



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

## FLORE

# Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

### **Sistema di facciata intelligente DOMINO. Integrazione architettonica di tecnologie per il risparmio energetico**

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

*Original Citation:*

Sistema di facciata intelligente DOMINO. Integrazione architettonica di tecnologie per il risparmio energetico / M. Sala; R. Romano. - STAMPA. - (2012), pp. 342-351. (Intervento presentato al convegno Efficienza ecologica ed energetica in architettura Environmental and energy efficiency in architecture Atti del convegno internazionale. Roma tenutosi a Roma nel 14-15 maggio 2007) [10.978.886055/3027].

*Availability:*

This version is available at: 2158/745727 since:

*Publisher:*

Alinea Editrice srl

*Published version:*

DOI: 10.978.886055/3027

*Terms of use:*

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (<https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf>)

*Publisher copyright claim:*

La data sopra indicata si riferisce all'ultimo aggiornamento della scheda del Repository FloRe - The above-mentioned date refers to the last update of the record in the Institutional Repository FloRe

(Article begins on next page)

## INTEGRAZIONE ARCHITETTONICA DI TECNOLOGIE PER IL RISPARMIO ENERGETICO. ANALISI DI UN COMPONENTE DI FACCIATA DINAMICO

Energy saving technologies for architectural integration. Energy analysis of smart façade.

**Marco SALA Prof.<sup>1</sup>**

Dipartimento di Tecnologia dell'Architettura e Design, Centro ABITA  
Università degli Studi di Firenze

**Rosa ROMANO Dott.<sup>2</sup>**

Dipartimento di Tecnologia dell'Architettura e Design, Centro ABITA  
Università degli Studi di Firenze

---

### ABSTRACT

*Need to develop a façade system which guarantees energy performances, flexible and adaptable to climatic conditions, it has taking to us to create an intelligent system façade "DOMINO". An innovative façade, through the use of "scigno" system, allows to integrate mobile and fixed elements.*

*The possibility to integrate solar panels or photovoltaic cells (in the opaque areas), transform the building envelope in an interactive system, which permit to produce energy (electricity and/or heat) for energy requirements of the building.*

*The DOMINO system allows to guarantee the functional and technological performance in the building market, which demand an interactive envelope, allowing: change of color and shape; guaranteeing the energy saving, acoustic insulation and lowering to production cost, moreover, this façade system propose elements which can be assembled to dry.*

*Domino system has been design considering the European Normative 2002/91 relative to: energy saving, increasing to energy cost, need to lower CO2 emission and urban pollution.*

*Our research has been focused to guarantee the lowered of energy waste, caused to the insufficient insulation, through the integration of transparent elements which have high energy performance.*

*DOMINO system propose the use of Athermic glass, which allows to limit the energy waste and guarantee the use of daylight system. The façade system can be combined with domotic system, which allows the control of: opening, closed, natural ventilation and safety.*

*La necessità di sviluppare un sistema di facciata capace di garantire prestazioni energetiche flessibili ed adeguate alle condizioni climatiche, ci ha condotto ad elaborare il sistema di facciata intelligente DOMINO. Si tratta di un componente innovativo di facciata che attraverso l'adozione di un sistema a scigno permette di integrare elementi mobili ed elementi fissi.*

*La possibilità di integrare nella componente opaca del sistema di facciata pannelli solari o cellule fotovoltaiche, consente di trasformare l'involucro edilizio in*

*componente interattivo, capace di produrre energia (elettricità e/o calore) per i fabbisogni degli utenti del sistema stesso.*

*Il sistema DOMINO permette di garantire quelle prestazioni estetiche e tecnologiche richieste dal mercato dell'edilizia terziaria, sempre più orientato a proporre architetture risolte con involucri e pelli che possano cambiare colore e forma in poco tempo, garantendo il risparmio energetico, l'isolamento acustico, l'abbattimento dei costi di produzione. La progettazione integrata tra manufatto edilizio e serramento è orientata a proporre elementi montabili a secco posteriormente alla realizzazione della parte strutturale dell'edificio.*

