy structures in order to have more thermal inertia effect may have infact a relevant influence on the architectural features of a building. The type, the dimension and the position of a shielding system will depend on the type of direct solar radiation, spread or reflected to be controlled.

The component reflected is generally the most easiest to control because it is possible to act without calculating the reduction of the reflection of the surface to shield, where as the component diffused is a more difficult problem to solve because of the wide angle to exposure from which the radiation comes from. When the radiation isn't used to lighten the building it is necessary to stop the sun rays from penetrating inside the building during all the hottest period of the year. A new 'ideal sun-breaker' or 'intelligent sun regulator' which will stop at its best the sun radiation, but will at the same time enable the exiting view outside through the windows.

Application in experimentation is having more and more an important role in this complex and interesting technological sector which will go further on with evolution steps and a determinate innovative rating in relatively short time in compare with what the researchers of the sector are planning, considering their effort and great expectations concerning the possibility to offer a significant contribution which includes the technological and morphological innovation of the environmental architecture with awareness and energy efficient.

## 4. Strategie adattive per la gestione degli aspetti termici e fluidodinamici dell'involucro

### 4.1. Quali strategie su quali componenti

Per procedere nel comprendere, cogliere e impiegare progettualmente tutti i potenziali benefici offerti dall'interfaccia con i fattori ambientali, in primis l'irraggiamento solare e la ventilazione naturale, occorre capire quali strategie applicare sui componenti del progetto architettonico deputati all'ottimizzazione delle interazioni in ingresso e in uscita con i fattori ambientali di luce, aria e calore prodotti dall'incidenza dell'energia solare e del movimento delle masse d'aria sullo specifico contesto microclimatico delimitato dall'involucro architettonico, e individuarne le possibili combinazioni e prestazioni.

In questo senso possiamo individuare le due grandi categorie che assolvono in modo integrato a tali compiti:

1. Involucro esterno: definibile sinteticamente quale sistema dei componenti (tra i quali la finestra è il più semplice), progettati nel peggiore dei casi solo per far da barriera agli agenti atmosferici e per permettere alla luce di passare direttamente, senza filtro, dall'ambiente esterno a quello interno e all'aria (quando le sue bucatore sono aperte) di entrare o di uscire per i basilari ricambi; nel migliore dei casi (verso cui tende l'ottica di questo libro), per svolgere un ruolo di complesso sistema-filtro polivalente, capace di selezionare alcuni aspetti dei fenomeni indotti dall'energia solare (riscaldamento passivo, ventilazione naturale, raffrescamento passivo, illuminazione naturale, umidità relativa, ecc.) e decidere di volta in volta, con una sorta di "intelligenza" indotta dal suo progettista, e a seconda delle condizioni al contorno, come e quali far entrare, filtrare, modificare, trattenere in sé, o far uscire.

2. Spazi bioclimatici: nel livello più semplice, sono definibili come spazi di guida e distribuzione di uno o più effetti dell'incidenza dell'energia solare (luce, ventilazione) verso l'interno dell'edificio, connettendo spesso insieme in modo integrato e corale diverse componenti d'involucro. Se si adotta un approccio di questo tipo, che deputa l'involucro a protagonista di questa regia di interazioni bioclimatiche con l'ausilio di componenti spaziali di varia natura che in alcuni casi possono arrivare ad investire la stessa totalità dell'edificio, si apre al ricercatore e al progettista un'enorme quantità di possibili combinazioni dei componenti, ognuno dei quali a sua volta può incorporare un set di elementi di controllo, ossia di apparecchiature progettate per controllare l'ingresso dell'energia solare nelle sue varie forme all'interno dell'edificio. Naturalmente il comportamento complessivo di una combinazione di componenti che formano un sistema può essere interpretato da una attenta analisi simulativa, che oggi sta diventando sempre più importante e centrale nell'ambito della progettazione bioclimatica.



Vediamo di seguito la possibile articolazione delle principali categorie di involucro e di spazi bioclimatici.

### *Involucro esterno*

Possiamo individuare tre fondamentali categorie di componenti d'involucro:

1) Componenti d'involucro laterale: quei componenti che sono situati nella facciata verticale di un edificio e disgiungono due "mondi", il macroambiente esterno e il microambiente interno, permettendo l'ingresso filtrato laterale dei fattori legati all'energia solare;

2) Componenti d'involucro zenitale: quei componenti situati nella copertura di un edificio. Si disgiungono due ambienti di luce, permettendo l'entrata della luce zenitale nello spazio sottostante.

3) Componenti d'involucro globale: quei componenti spaziali che costituiscono parte annessa o integrata ad un volume costruito. Circondano parzialmente o totalmente uno spazio, permettendo globalmente l'interazione filtrata tra i due ambienti con ingresso selettivo della luce del giorno (laterale e zenitale), della ventilazione e degli eventuali apporti termici.

Questi tre gruppi di componenti possono incorporare anche elementi di controllo come "superfici di separazione", "schermi flessibili", "schermi rigidi", "filtri solari" o "ostruttori solari" per controllare l'entrata di luce del giorno nell'edificio.

I sopracitati tre gruppi di componenti possono essere ulteriormente classificati in relazione alle leggi che regolano il passaggio dell'energia solare nelle sue varie forme, e analizzati a partire dalle loro caratteristiche, per così dire, fisico-geometriche quali posizione e mobilità, cosa che faremo nel paragrafo 4.4, al termine di questo capitolo.

### *Spazi bioclimatici*

Possiamo individuare due fondamentali categorie di componenti spaziali di tipo bioclimatico:

1) Spazi bioclimatici intermedi: componenti di conduzione che fanno parte perimetrale di un edificio, guidando e distribuendo i fattori ambientali di luce, aria e calore generati naturalmente in spazi interni ad essi più o meno contigui.

2) Spazi bioclimatici interni: componenti di conduzione che sono parte integrante della zona interna di un edificio, guidando e distribuendo i fattori ambientali di luce, aria e calore generati naturalmente nelle specifiche zone di un edificio, separate dall'esterno dalle componenti d'involucro.

## 4.2. Dal componente di base: la finestra, al sistema di componenti: l'involucro trasparente, semitrasparente, semio-paco



### 4.2.1. Il caso-base: la finestra

La finestra, in quanto apertura nell'involucro verticale di un edificio che permette un'interrelazione tra l'esterno e l'interno, consente lo scambio luminoso, termico, acustico, la ventilazione naturale e la vista.

L'uso corretto di questo componente può, da quando esiste l'architettura, migliorare in modo rilevante gli aspetti visivi dell'interno di un edificio, eppure non è così ovvio il corretto uso che se ne fa a livello progettuale.

