

# The assessment of the reliability of an innovative 3<sup>rd</sup> generation solar cell integrated with “thermal belt” glass block

Giuseppe Alaimo, Rossella Corrao,  
Daniele Enea\*, Marco Morini

---

## Highlights

A test program for the evaluation of the durability of the 3<sup>rd</sup> generation solar cell integrated glass block has been defined

Inherent reliability was evaluated by means of tests measuring dimensional changes of the glass block produced by accelerated aging

Critical reliability was evaluated by means of tests measuring the physical-chemical incompatibilities between different constituents

---

## Abstract

Glass block is a building product widely used for the construction of translucent building façades and roofs. The need to adapt the product to the regulations in the field of energy saving and environmental sustainability has led to the design of innovative configurations, through the integration of different sub-components. These ones are able to improve its energy performance by means of the integration of a “thermal belt”, cold glued to the glass shells, which constitute the traditional glass block, and 3<sup>rd</sup> generation solar cells. This paper reports the first results of the experimental program designed to assess some durability components: inherent and critical reliability.

---

## Keywords

Glass-block, Durability, Reliability, Accelerated aging, Dye-sensitized solar cell

---

## 1. INTRODUCTION

The UNI 11156:2006 defines the durability of a building component as “the capability of a building or its parts to perform its required functions over a specified period of time, under the influence of the agents anticipated in service.” The same idea is taken up by D.M. 14.01.2008 (technical standards for buildings, N.T.C.), whereby the durability is defined as the preservation of the physical and mechanical properties of materials and structures. The recent Regulation EU no. 305/2011 on construction products, which entered into force on the 1st of July 2013, repealed Directive 89/106/EEC and introduced the seventh requirement for construction works, called “Sustainable Use of Natural Resources”, that between the various aspects provides the durability. This applies, in particular, for newly designed products, such as

### Giuseppe Alaimo

*D'ARCH - Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Palermo, viale delle Scienze, Edificio 8, Palermo, 90133, Italia*

### Rossella Corrao

*D'ARCH - Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Palermo, viale delle Scienze, Edificio 8, Palermo, 90133, Italia*

### Daniele Enea

*D'ARCH - Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Palermo, viale delle Scienze, Edificio 8, Palermo, 90133, Italia*

### Marco Morini

*D'ARCH - Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Palermo, viale delle Scienze, Edificio 8, Palermo, 90133, Italia*

*\* Corresponding author*

*Tel.: +39-9123896121;*

*fax: +39-9123867504;*

*e-mail: daniele.enea@unipa.it*

the 3rd generation solar cells integrated glass block, patented by SBskin. Smart Building Skins Ltd – innovative start-up and academic spin-off of the University of Palermo [1], able to reduce energy consumption of buildings and produce clean energy by sun. Glass block, in its traditional consistency, is a construction product, which has found many applications in the field of building design for the realization of translucent casings and internal partitions. Just in 1856, Joshua K. Ingalls patented an iron vault cover panel with glass flattened sphere diffusers (Fig. 1, a). In 1897, Frank Lloyd Wright also experimented with prismatic glass diffusers engraved with iridium tips (Fig. 1, b). The German Engineer F.L. Keppler patented in 1907, on the behalf of the German branch of Luxfer Prism Company (US), a new form of glass diffusers to be installed with a reinforced concrete support frame (Fig. 1, c).