*L'introduzione dell'applicazione della Direttiva Europea 2002/91 sul risparmio energetico, l'aumento dei costi energetici registrato negli ultimi tempi, le elevate emissioni di CO<sub>2</sub> e la crescente presenza di polveri sottili nell'aria, ci hanno indotto a riservare molta attenzione alla proposizione di un sistema di facciata che garantisse un notevole risparmio energetico per tutto l'edificio. In tal senso abbiamo cercato di elaborare una soluzione che assicurasse la riduzione delle perdite di calore dovute ad un isolamento non ottimale o insufficiente, integrando nel sistema di facciata componenti trasparenti dai ridotti coefficienti di trasmittanza termica.*

*Domino si presenta come un organismo abbinabile a sistemi domotici che ne permettano il controllo: apertura, chiusura e aerazione, ed a sistemi di sicurezza e allarme.*

## **1.1 PREMESSA**

Lo sviluppo negli anni recenti della tecnologia nei sistemi dinamici di facciata è stato notevole. Per questi sistemi tecnologici di tamponamento la ricerca ha puntato al miglioramento delle prestazioni in ambito di risparmio energetico attraverso il costante miglioramento dei livelli d'isolamento termico. Oggi è, infatti, possibile realizzare componenti di facciata trasparenti che possono garantire prestazioni simili a quelle dei componenti di tamponamento opachi tradizionali.

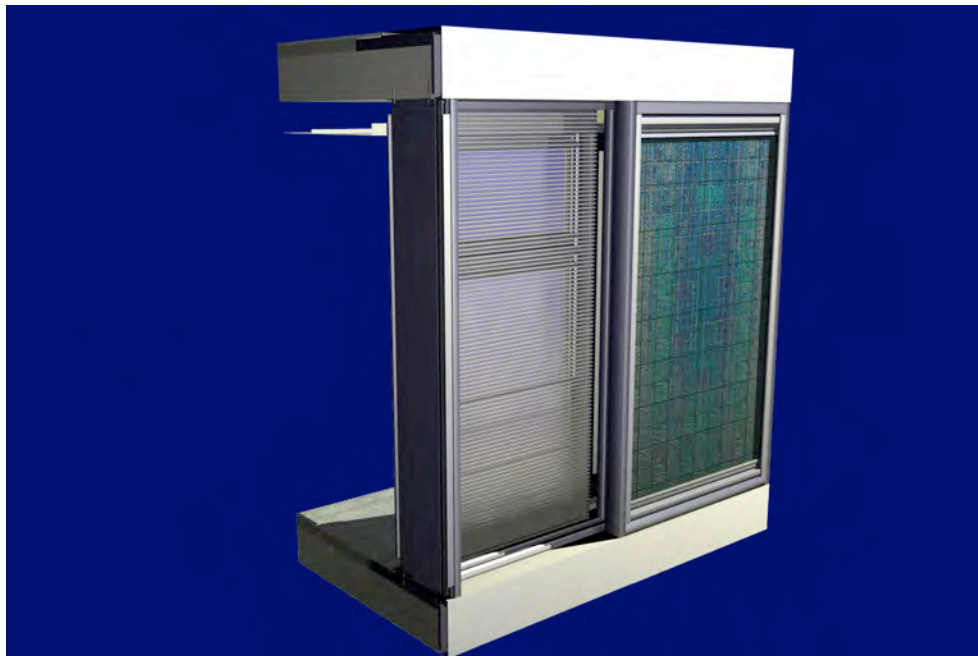
La necessità di sviluppare un sistema di facciata capace di garantire prestazioni energetiche flessibili e adeguate alle condizioni climatiche, ci ha condotto ad elaborare una soluzione che attraverso l'adozione di un sistema a scrigno ha permesso di integrare elementi mobili, quali una rete per insetti blindata, un sistema schermante e un doppio vetro ad un infisso canonico.

Il sistema di facciata sviluppato in fase preliminare dal Centro di Ricerca ABITA di Firenze ha come obiettivo quello di garantire quelle prestazioni estetiche e tecnologiche richieste dal mercato dell'edilizia, sempre più orientato a proporre architetture risolte con involucri e pelli che possano cambiare colore e forma in tempi brevi, garantendo il risparmio energetico, l'isolamento acustico, l'abbattimento dei costi di produzione. La

progettazione integrata tra manufatto edilizio e serramento è attualmente orientata a proporre elementi montabili a secco posteriormente alla realizzazione della parte strutturale dell'edificio.