Ne ho cominciato a parlare nei capitoli precedenti a proposito del rapporto con la questione del "comfort visivo", e a questo punto è necessario riprenderne e approfondirne la trattazione su alcuni aspetti che incidono radicalmente sulle sue caratteristiche prestazionali, quali:

- tipo
- taglia
- forma
- posizione
- orientamento.

Va inoltre tenuto presente, oltre alle considerazioni che svolgeremo nelle prossime pagine di questo paragrafo, che ulteriori sistemi di controllo possono essere aggiunti per regolare in modo più efficace e raffinato gli specifici interscambi, cosa che vedremo nei capitoli successivi a questo.

Per ora approfondiamo la riflessione sui caratteri della finestra affrontandone uno per volta.

#### *Tipi di finestre*

I fattori rispetto ai quali, nel rapportarvisi diversamente, le finestre possono essere raggruppate in tipi, sono i seguenti:

- luce naturale;
- vista verso l'esterno;
- ventilazione naturale.

Secondo tali fattori, e considerando le più proficue combinazioni dal punto di vista bioclimatico, possono essere distinti cinque tipi principali di finestre:

1. finestra per luce naturale;

2. finestra per ventilazione naturale;
3. finestra per luce naturale e vista esterna;
4. finestra per luce naturale e ventilazione naturale;
5. finestra per luce naturale, vista esterna e ventilazione naturale.

Se la più importante funzione della finestra è l'illuminazione, è meglio localizzarla in una posizione alta e dimensionarla di una grandezza tale da ottimizzare l'ingresso naturale della luce. Se dev'essere favorito l'aspetto della ventilazione, la posizione nel muro è più importante della sua dimensione. Per una migliore vista verso l'esterno, sono estremamente importanti la dimensione della finestra e l'altezza del davanzale dal pavimento.

### *Dimensioni delle finestre*

Riguardo al fattore "dimensione" può essere svolta una serie di considerazioni soprattutto in rapporto ai seguenti due fattori:

- l'area di superficie assoluta di una finestra;
- il fattore finestra (superficie di finestra totale in relazione all'area della stanza illuminata dalla finestra stessa, espresse in percentuale).

Va specificato che la "superficie assoluta" influenza solamente la possibilità di visione e la ventilazione. Il "fattore finestra" influenza l'ammontare e la distribuzione della luce.

Vediamo di svolgere qualche ulteriore considerazione:

#### 1) Superficie assoluta (mq)

Secondo questo fattore, la finestra è classificata secondo le dimensioni.

- piccola: inferiore a 0.5 mq
- media: compresa tra 0.5 e 2 mq
- grande: superficie superiore a 2 mq

Generalmente una finestra piccola di dimensioni comporta una vista limitata verso l'esterno ma intensifica la sensazione di isolamento, di preservazione della privacy. Viceversa alcuni tipi di finestre "grandi" possono creare disturbi di introspezione e arrivare a produrre fenomeni di sovrailluminazione o addirittura di abbagliamento, se non integrata con opportuni sistemi di controllo dell'accesso alle radiazioni solari.

#### 2) Fattore finestra (%)

Se c'è più di una finestra nella stessa stanza, la somma delle superfici di tutte le finestre deve essere considerata, da un punto di vista luminoso, in relazione all'area della stanza,

poichè il giudizio del livello di illuminazione di un ambiente, misurato per l'appunto col "Fattore finestra", dipende dal rapporto tra la superficie totale delle finestre e lo spazio interno.

A questo proposito può essere fatta una classificazione nelle seguenti 5 categorie:

- fattore finestra molto basso: meno di 1%
- fattore finestra basso: 1 - 4%
- fattore finestra intermedio: 4 - 10%
- fattore finestra alto: 10 - 25%.
- fattore finestra molto alto: più grande del 25%

Come regola generale:

- fattori finestra alti o molto alti possono provocare problemi di controllo termico e abbagliamento. Prevenire tali problemi è possibile mediante l'introduzione di elementi di controllo;

- fattori finestra bassi o molto bassi possono produrre livelli d'illuminazione bassa, specialmente dove vi sono cieli prevalentemente coperti ed inquinamento atmosferico, o edifici adiacenti, vicini o prospicienti, magari più alti, che riducono la disponibilità di luce del giorno. Questo potrebbe rappresentare un problema notevole quando gli spazi sono usati per attività che richiedono un livello alto dell'illuminazione.

Se vi sono o una finestra grande o molte piccole, aventi la stessa area di superficie totale in una stanza, il fattore risultante è lo stesso, ma la distribuzione di luce, la visuale e la ventilazione sono differenti. La relazione tra il fattore finestra e la cattiva illuminazione naturale in un ambiente è approssimativamente lineare. Tuttavia la divisione della superficie di finestra in molte finestre può produrre una distribuzione della luce più uniforme, anche se questo spesso comporta allo stesso tempo un ostacolo all'estensione e alla prospettiva visuale verso l'esterno.

3) ultima notazione sul fattore "dimensione":

quando le finestre sono situate su muri diversi della stessa stanza, normalmente migliorano la ventilazione naturale, che è esaltata ed inescata in modo "trasversale" se le finestre sono poste sui muri paralleli.

### *Forma delle finestre*

Le forme delle finestre differiscono enormemente. Tra i tanti criteri possibili, si è focalizzato che una prima buona approssimazione è rappresentata dal definire la relazione tra altezza ed ampiezza della finestra.

Dal punto di vista morfologico la finestra può essere quindi classificata come:

- finestra orizzontale: coefficiente pari a 1/2;
- finestra verticale: coefficiente pari a 2;
- finestra intermedia: coefficiente compreso tra 1/2 e 2.

La forma delle finestre influenza principalmente:

- la distribuzione della luce nello spazio illuminato;
- la qualità della vista;
- il potenziale per la ventilazione naturale.

Le finestre orizzontali, a nastro, consentono un'illuminazione diffusa all'interno ed una maggiore vista panoramica, generando piccole differenze nella distribuzione della luce durante tutto il giorno, normalmente con poca albedo.

Le finestre verticali producono una distribuzione luminosa e molto variabile durante tutto il giorno. Questa forma di finestra offre la migliore illuminazione nelle aree più lontane dalla finestra; d'altra parte è prodotto comunque, come principio generale, un maggiore abbagliamento.

Inoltre in questo caso le visuali esterne sono limitate orizzontalmente ma possono contenere una maggiore profondità di campo. Infine, va annotato che una maggiore dimensione di altezza delle finestre migliora la ventilazione naturale all'interno degli ambienti da esse serviti.