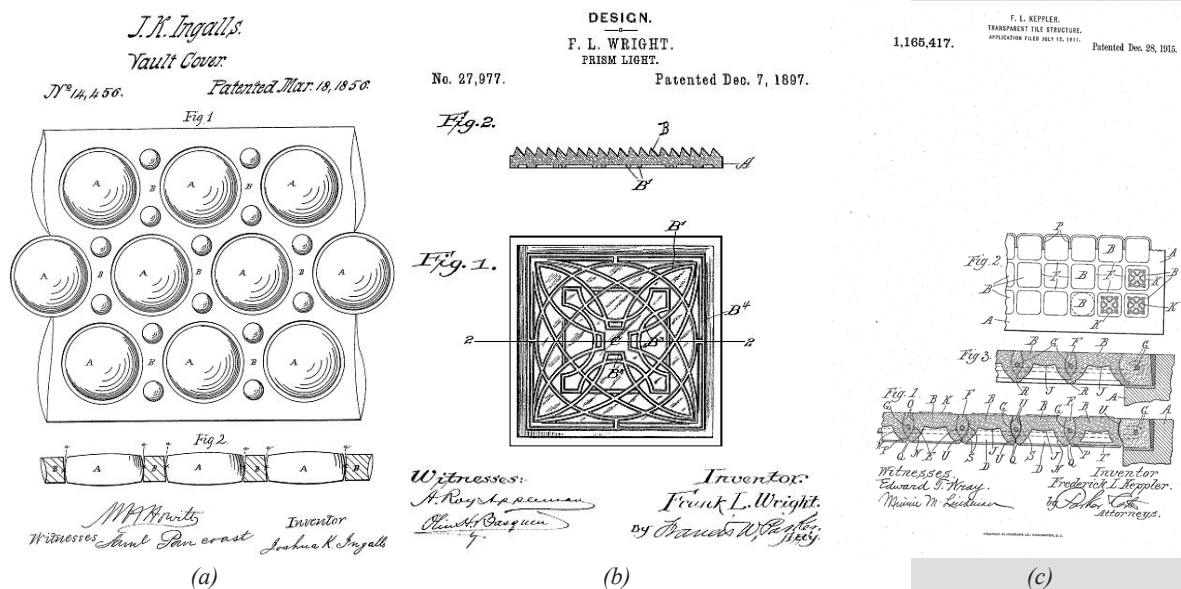


Figure 1. (a) The iron vault cover panel by Ingalls, (b) Wright's prismatic diffusers and (c) Keppler's patent.

This was the first example of the so-called “vetrocimento”, its use so developing during the Modern Movement and that still often identifies the glassy component itself (more properly known in the construction industry as glass block, when considered deprived of the assembly system adopted for its installation in buildings) (Corrao, 2010). The need to adapt the product to the changing needs of users and, more recently, to the increasingly stringent regulations in the field of energy saving and environmental sustainability has led to long abandonment over time, nowadays opposed by the definition of innovative configurations. We can consider as examples of this renewed use, the rehabilitation of the Leitão 653 building designed by Triptyque, 2013 (Fig. 2,a), or the Maison Hermès by Renzo Piano, dated 2001 (Fig. 2, b) or the Metro Rail Station, designed by H.J. Goeritz in 2000 (Fig. 2, c).

## 1. INTRODUZIONE

La Durabilità di un componente edilizio è definita dalla norma UNI 1156:2006 come “la capacità di un edificio o delle sue parti di svolgere le funzioni richieste durante un periodo di tempo specificato, sotto l'influenza degli agenti previsti in servizio”. Lo stesso concetto è ripreso dal D.M. 14.01.2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni - N.T.C.), secondo cui la durabilità è definita come la conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture. Il nuovo Regolamento EU 305/2011 sui prodotti da costruzione, entrato in vigore il 1° luglio 2013, ha abrogato la Direttiva 89/106/CEE ed ha introdotto il settimo requisito delle opere da costruzione, denominato “uso sostenibile delle risorse naturali”, che tra i diversi aspetti prevede la definizione della durabilità. Ciò vale in particolare per prodotti di nuova concezione, come

il vetromattoni integrato con celle solari di terza generazione, messo a punto dalla SBskin. Smart building Skin, start up innovativa e spin off accademico dell'Università degli Studi di Palermo [1], in grado di ridurre i consumi energetici degli edifici e di produrre energia pulita tramite la sorgente solare. Il vetromattoni, nella sua “tradizionale” consistenza, è un prodotto da costruzione che ha trovato molteplici applicazioni nel campo della progettazione edilizia per la realizzazione di involucri e partizioni interne traslucide. Già nel 1856, Joshua K. Ingalls brevettava un pannello per pavimentazioni in ferro con diffusori in vetro a geometria di sfera schiacciata (Fig. 1, a). Nel 1897, anche Frank Lloyd Wright si cimentava nell'elaborazione di diffusori in vetro prismatici incisi con punte di iridio (Fig. 1, b). Al 1907 risale il brevetto dell'ingegnere tedesco F. L. Keppler che, per conto della filiale tedesca della Luxfer Prism