L'introduzione dell'applicazione della Direttiva europea 2002/91 sul risparmio energetico, l'aumento dei costi energetici registrato negli ultimi tempi, le elevate emissioni di CO2 e la crescente presenza di polveri sottili nell'aria, ci hanno indotto a riservare molta attenzione alla proposizione di un sistema di facciata che garantisse un notevole risparmio energetico per tutto l'edificio. In tal senso abbiamo cercato di elaborare una soluzione che assicurasse la riduzione delle perdite di calore dovute ad un isolamento non ottimale o insufficiente, integrando nel sistema di facciata componenti trasparenti dai ridotti coefficienti di trasmittanza termica. I vetri basso emissivi proposti per la realizzazione del componente di facciata garantiscono, infatti, un'elevata trasmittanza dell'energia solare dall'esterno verso l'interno, e consentono un'ottima trasmissione luminosa al fine di sfruttare in modo ottimale la luce naturale.

Il componente di facciata dinamico si presenta come un organismo abbinabile a sistemi domotici che ne permettono il controllo: apertura, chiusura e aerazione, sistemi di sicurezza e allarme. La possibilità di integrare nella componente opaca del sistema di facciata pannelli solari o cellule fotovoltaiche, consente di trasformare l'involucro edilizio in



Rendering del componente di facciata DOMINO

componente interattivo, capace di produrre energia (elettricità e/o calore) per i fabbisogni degli utenti del sistema stesso. La possibilità di assemblare a secco elementi modulari dalle elevate prestazioni rende questo componente di facciata particolarmente interessante per le aziende produttrici di serramenti, che ne potrebbero realmente avviare la produzione, alla luce della possibilità di mettere sul mercato un prodotto altamente innovativo, facilmente adattabile a molteplici esigenze dimensionali e prestazionali.

## **1.2. LA SOLUZIONE PROPOSTA**

Il componente di facciata, denominato sistema DOMINO, è costituito per il 50% da pannelli opachi (che se orientati a sud possono essere equipaggiati con celle fotovoltaiche o pannelli solari) e per un altro 50% da pannelli trasparenti con performance termiche e luminose variabili.

**In inverno** questo sistema di facciata garantisce alte prestazioni alla trasmittanza termica assicurando condizioni d'illuminazione ottimali. Nei mesi con le temperature più fredde il componente garantirà un ottimo isolamento dell'edificio attraverso la chiusura totale dell'involucro verso l'esterno. Il pannello contenente il vetro basso emissivo antisfondamento sarà aperto, e l'intercapedine d'aria presente tra esso e l'infisso posteriore (realizzato con vetro camera antisfondamento) garantiranno un ottimo grado d'isolamento di tutto l'edificio.

**In estate** il sistema, parzialmente apribile permette il controllo della ventilazione naturale e della radiazione solare oltre a consentire il night cooling, attraverso la presenza di una zanzariera blindata che non consente l'ingresso di insetti o animali dall'esterno e garantisce prestazioni di sicurezza per gli interni, accentuate dalla presenza di un sistema di sicurezza domotico.

In entrambe le stagioni il sistema di schermatura, realizzato con una veneziana del tipo Retrolux Interior permetterà di regolare il flusso luminoso in entrata all'interno dell'edificio.

Il sistema DOMINO consiste in una soluzione tecnologica che sfrutta le proprietà del sistema ad incasso a "scigno", meccanismo che consente di far scomparire nella scatola in alluminio di contenimento gli elementi di cui è composta la finestra. L'elemento scigno è costituito da:

1. Il cassonetto metallico che fa scorrere le componenti opache al suo interno;
2. Il traverso guida;
3. Il montante.

I moduli che formano il contro telaio sono di lamiera zincata e ricoperta da aluzinc, una speciale lega fatta da alluminio zinco e silicio.

Inoltre i moduli sono prodotti con grecature in senso verticale che rendono la struttura autoportante.

Il traverso guida in alluminio anodizzato grazie alla sua forma grecata è autoportante; inoltre s'inserisce molto facilmente all'interno del cassonetto senza ricorrere all'utilizzo di chiodi o viti.

Sulla base inferiore sarà posizionato un gocciolatoio che permetterà di far defluire verso l'esterno un'eventuale condensa. All'interno del montante scatolare d'alluminio sarà collocato un pannello isolante di 5 cm di spessore che consente un adeguato isolamento termico.