### *Posizione delle finestre*

Su questo fattore vi sono pochi dubbi: la posizione di una finestra può essere descritta dalla sua ubicazione orizzontale e verticale nel muro nel quale è posta.

In base alla sua posizione rispetto all'altezza del muro, la finestra può essere classificata come:

- finestra alta;
- finestra intermedia;
- finestra bassa.

Anche in questo caso vanno appuntate alcune annotazioni di fondo:

- più in alto è posta una finestra, tanto più grande sarà la profondità di penetrazione della luce naturale, producendo tendenzialmente una migliore distribuzione della luce nella stanza illuminata;
- l'altezza induce anche l'estrazione di aria calda attraverso la ventilazione naturale, il che si rivela molto utile nelle architetture pensate bioclimaticamente nelle quali è centrale la termodinamica convettiva;

- l'altezza del davanzale della finestra è fortemente incidente o addirittura determina la vista esterna (stabilendo i limiti inferiori, che nella maggior parte dei casi sono i più significativi, soprattutto da seduti o sdraiati); di conseguenza una finestra alta limita fortemente o arriva ad impedire generalmente la visione verso l'esterno. In base alla sua posizione riguardo all'ampiezza orizzontale del muro, la finestra può essere classificata come:

- finestra centrale;
- finestra laterale;
- finestra a nastro.

Una finestra in una posizione centrale produce una maggiore distribuzione di luce all'interno, mentre una finestra laterale o ancor più ad angolo normalmente causa un'albedo inferiore.

#### *Orientamento delle finestre*

Ho lasciato per ultimo il fattore dell'Orientamento perchè è quello che apre più efficacemente ad una serie di discorsi che svilupperemo nei prossimi due paragrafi, in quanto da esso dipendono direttamente la potenziale efficacia nel captare energia solare sotto forma di luce e di calore. Infatti, riguardo all'orientamento di una finestra, fattore primario da valutare è la relazione con l'orientamento geografico ed il relativo percorso apparente del sole, che ha una grande influenza sull'illuminazione naturale. Da questo punto di vista, posizionare le finestre ad est ed ovest è stato considerato equivalente, dato che gli effetti generali prodotti sono molto simili, anche se va sottolineato che si manifestano in momenti diversi del giorno.

Secondo questo fattore le finestre possono dunque essere così classificate:

- finestre orientate a sud: livelli luminosi alti e illuminazione piuttosto variabile; guadagno di energia alto in inverno, perfino eccessivo in estate, spesso da controllare attentamente se si parla di energia termica;

.- finestre orientate a est ed ovest: entrambe offrono livelli luminosi intermedi, ma l'illuminazione durante il giorno differisce sostanzialmente: l'orientamento ad est offre un livello alto di mattina, mentre quello ad ovest è alto di pomeriggio. Il guadagno di energia è alto in estate e basso in inverno;

- finestre rivolte a nord: il livello luminoso è basso, ma l'illuminazione è continua durante tutto il giorno; in questo terzo caso si registra normalmente uno scarso guadagno di energia.

Va notato che la radiazione solare proveniente da est e da ovest necessita di elementi di controllo "dinamici", mentre nel

caso dell'esposizione a nord e a sud è possibile usare elementi di controllo pressochè "statici", anche se in questi due casi i dinamici continuano ad essere i più efficaci.

Ricordiamo che per "Elementi di controllo" s'intendono meccanismi o apparecchiature capaci di alterare gli effetti di una finestra, che sostanzialmente possono essere di due tipi:

- fisso/statico: non operabile dall'utente, generalmente non richiede una manutenzione significativa;
- mobile/dinamico: adattabile alle condizioni diverse, e controllabile sia direttamente dall'utente sia automaticamente da un'entità "intelligente" (anche telematica) programmata per svolgere tale ruolo.

Concludiamo questa prima parte di notazioni sulle prestazioni del caso-base della finestra con una regola generale: l'illuminazione, la ventilazione e le caratteristiche di vista di una finestra possono e devono essere concepite, progettate e controllate in modo integrato e corale, in base ai fattori appena descritti, senza cadere nell'errore di concentrarsi solo su una di esse, ma allo stesso tempo ogni caratteristica necessita di un controllo adeguato, che oggi richiede la padronanza di strumenti che sono pensati per gestire e valutare separatamente tali fenomeni; il che, in una parola, riporta ancora una volta al centro delle priorità quella della capacità del progettista di ricostruirsi un suo quadro d'insieme e una visione integrata dei fattori in gioco.

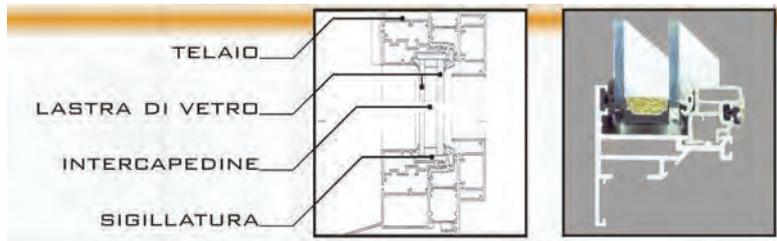
#### **4.2.2. L'evoluzione del sistema di componenti: l'involucro vetrato**

Passiamo ora a compiere il passo successivo: quello della presa in esame dell'evoluzione dal caso-base della finestra alle principali tipologie di involucri. Mi è sembrato opportuno partire proprio dalle 5 tipologie fondamentali degli involucri vetrati: dai "composti", ai "continui", agli "strutturali" autoportanti", agli "appesi" (tutti prevalentemente monostrato, per quanto complesso), fino ad arrivare agli "involucri ventilati" a doppio strato sui quali si gioca un'abbona parte delle aspettative nello sviluppo prestazionale della sperimentazione architettonica contemporanea.