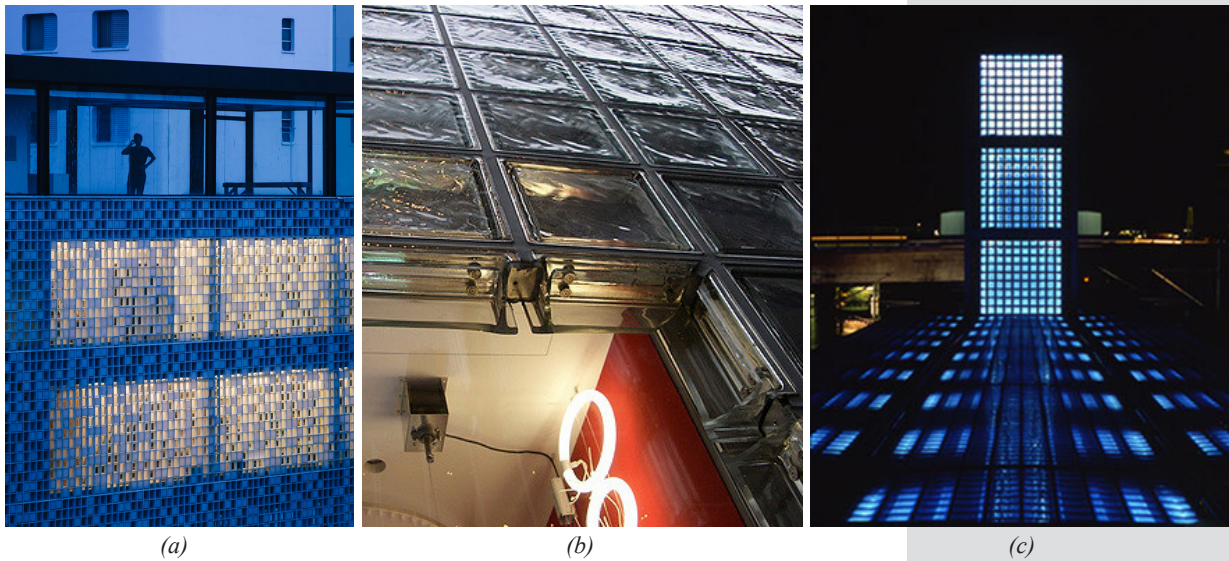


Figure 2. (a) Leitão 653 building, São Paolo, (b) Maison Hermès, Tokyo, (c) Metro Rail Station, Hanover.

SBskin patented a range of innovative products, at the state of prototyping and certification (Fig. 3), starting from the traditional shells of the glass block, specially redesigned, by means of sub-components integration, able to improve the energy performance of the final product, an innovative glassy component, similar to the glass block, but highly energy efficient; these performance are related particularly with thermal insulation (“thermal belt”) and the production of electrical energy from renewable sources (respectively through the use of a “thermal belt” and 3rd generation solar cells), the whole totally “cold-assembled”.

Company (statunitense), brevettò una nuova forma di diffusori in vetro da installare con un telaio di supporto in c.a. (Fig. 1, c).

Si trattava del primo esempio del cosiddetto “vetrocimento” che tanto piede prese nel corso del Movimento Moderno e che tutt’ora, spesso, identifica il componente vetroso stesso (meglio noto come vetromattone, quando considerato privo del sistema di assemblaggio adottato per la sua installazione negli edifici) (Corrao, 2010). La necessità di adeguare il prodotto alle mutate esigenze degli utenti e, più recentemente, alle sempre più stringenti normative in materia di risparmio energetico e sostenibilità



Figure 3. Prototypes of sub-components of SolarGB panel. The thermoplastic belt of the glass block and the sub-components for panel dry assembly have been here realized by means of 3D printer.



## 2. STATE OF THE ART

The 3<sup>rd</sup> generation solar cell integrated glass block (Dye-sensitized Solar Cells, DSCs), for the realization of pre-stressed dry assembled panels, is a product innovation, which opens new scenarios for its use even in hard climatic contexts and for the realization of high buildings' translucent casings (Corrao et al., 2014). The versatility of the product, in fact, derived from the intrinsic characteristics of the photovoltaic module (transparent, coloured, able to produce energy even when not perfectly oriented and in presence of diffused light) integrated within the glass component consisting of two pressed glass shells, "cold" assembled via resin to a "thermal belt" in plastic material that reduces the thermal transmittance value of the product to about 1 W/m<sup>2</sup>K, allows to realize energy efficient translucent casings, operating in several climatic contexts (from the continental to the Mediterranean and/or subtropical ones). It is, therefore, important to evaluate the effectiveness of components' bonding to ensure durability in different application contexts.

## 3. METHODOLOGY

According to the UNI 11156 the parameters used for the evaluation of the durability are:

- 1) Duration or service life: the period of time after installation during which the building or its parts maintain performance levels greater than or equal to the acceptance limits;
- 2) Reliability: the probability that the technical element works without spoiling to a suitable level, for a certain time t and in predetermined environmental conditions.