La componente opaca esterna sarà realizzata con un modulo multifunzionale ad elementi prefabbricati che garantiranno l'integrazione di cellule fotovoltaiche, le quali oltre a fornire energia elettrica garantiranno la produzione di calore nell'intercapedine areata posta in loro adiacenza, calore che attraverso un sistema regolato da ventole e bocchette apribili potrà essere convogliato all'interno dell'edificio durante i mesi invernali o espulso all'esterno. La presenza dell'intercapedine d'aria garantisce, comunque, un ottimo isolamento di tutto il componente opaco, che risulta, inoltre facilmente trasportabile e rapidamente installabile.

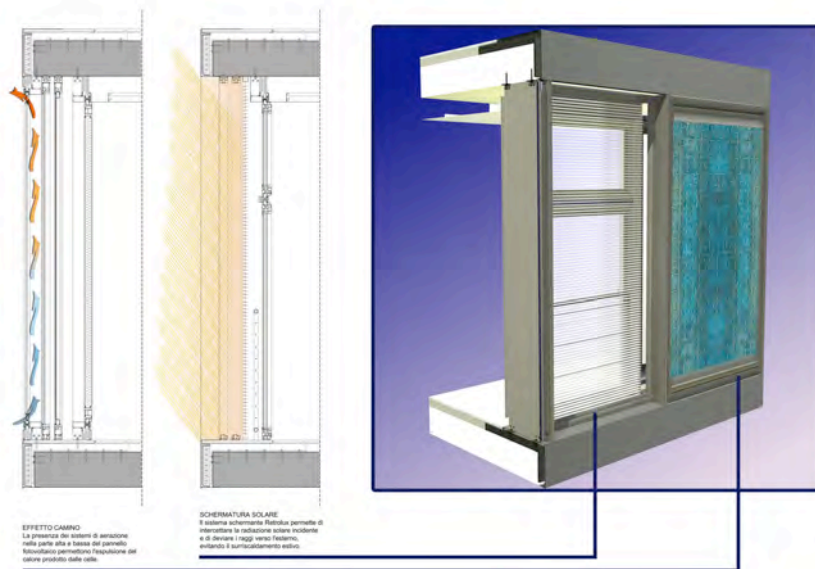
I carrelli della portata di 180 kg. per anta sono montati su un binario d'acciaio estraibile. A tali carrelli sono agganciati gli elementi mobili del sistema, la rete per gli insetti blindata, la tenda, e il vetro basso-emissivo.

La necessità d'integrare una rete per insetti blindata nasce dall'esigenza di garantire la parziale apertura degli infissi durante i mesi estivi per permettere la ventilazione notturna dell'edificio e ridurre così il carico termico accumulato durante il giorno. La "zanzariera" è realizzata attraverso una maglia metallica che può essere fatta con una texture diversa secondo le preferenze del progettista che la deve adottare.

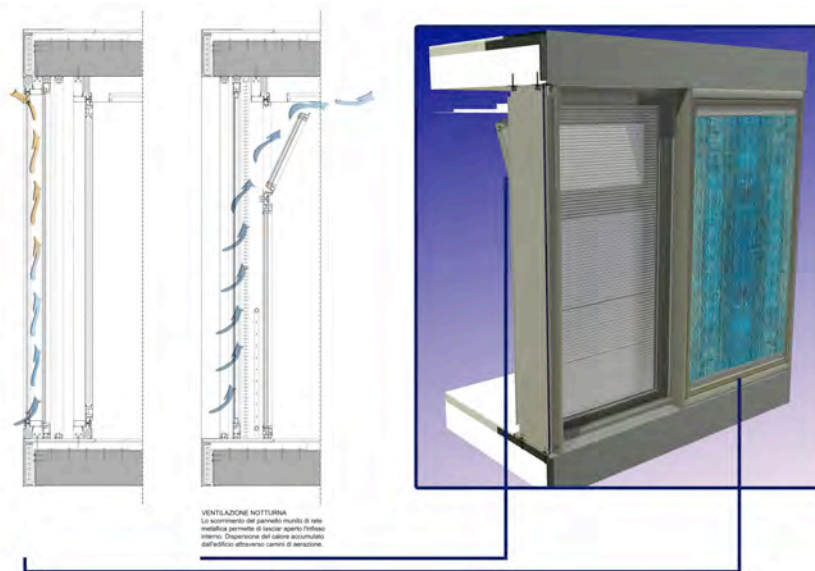
Il tipo di facciata DOMINO presenta in sezione le seguenti proprietà:

- I vetri di entrambi i componenti, fisso e mobile, sono stratificati, basso emissivi e antisfondamento, così da garantire buone prestazioni di isolamento termico e acustico;
- L'illuminazione degli ambienti interni è garantita dalla radiazione solare incidente che sarà opportunamente schermata e filtrata attraverso l'apertura o la chiusura dell'elemento su cui è montata la tenda;
- L'infisso interno può essere totalmente apribile attraverso un dispositivo automatico che ne garantirà il funzionamento soprattutto nelle ore notturne in assenza dell'utenza;
- L'integrazione di pannelli fotovoltaici nella parte opaca garantisce la produzione dell'energia elettrica necessaria all'edificio.

*Integrazione architettonica di tecnologie per il risparmio energetico.  
Analisi di un componente di facciata dinamico*

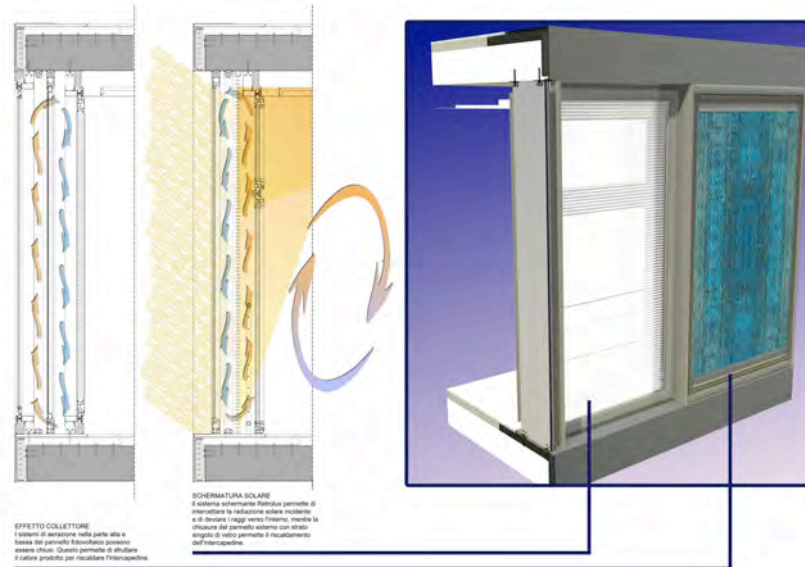


Configurazione estiva/giorno del Componente di Facciata

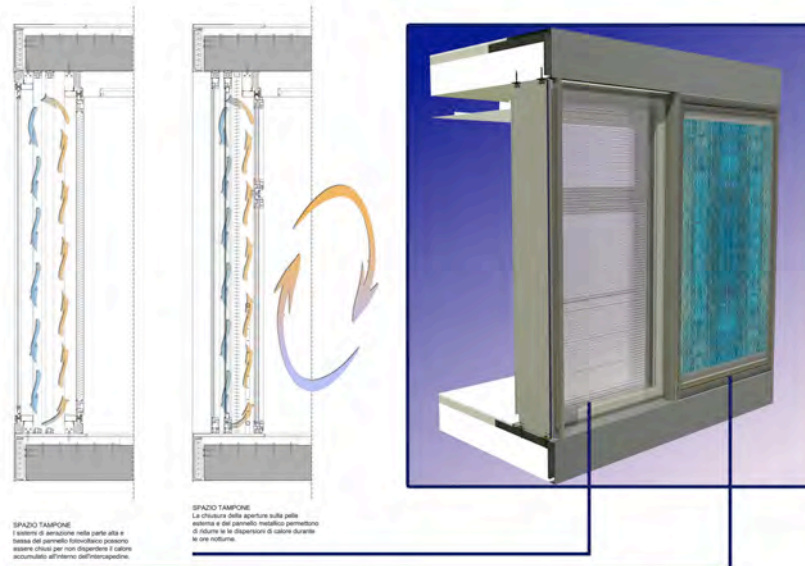


Configurazione estiva/notte del Componente di Facciata

Sistema di facciata intelligente Domino. Integrazione architettonica di Tecnologie per il Risparmio Energetico



Configurazione invernale/giorno del Componente di Facciata



Configurazione invernale/notte del Componente di Facciata



### **1.3. SOLUZIONE CON COMPONENTI OPACHI**

La componente opaca proposta in questa soluzione con l'integrazione di pannelli fotovoltaici può essere realizzata anche con componenti non trasparenti, quali lo stesso acciaio o il vetro stratificato serigrafato, garantendo soluzioni estetiche declinabili secondo l'esigenza della committenza.