Per quattro di queste tipologie (composte, continue, strutturali e ventilate) mi rifaccio alle brevi ma incisive e ormai codificate definizioni sul piano internazionale, proponendo comunque per ognuna una fiche grafica originale che ne sintetizza i caratteri costruttivi salienti. Nel successivo paragrafo 4.3. affronterò invece più compiutamente l'intero quadro dei "sistemi d'involucro edilizio" che possono intervenire nella progettazione bioclimatica di un edificio "ben temperato", individuando tre principa-

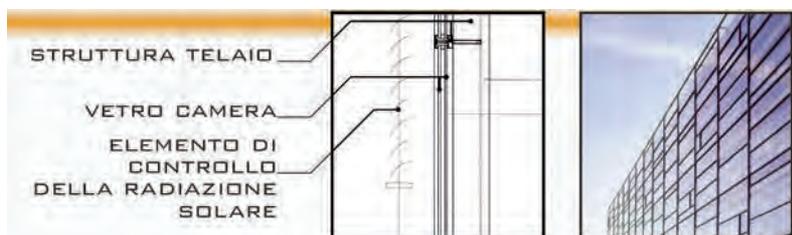
li categorie che ascrivono tali sistemi: i sistemi di facciata, quelli di copertura e, ci tengo a sottolinearlo, gli spazi bioclimatici già citati e annunciati come categoria in apertura di questo capitolo, che non solo vanno intesi come fortemente integrati all'involucro, ma essi stessi una sorta di emanazione, o meglio di "dilatazione", dell'involucro architettonico.

### Vetrare composte



Dal momento che lo spessore del vetro ha una portata irrilevante nella determinazione della resistenza termica di una parete vetrata, aumentando gli spessori delle lastre non si ottengono apprezzabili benefici per diminuire il coefficiente di trasmittanza termica  $K$ : occorre invece racchiudere fra due vetri una lama d'aria (o di un altro gas) immobile e disidratata per evitare fenomeni di appannamento. Questo tipo di vetrate, composte da due o più cristalli, sigillati attorno ad un anello perimetrale distanziale, vanno sotto il nome di vetrate composte, o isolanti, o semplicemente vetrocamera. Lo spessore della camera interna non è direttamente proporzionale al suo potere isolante, in quanto in uno spazio più ampio si rendono possibili moti convettivi che favoriscono gli scambi termici.

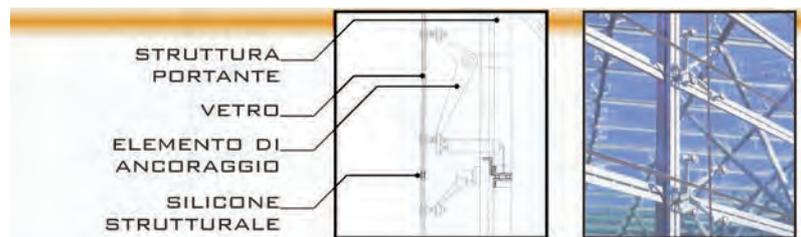
### Facciate continue



Il vetro trova una delle migliori soluzioni d'impiego nella realizzazione delle pareti leggere prodotte industrialmente, che possono essere montate in cantiere sulla struttura portante dell'edificio. Nascono così le "facciate tutto vetro" che contribuiscono a modificare l'immagine architettonica dell'edificio. Una facciata continua tradizionale è costituita da un telaio metallico su cui viene montata una vetrata isolante, che funge da isolante, che funge da finestra, e un vetro, spesso opacizzato e con un

retrostante pannello coibente, che realizza il davanzale. In particolare si possono utilizzare telai metallici (alluminio o acciaio) con taglio termico per ridurre le perdite di calore attraverso l'in-fisso, e ad intercapedine aperta (che consente la circolazione dell'aria) tra il vetro opacizzato e il pannello coibente per evitare fenomeni di condensa. Oggi con il termine "Curtain Wall" si indica un particolare sistema costruttivo di tamponamento esterno, che appartiene di diritto alla terminologia dell'architettura moderna. La denominazione americana fu introdotta tra le due guerre ed ha avuto una grande diffusione dagli anni Cinquanta in poi, ed individua un sistema di pannelli sostenuti da uno scheletro, in genere di acciaio, collegato alla struttura portante dell'edificio. "I Curtain Wall" costituiscono una categoria particolare di pareti esterne non portanti costituiti da elementi modulari ripetuti, realizzati in officina e montati sul cantiere; a queste vengono affidate funzioni di separazione tra l'interno e l'esterno e specialmente quelle di isolamento termico, acustico, di difesa dagli agenti atmosferici, di concessione delle vedute e di regolazione della luce e dell'aria. Questa definizione del sistema risale agli anni Cinquanta, ma oggi il termine ha avuto un'estensione del suo significato e comprende ormai diversi sistemi costruttivi che non sono strettamente legati e riconducibili ad un prototipo.

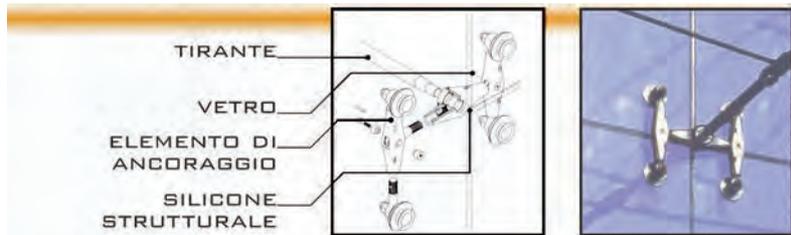
### *Facciate strutturali*



Il sistema di vetrate strutturali (structural silicone glazing SSG) consiste nell'incollaggio delle vetrate ad un telaio portante mediante un sigillante silconico ad alta resistenza e di elevate proprietà adesive, specificamente progettato per questo impiego. In questo modo i carichi esterni applicati alle vetrate sono trasmessi ai telai di supporti tramite il silicone strutturale che costituisce il vincolo elastico di fissaggio dei vetri. La vetrata con silicone strutturale permette di affrancarsi dai sistemi tradizionali di facciate continue, lasciando all'interno i profili portanti e realizzando pareti intere completamente vetrate senza soluzione di continuità. Le prime facciate strutturali furono costruite in America negli anni Settanta: all'inizio venivano realizzate con vetri monolitici incollati su due lati, ma successivamente furono impiegate vetrate isolanti e vetri monolitici con i quattro lati incollati al telaio retrostante. In genere questo tipo

di facciate non presenta aperture e la climatizzazione interna è affidata a sistemi meccanici; tuttavia è possibile avere delle lastre che sono intelaiate ad una cerniera e che usano come battuta i profili di silicone, creando finestre apribili, come, tra le prime, nel caso della facoltà di architettura di Lione progettata dallo studio Jourda & Perraudin. Un ulteriore recente sviluppo è quello dell'ulteriore evoluzione delle vetrate strutturali. Una delle prime applicazioni di questo tipo è stato l'edificio per uffici Faber a Ipswich progettato dallo studio Foster dove tuttavia il supporto strutturale del vetro è relativamente rigido, anche a causa della limitata altezza dell'edificio e del minor carico del vento. Una applicazione più avanzata di questo principio costruttivo è stata, negli anni successivi, quella della banca dell'Armorica di Odile Decq dove la parete sospesa è costituita da pannelli di retrocamera e non da singole lastre, mentre la struttura che neutralizza le spinte orizzontali è stata portata all'esterno dell'edificio, liberando totalmente lo spazio interno. Da allora questa tipologia ha continuato a fare passi in avanti in quella direzione.

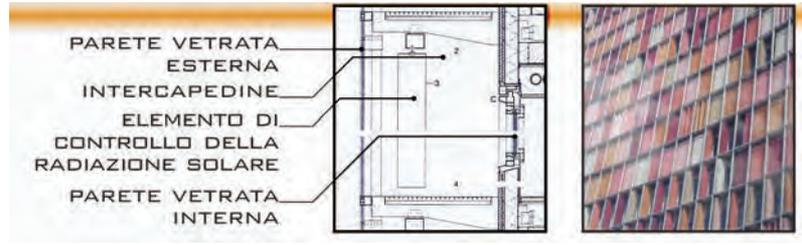
#### *Facciate appese*



Insieme di lastre di vetro sono sospese le une alle altre con agganci meccanici e collegate tra loro con giunti di silicone orizzontale in grado di assorbire i leggeri spostamenti e di garantirne la continuità della chiusura. Il sistema trasferisce tutti i carichi verticali agli attacchi superiori, mediante l'uso di collegamenti, che possono essere metallici o di nuovo vetrati, che trasferiscono la componente orizzontale della spinta del vento ad elementi rigidi della struttura.

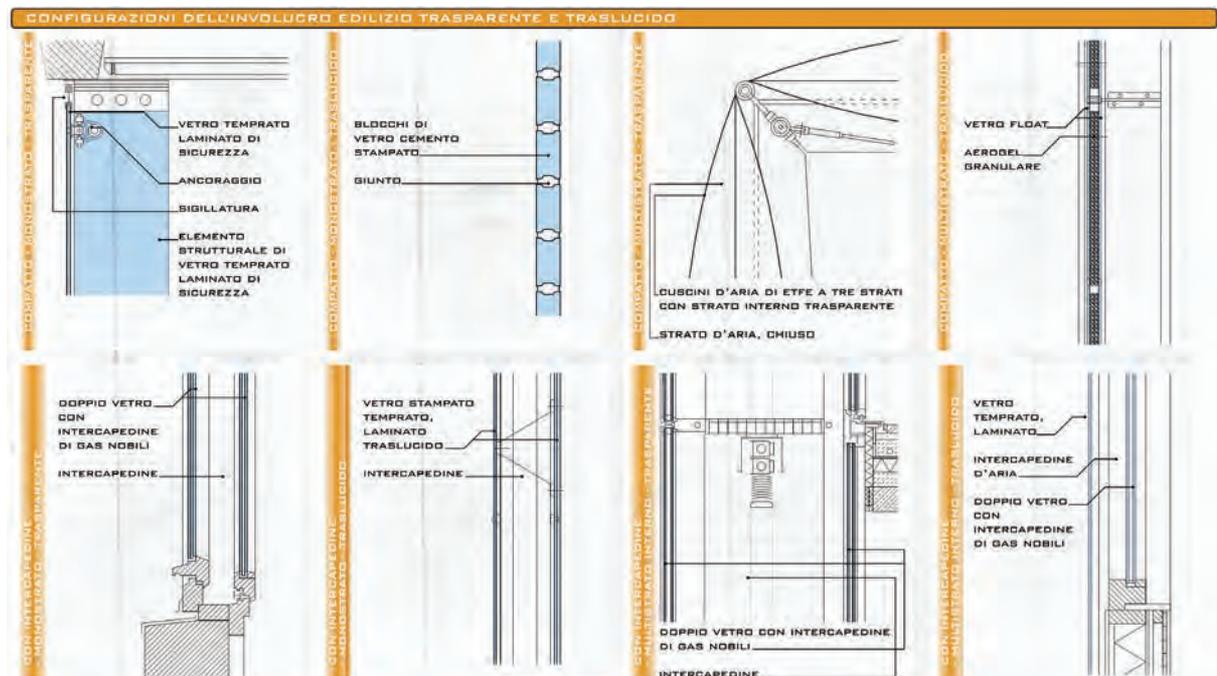
Un altro metodo di classificazione dell'involucro si basa sull'analisi degli strati funzionali dell'involucro di un edificio; si differenziano sistemi mono e multistrato. In analogia con un sistema composto di lastre o pelli, la selezione dei diversi strati può contribuire a creare un prodotto finale strutturale ottimizzato in termini di funzionalità. Lo scopo è di garantire comfort all'interno dell'edificio nel modo più efficiente possibile da un punto di vista energetico. Un esempio tipico di costruzione monostrato è una parete esterna in muratura a vista nella quale le funzioni di isolamento termico, protezione climatica e stabilità strutturale sono assolte da un unico materiale. Le strutture di questo tipo, raramente corrispondono agli odierni requisiti d'isolamento, perciò quando sono risanate, solitamente sono dotate di ulteriori strati di isolamento termico. Tipici esempi di costruzioni multistrato sono i sistemi di parete esterne di muratura con strato interno ed esterno d'intonaco, oppure sistematicostruttivi a copertura piana non ventilata in cui i diversi strati composti di differenti materiali edili sono legati in un unico strato composito

### Facciate vetrate ventilate



In questo tipo di soluzione la parete vetrata è costituita da due sistemi distinti. Una facciata esterna generalmente in vetro riflettente con opportune bocchette di ventilazione e una interna isolante: nell'intercapedine fra le due superfici circola l'aria esterna, favorita da un "effetto camino" innescato dal calore irradiato dalla vetrata interna. Questo tipo di facciate fornisce ottime prestazioni anche in condizioni climatiche diverse. Nel periodo invernale la presenza di uno schermo esterno concorre ad aumentare la resistenza termica effettiva, particolarmente se le aperture di ventilazione sono regolabili. Nel 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.

Vedremo nei due paragrafi successivi 4.3 e 4.4 quali sono gli elementi introdotti a livello tecnologico-progettuale per migliorare e affinare il controllo e il filtro nei confronti dell'irraggiamento solare, e quali sono le soluzioni, a livello di principi e di strategie, per schermare decisamente o addirittura oscurare completamente tali involucri rispetto all'irraggiamento luminoso naturale.