Nel caso in cui si utilizzano componenti opache per il tamponamento esterno sarà cura del progettista prevedere la collocazione di uno strato d'isolante termico all'interno del montante scatolare esterno, così da accentuare le proprietà termiche dell'intero sistema di facciata.

### **1.4. INTEGRAZIONE CON PANNELLI FOTOVOLTAICI**

Le celle fotovoltaiche permettono di convertire l'energia solare in energia elettrica. Questo processo è reso possibile dalle proprietà fisiche di alcuni elementi definiti semiconduttori come il silicio.

L'elemento che sta alla base della tecnologia fotovoltaica è la cella che è costituita da un materiale semiconduttore, il silicio, di spessore estremamente ridotto (0,3 mm), che è trattato mediante operazione di "drogaggio" che consiste nel trattare il silicio con atomi di fosforo e boro al fine di ottenere correnti elettriche stabili all'interno della cella. Allo strato di silicio sono applicati mediante sistema serigrafico dei contatti elettrici metallici (in argento o alluminio) che sono costituiti da una superficie continua sul fronte posteriore ed una griglia sul lato anteriore della cella. La loro funzione è quella di captare il maggior flusso elettrico possibile e convogliarlo all'esterno. Il rivestimento antiriflettente è costituito dalla deposizione di uno strato sottile di ossido di titanio per minimizzare la componente di radiazione solare riflessa. Il parametro più importante della cella è il suo rendimento  $\eta$  che rappresenta il rapporto tra la massima potenza  $P_{max}$  [Wp] che si ottiene dalla cella e la potenza totale della radiazione incidente sulla superficie frontale.

Il livello del rendimento diminuisce all'aumentare della temperatura delle celle, poiché la temperatura ostacola il passaggio degli elettroni nel semiconduttore.

Nel componente di facciata DOMINO il pannello fotovoltaico, dalle dimensioni di 5 mq, sarà installato all'interno del montante esterno del componente opaco. Il pannello fotovoltaico policristallino sarà costituito da:

1. Una lastra di vetro temprato che ha una duplice funzione: di assicurare una buona trasmittanza termica (> 90%) ed una resistenza meccanica, considerato il fatto che le celle fotovoltaiche sono molto fragili e si rompono facilmente;

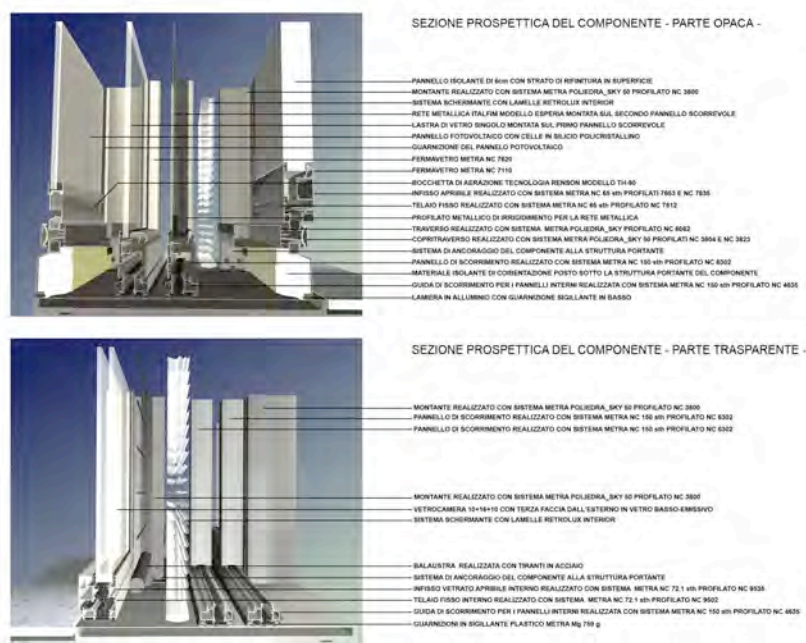
2. Un primo foglio sigillante trasparente in eva (acetato vinile etilenico) che ha la funzione di garantire la tenuta agli agenti esterni ed un buon isolamento dielettrico;
3. Celle fotovoltaiche;
4. Secondo foglio sigillante in eva per l'isolamento posteriore;
5. Chiusura posteriore in vetro con la funzione di favorire lo scambio termico e consentire una parziale trasparenza del modulo.