### 4.3. L'evoluzione: i sistemi d'involucro edilizio per la gestione bioclimatica passiva dell'energia solare

#### 4.3.1. Sistemi laterali per le facciate dell'involucro ben temperato

Cominciamo il paragrafo riassumendo doverosamente i caratteri salienti dell'elemento di base rappresentato dalla finestra (diffusamente trattato nel precedente par. 4.2.), per meglio comprendere lo scatto evolutivo nei sistemi di facciata che vengono analizzati a seguire.

##### Finestra



Essa permette la penetrazione laterale della luce o della radiazione solare diretta, la vista e la ventilazione naturale. Una finestra aumenta il livello di luminosità nelle zone interne, ma tale livello di luce diminuisce man mano che la distanza dalla finestra aumenta. Ampiezza e dimensioni d'altezza possono variare dalle piccole finestre di 0.1 m a più di 6 m. La serie tipica è tra 1.2 e 1.8 m in altezza e tra 0.8 e 2.5 m in ampiezza.

Aperture possono essere fatte in più forme di costruzioni di muro. I telai della finestra sono generalmente fatti in legno, metallo o PVC. Una serie di materiali di vetrata trasparenti o traslucidi (foglio di policarbonato, vetro prismatico, materiale di isolamento trasparente ecc.) può essere usato individualmente o formando multilayers (duplice o triplo). Ognuno darà una luce diversa e conterrà differenzialmente le dispersioni termiche a seconda delle caratteristiche. Una finestra può essere "aperta" per permettere la naturale ventilazione e può incorporare elementi per controllare la luce naturale.

##### Parete traslucida



Le pareti oggetto di questa categoria sono costruite con materiali traslucidi e normalmente costituiscono parte o gran parte di un involucro verticale di un edificio. La superficie divide due ambienti luminosi, mentre permette l'ingresso laterale della luce naturale, diffondendola attraverso il materiale traslucido. Un muro traslucido cambia la luce naturale che entra in uno spazio, mentre offre un livello di luce diffuso ed omogeneo nelle zone interne vicine alla parete. Può occupare l'area laterale ed intera da pavimento a soffitto ed il suo spessore, variabile tra 5 e 30 cm, dipende dal materiale da costruzione, che va dai blocchi di vetrocemento, ai materiali acrilici, ai TIM, agli Aerogel, che hanno tutti in comune la caratteristica di limitare considerevolmente la vista verso l'esterno (si va da un 20% minimo dei "traslucidi leggermente semitrasparenti" fino ad un 90% nei materiali più vicini alla categoria del "semiopaco").

### Curtain wall



Un curtain wall implica di solito una superficie verticale traslucida trasparente e continua, senza funzione strutturale, che divide l'interno dall'esterno di un edificio. Permette l'ingresso laterale di luce naturale, il guadagno solare diretto, e l'interscambio visivo, ma spesso non permette la ventilazione. Il maggior pregio rimane comunque la capacità di aumentare il livello di luce nelle zone interne adiacenti. Consiste normalmente di una cornice di metallo che contiene una superficie trasparente o traslucida il cui spessore è generalmente inferiore ai 5 cm.

### Parete interna



Secondo una definizione convenzionale, peraltro piuttosto semplicistica ma sicuramente efficace, si definisce la parete interna come un elemento di controllo che divide due ambienti permettendone o meno il traguardo visuale e il passaggio. Le sue dimensioni variano a seconda di una serie di parametri, direttamente legati alla grandezza della o delle eventuali aper-

ture e della quantità di luce che si decide di fare o meno passare. Alcune delle superfici di cui la parete interna si compone possono non essere regolabili, ossia non sono variabili nella posizione e nelle prestazioni, ed hanno quindi lo svantaggio che l'intensità della luce e la eventuale quantità di ventilazione sono controllate nello stesso modo durante tutto l'anno. La parete interna può essere aperta o chiusa, permettendo o meno la ventilazione naturale. La vista verso l'esterno è, a seconda dei casi e delle esigenze, permessa ampiamente, limitata o volutamente negata.

### Vetrare attive



La tipologia delle vetrate attive si caratterizza come elemento di controllo attivo nell'involucro che può cambiare le sue proprietà ottiche applicando un campo elettrico esterno. La luce naturale attraversa l'involucro e ne controlla l'intensità secondo la condizione interna richiesta. Le sue dimensioni variano in funzione delle dimensioni dell'apertura da coprire. È una struttura di multi-strato complessa fatta di materiali ad alta tecnologia.

### Membrane



Una membrana è un elemento di controllo fatto di materiale traslucido flessibile, messo all'esterno dell'involucro per ostacolare o diffondere la radiazione solare diretta. Una interessante evoluzione sperimentale di tale elemento è rappresentata in questi ultimi anni dall'ETFL, l'etiltetrafluoretilene, che combina insieme doti di leggerezza e di resistenza con alte prestazioni di trasmissione della luce e d'isolamento termico (quando usato in più strati).

## Aggetti



Un aggetto è parte dell'edificio stesso, che sporge orizzontalmente dalla facciata rispetto all'involucro verticale. Protegge le zone dosando le aperture dell'edificio, ostruendo la radiazione solare per altezze solari elevate. Genera un livello di luce interno, più basso, offre ombreggiatura solare e parzialmente protegge l'apertura dalla pioggia. Le sue dimensioni sono determinate dagli angoli solari locali e stagionali, sporgendo solitamente da 0.4 a 1m dalla facciata. Può essere fatto di una varietà di materiali da costruzione come calcestruzzo, metallo, legno, ecc.

## Lamelle riflettenti



Solitamente in un involucro verticale le lamelle riflettenti sono collocate al di sopra del livello degli occhi del fruitore che si trovi all'interno dello spazio architettonico, dividendo la facciata (nella sua visione dall'interno verso l'esterno) tra un elemento superiore di dimensione minore dedicato alla riflessione luminosa ed una sezione inferiore che lascia passare luce indiretta e soprattutto lascia libera la visuale. Questa categoria tecnologica ha il compito di proteggere l'interno schermato le aperture contro la radiazione solare diretta, e di ridirezionare la luce verso la superficie interna del soffitto. Offre così ombra in estate ed una più uniforme distribuzione della luce interna. I materiali di cui si compongono le lamelle riflettenti sono di diversa natura, ma la costante è che la superficie superiore ha una finitura riflettente tipo specchio, alluminio o un materiale estremamente levigato. A latitudini ed orientamenti diversi, dimensioni e posizioni variano dipendendo dall'angolo solare.

## Veneziane



Le veneziane nella loro configurazione e concezione classica sono elementi composti da lamelle disposte all'interno o all'esterno di una finestra, di una vetrata più o meno grande, di una parete a parte di una parete trasparente. Permettono il controllo di radiazione solare diretta e regolano l'ingresso della luce. Inoltre proteggono dalla introspezione salvaguardando la privacy interna rispetto alla vista esterna, e permettono, anzi spesso favoriscono, l'ingresso della ventilazione naturale. Le assicelle di cui si compongono le veneziane possono essere fisse o regolabili. Quando sono mobili, possono essere sistemate secondo l'angolo solare per produrre ombreggiamento all'interno. Secondo tale configurazione le lamelle delle veneziane possono muoversi lungo l'apertura ed essere arrotolate nella parte superiore. Le lamelle, di solito, sono fatte in legno, plastica, alluminio, acciaio, ecc.

## Frangisole



I frangisole possono essere definiti come una serie di lamelle esterne che possono essere fisse o regolabili, che solitamente coprono l'intera apertura della finestra, ma possono coprire una superficie più grande inclusi i muri che circondano l'apertura. Dipendendo dall'orientamento delle lamelle, la radiazione solare diretta che incontra il sistema può essere ostruita e riflessa (verso l'esterno) o ridirezionare nella zona interna. Se le lamelle sono chiuse per formare un pannello pressoché opaco, esse nell'insieme producono una schermatura solare pressoché totale e possono essere usate per ombreggiare completamente le aperture di diverso tipo. Normalmente si tende a preferire il posizionamento dei frangisole orizzontali sulle facciate sud, e quelli verticali sulle facciate est ed ovest. Le lamelle parallele possono essere in acciaio galvanizzato, alluminio anodizzato, PVC, legno, ecc.

## Frangisole orientabili



I frangisole orientabili sono definiti da una struttura esterna che inquadra tutta o in parte la componente d'involucro. Valgono per essi le considerazioni di fondo che sono state espresse per il caso precedente dei "frangisole semplici", con l'aggiunta fondamentale del surplus prestazionale che l'orientabilità di tali frangisole offre: di fatto, la differenza fondamentale sta nell'avere una ben più ampia gamma di posizioni nei confronti delle differenti inclinazioni del sole alle varie ore e nei vari giorni delle stagioni, il che si tramuta in un'efficienza ben più alta del sistema complessivo rispetto alla questione della regolazione della luce e del contenimento dei guadagni termici passivi estivi, a fronte però di un (a volte) sensibile aumento dei costi, tanto più se si dotano i frangisole orientabili di un sistema di movimentazione automatizzato collegato con sensori di rilevazione che inviano le informazioni ad un "cervello" centrale che comanda gli attuatori per l'ottimale orientamento delle lamelle.

## Persiane



Le persiane rappresentano un sistema tradizionale che conserva la sua efficacia, per quanto su alcuni aspetti surclassato dai più moderni e perfezionati sistemi di frangisole che abbiamo nominato nei due casi precedenti. Esse hanno il compito di ostruire totalmente (se sono chiuse) o parzialmente (se sono socchiuse o semiaperte) la radiazione solare. Possono essere esterne o interne (ma le più comuni, risalenti addirittura al '400, sono esterne) ed apribili (lo sono nella gran parte dei casi). Sono costituite da una superficie opaca e continua che scherma totalmente la luce del giorno e la visibilità. Possono essere piegate verso il lato di apertura. Solitamente vengono realizzate in legno, alluminio o PVC.

## 4.3.2. Sistemi zenitali per le coperture dell'involucro ben temperato

### Coperture trasparenti



Una copertura prevalentemente trasparente o traslucida è definibile come un'apertura più o meno estesa, pressochè orizzontale o inclinata, costituita di materiali trasparenti o traslucidi che dividono fisicamente (ma non visualmente e nemmeno per i fattori di luce e, a volte, di ventilazione) un determinato spazio interno dallo spazio esterno, o due spazi sovrapposti.

La sua funzione principale è quella di permettere l'entrata zenitale della luce naturale attraverso il materiale traslucido nello spazio più basso al quale in questo modo si offre un livello di luce diffusa e omogenea. Le sue dimensioni possono essere simili o più piccole all'area più bassa che illumina. La forma tradizionale impiegata nella costruzione è costituita da lastre in vetro o dei tanti tipi di materiali traslucidi (vedi capitoli 6 e 7) sostenuti da una struttura il più delle volte in metallo, ma anche in c.a. o in legno.

### Cupola



Una cupola ha una forma emisferica, può presentare aperture o essere costruita nella sua totalità con materiali traslucidi. Permette l'illuminazione zenitale dello spazio sottostante. Se trasparente/traslucida, i materiali di cui è costituita possono essere vetro, acrilico, policarbonato o fibra di vetro. Se semiopaca-perforata, è realizzata con materiali da costruzione opachi e le perforazioni possono essere coperte con materiali traslucidi.

## Claristorio



Si può definire claristorio un'apertura adiacente alla copertura, verticale o inclinata, che permette l'ingresso zenitale della luce naturale nello spazio sottostante, proteggendolo al contempo contro la radiazione diretta o ridirezionando la luce naturale verso gli spazi più bassi.

Parte integrante delle sue funzioni è quella di offrire la possibilità di una ventilazione naturale senza aprire viste verso l'esterno. Aumenta il livello di luce all'interno, di solito con luce diffusa. La dimensione della sua elevazione dal livello della copertura opaca può variare tra gli 80 cm e i 3 m. Il claristorio è costruito tipicamente degli stessi materiali usati per il tetto. Come con finestre, l'apertura può essere coperta con vetro trasparente o traslucido, apribile o meno.

## Condotto di luce



Un condotto di luce è uno spazio di luce progettato per riflettere i raggi solari negli spazi interni e scuri; può anche ospitare in maniera integrata la funzione della movimentazione di ventilazione naturale. Le superfici di cui è costituito internamente sono normalmente ricoperte, in tutto o in parte (nel qual caso il posizionamento di esse è oggetto di attenti studi simulativi dell'andamento della riflessione luminosa) con finiture estremamente riflettenti: specchi, rivestimenti di alluminio a superficie levigata, o vernici di vario tipo e natura ma tutte atte a riflettere la radiazione solare. Le dimensioni tipiche del condotto possono variare tra gli 0.5 x 0.5 m e i 1.2 x 1.2 m, quindi prevalentemente di forma quadrata, anche se possono essere usati condotti di forma diversa, rettangolari o irregolari. In quest'ultimo caso la forma deriva normalmente dall'ottimizzazione della prestazione di riflessione luminosa e, se presente, di ventilazione. La lunghezza può essere più grande di 15 m. L'eventuale accumulo termico da radiazione solare richiede apparecchiature fisse o mobili alla cima del condotto per ridirezionare i raggi solari.