Nella parte posteriore del modulo fotovoltaico è collegata la scatola di giunzione per i collegamenti elettrici necessari per l'installazione.

L'integrazione fotovoltaica dovrà seguire un'attenta progettazione dell'intero corpo di fabbrica, tenendo in special modo presente l'orientamento del prospetto che ospiterà il sistema di facciata fotovoltaico.

Per le facciate orientate a sud o a sud-est è consigliabile alloggiare pannelli in silicio monocristallino o policristallino. Il silicio monocristallino ha un grado di maggior purezza del materiale e garantisce le migliori prestazioni in termini di efficienza avendo il rendimento più alto pari al 15%. Si presenta di colore blu scurissimo uniforme e ha una forma circolare o ottagonale, di dimensione dagli 8 ai 12 cm di diametro e 0.2 -0.3 mm di spessore.

Per le facciate orientate in maniera meno ottimale, nord nord-ovest, sarà consigliabile scegliere pannelli in silicio amorfo. Il silicio amorfo si ottiene



Sezione prospettica del componente, parte opaca e parte trasparente

dalla deposizione di uno strato sottilissimo di silicio cristallino (1-2 micron) su superfici di altro materiale, ad esempio vetri o supporti plastici. In questo caso è improprio parlare di celle, in quanto possono essere ricoperte superfici anche consistenti in modo continuo.

L'efficienza di questa tecnologia è sensibilmente più bassa, nell'ordine del 5-6.8% ed è soggetta a un decadimento consistente (-30%) delle proprie prestazioni nel primo mese di vita (effetto Stabler-Wronsky) che impone quindi un sovradimensionamento della superficie installata, in modo da consentire in fase di esercizio la produzione di energia elettrica preventivata in sede di progetto, tuttavia garantisce una sensibilità maggiore alla captazione della radiazione solare a bassa intensità.

Come già precedentemente detto l'integrazione del pannello fotovoltaico in facciata migliorerà le prestazioni termiche generali dell'edificio.

### **1.5 INTEGRAZIONE CON COLLETTORI SOLARI**

La componente opaca può essere inoltre tamponata esternamente attraverso l'integrazione di pannelli solari. Questa soluzione è indicata in tutti quei casi in cui è necessaria un'elevata produzione di acqua calda, ad esempio per quegli edifici che adottano impianti radianti a pavimento per il riscaldamento nei mesi invernali. In questo caso, vista l'impossibilità di alloggiare i boiler dietro ai pannelli piani si ricorrerebbe ad impianti a circolazione forzata con serbatoi d'accumulo generali.

Questa soluzione permetterebbe di sfruttare l'elemento opaco come un vero e proprio muro di trombe, garantendo l'aumento delle prestazioni energetiche generali dell'edificio attraverso la formazione di moti convettivi d'aria calda all'interno dell'intercapedine che ospita lo scrigno.

#### **Bibliografia**

- Ceccherini Nelli Lucia, *FOTOVOLTAICO IN ARCHITETTURA*, Alinea 2006  
Sala Marco, *INTEGRAZIONE ARCHITETTONICA DEL FOTOVOLTAICO*, Alinea 2003  
M. Sala, L. Ceccherini Nelli, *TECNOLOGIE SOLARI*, Firenze 2000, Alinea Editrice  
M. Sala, L. Ceccherini Nelli, A. P. Lusardi, A. Trombadore; *SCHERMATURE SOLARI*, Firenze 2001, Alinea Editrice  
Tucci Fabrizio, *INVOLUCRO BEN TEMPERATO*, Alinea 2006

*Le immagini del componente di facciata sono state elaborate da Diego Cosentino in occasione della tesi di laurea: Involucri dinamici in architettura: caso studio di un sistema modulare di facciata per il risparmio energetico, Facoltà di architettura di Firenze, Relatore Prof. Marco Sala, Anno Accademico 2005/2006*