## Pannelli prismatici



I pannelli prismatici sono elementi di controllo della radiazione solare integrati nell'involucro, capaci di ridirezionare la luce per le loro caratteristiche ottiche e geometriche. Tale ridirezionamento della luce è ovviamente basato sulla possibilità, offerta dalla forma e dai materiali di cui sono costituiti i pannelli, di cambiare la direzione di raggio in relazione all'angolo di incidenza solare. Le dimensioni dei pannelli prismatici variano secondo la grandezza complessiva dell'apertura che vanno ad occupare e la rigidità dei materiali. Possono essere realizzati in vetro, policarbonato, acrilico o poliestere nelle varie forme, spessori e tagli delle lastre. Possono essere apribili per permettere la ventilazione naturale. Va infine notato che la sua trasparenza povera di visuale, ne restringe il campo di applicazione, prediligendola in copertura.

## Shed



Una copertura a shed consiste in una serie parallela e successiva di elementi inclinati vetrati con esposizione a nord, intervallati da una serie parallela a sua volta ma inclinata in senso opposto di elementi opachi orientati verso sud. L'insieme di tali elementi permette l'entrata zenitale di luce naturale che produce luce diffusa e livelli di illuminazione molto alti senza contrasto nello spazio sottostante. L'altezza dell'apertura può variare mediamente da 1 m a 2.5 m, e la sua lunghezza è assolutamente variabile, dipendendo dall'ampiezza complessiva della copertura da trattare a shed, che molto spesso coincide con l'ampiezza totale dello spazio sottostante servito da tale sistema d'illuminazione naturale diffusa.

## Buffer zone



Il buffer space, o buffer zone, è un vero e proprio spazio integrato ad un edificio entro uno o più lati, che sono separati dall'esterno da un involucro trasparente o traslucido. La sua principale funzione è quella di permettere l'entrata di luce e di radiazione solare diretta verso lo spazio interno attraverso tali superfici d'involucro. Naturalmente, come un qualsiasi involucro edilizio, assolve allo stesso tempo alle prestazioni di protezione degli spazi interni da pioggia e agenti atmosferici. Offre un livello luminoso simile a quello dell'esterno e consente l'accumulo termico in inverno, mentre in estate incrementa la ventilazione naturale. La sua altezza può variare da uno a più piani; realizzato di vetro chiaro o traslucido, è normalmente sostenuto da una struttura autoportante in metallo o legno.

### 4.3.3. Sistemi globali per gli spazi bioclimatici integrati o parte integrante dell'involucro ben temperato

#### Galleria



Una galleria può essere descritta come uno spazio luminoso, coperto, che può essere aperto verso l'esterno o chiuso da vetrate. È uno spazio intermedio che consente il passaggio di luce naturale nelle zone interne dell'edificio, provvedendo ad incrementare il livello d'illuminazione negli spazi che confinano con la galleria. Una galleria può servire uno, due o, meno spesso, più piani. La sua profondità varia dagli 0.8 ai 4 m. Quando la galleria è chiusa all'esterno, l'involucro ha un ruolo attivo e può essere trasparente o traslucida.

## Portico



Un portico è uno spazio luminoso, coperto, legato ad un edificio a livello di terra, direttamente collegato con l'ambiente esterno. È definibile anch'esso uno spazio intermedio, che permette l'entrata di luce del giorno alle parti dell'edificio connesso direttamente al portico, e al contempo le protegge dalla radiazione solare diretta e dagli agenti atmosferici. Normalmente, un portico è alto un piano, ma talvolta arriva a due piani di altezza. La sua profondità varia mediamente tra 1 m e i 5 m.

## Corte



Lo spazio della corte è normalmente delimitato da una serie di edifici che nella loro disposizione complessiva generano uno spazio centrale "vuoto", che è direttamente aperto e comunicante verso l'esterno nella parte superiore e a volte su uno o più lati. La corte ha proprietà luminose e ventilative simili ad uno spazio esterno, ma con un fattore di controllo ambientale notevolmente maggiore, simile a quello di una sorta di involucro che media, seleziona e filtra illuminazione e ventilazione naturali. Elementi che possono intervenire ad influenzare tali prestazioni di controllo dei fattori ambientali sono il tipo di colore dei muri, eventuali aperture laterali e eventuali coperture o comunque la possibilità di coprire, anche parzialmente, o anche solo stagionalmente, lo spazio-corte centrale.

## Atrio



Un atrio è uno spazio parzialmente o totalmente incluso lateralmente dai muri di un edificio e coperto con materiale trasparente o traslucido. Si configura come uno spazio interno di un edificio che consente di distribuire la luce agli altri spazi interni ad esso connessi, provvedendo ad incrementarne il livello di diffusione e la qualità. Le sue dimensioni possono variare a seconda del tipo di edificio. Normalmente occupa l'altezza totale dell'edificio, ma vi è un'ampissima casistica di varianti. La copertura può consistere in una struttura che sostiene l'involucro prevalentemente trasparente. Le finiture interne spesso presentano alta capacità di riflessione per assicurare la buona penetrazione di luce naturale negli spazi adiacenti. È fondamentale ai nostri climi l'apribilità di tali spazi-atrio per una buona ventilazione e la schermabilità dei loro involucri per evitare fenomeni di surriscaldamento estivo.

### 4.4. L'innovazione: gli elementi di controllo del comportamento prestazionale dei sistemi d'involucro

Dopo l'ampio excursus sui caratteri della finestra, degli involucri vetriati e dei principali sistemi di pelle esterna degli edifici affrontato nei primi tre paragrafi di questo capitolo, è venuto il momento di approfondire la serie di questioni riguardanti il controllo del comportamento prestazionale di tali sistemi d'involucro, con riferimento a quegli speciali sistemi tecnologici concepiti e progettati per selezionare e filtrare l'ingresso e l'uscita dei fattori di luce, aria e calore. I componenti-chiave per il controllo dell'involucro esterno sono classificabili in relazione alle leggi che regolano il passaggio nelle sue varie forme dell'energia, e sono analizzabili a partire dalle loro caratteristiche, fisico-geometriche, quali posizione e mobilità. In quest'ottica se ne possono identificare sei categorie:

1) Superfici di separazione: si tratta di elementi in materiale trasparente o traslucido che permettono alla luce di passare attraverso due ambienti di luce separati, non consentendo il passaggio di aria e, in alcuni casi, ostruendo la vista.