The UNI 11156-2 allows a predictive evaluation of the second component of the durability requirement: the reliability. It consists of a qualitative assessment, out of context and in reference conditions, of the probability of non-occurrence failure of the building component in the period between the start of the evaluation (time zero that corresponds to the moment in which the component has not yet been subject to any stress) and the service life of the component in the operating phase. The propensity of reliability is further divided into four components:

*Functional reliability, Af*, which identifies the degree of balance in the distribution of the functions that the technical part has to perform, from which depends on the degree of fatigue of the technical component during its operation, and that depends on:

- Simplicity of the model;

*ambientale ha portato nel tempo al suo lento declino, oggi contrastato dalla definizione di nuove configurazioni dello stesso prodotto. Pensiamo alla riqualificazione dell'edificio Leião 653 progettata dallo studio Triptyque, a San Paolo del Brasile, nel 2013 (Fig. 2, a) o alla Maison Hermès di Renzo Piano a Tokyo del 2001 (fig. 2, b) o alla Metro Rail Station di Hannover, progettata da H.J. Goeritz nel 2000 (Fig. 2, c).*

### 2. STATO DELL'ARTE

*Il vetromattone integrato con celle solari di terza generazione DSC (Dye-sensitized Solar Cell), per la realizzazione di pannelli preassemblati a secco e precompressi, rappresenta un'innovazione di prodotto che apre nuovi scenari per il suo utilizzo anche in contesti climatici avversi e per la realizzazione di involucri traslucidi di edifici a notevole sviluppo verticale (Corrao et al., 2014). La versatilità del prodotto, infatti, derivata dalle caratteristiche intrinseche del modulo fotovoltaico (trasparente, colorato, in grado di produrre energia anche quando non perfettamente orientato ed in presenza di luce diffusa) integrato all'interno del componente vetroso costituito da due conchiglie di vetro pressato assemblate "a freddo", tramite resine, ad una "cintura termica" in materiale plastico (che riduce il valore di trasmittanza termica del prodotto a circa 1 W/m<sup>2</sup>K) consente di poter realizzare involucri traslucidi energeticamente efficienti ed attivi in diversi contesti climatici (da quelli continentali a quelli mediterranei e/o subtropicali). È importante quindi, valutare l'efficacia dell'incollaggio delle parti costituenti questo innovativo componente edilizio per garantirne anche la durabilità in differenti contesti applicativi.*

### 3. METODOLOGIA

*I parametri che vengono utilizzati per la valutazione della durabilità, secondo la norma UNI 11156 sono:*

*1) Durata o vita utile: periodo di tempo dopo l'installazione durante il quale l'edificio o le sue parti mantengono livelli prestazionali superiori o uguali ai limiti di accettazione;*

*2) Affidabilità: probabilità che l'elemento tecnico funzioni senza guastarsi ad un livello predisposto, per un certo tempo t ed in predeterminate condizioni ambientali.*

*La norma UNI 11156-2 consente una valutazione previsionale della seconda componente del requisito di durabilità: la propensione all'affidabilità. Essa consiste in una valutazione qualitativa, fuori contesto ed in condizioni di riferimento, della probabilità di non accadimento di guasto del componente edilizio nel periodo compreso tra l'avvio della valutazione (tempo zero, che corrisponde al momento in cui il componente non è ancora stato soggetto ad alcuna sollecitazione) e la vita utile spontanea del componente stesso in esercizio. La propensione di affidabilità si articola ulteriormente in quattro componenti:*

*Affidabilità funzionale, Af, che individua il grado di equilibrio nella distribuzione delle funzioni che il componente tecnico deve svolgere, da cui dipende il grado di affaticamento*

- Fatigue of the model;
- Distribution of functions.

*Executive reliability,  $A_e$* , which verifies the degree of compliance with respect to the execution of the project forecast. This assessment is reached through three components:

- Commodity complex;
- Object complexity;
- Complexity of the report.

*Inherent reliability,  $A_i$* , which concerns the possible dimensional changes during operation of the component. These phenomena may be caused by:

- Temperature variations;
- Moisture changes.

*Critical reliability,  $A_c$* , which depends on the possible chemical or physical-chemical incompatibilities between the different constituents of the technical solution nature materials. The possible criticality can have:

- Chemical nature;
- Physical nature.

Finally, the *global propensity to reliability,  $A_g$* , the average of the four components, expresses the degree of probability that the technical solution lasts for the expected time in exercise (exercise service life), without the occurrence of faults. In this work on the DSCs integrated glass block with thermal belt, we intend to show the methodological approach for evaluating the reliability of two of the four components: the inherent and the critical ones, and the first results of the experimental tests performed. The experimental phase was carried out at the Laboratory of Construction, Polytechnic School of Palermo and conducted by submitting representative samples of the components of the glass block to natural aging tests in the outdoor and accelerated aging tests in the climatic chamber, ACS 1200® of Angelantoni Test Technologies, and in the Solarbox 1500e® of Angelantoni Test Technologies. This in order to monitor over time the decay of the main performance characteristics related to different technical solutions (by varying the plastic material used for the “thermal belt” and the type of adhesives to be used for the cold assembly of the sub-components), exposed to different natural and artificial aging. The test program, already partially realized, has been broken down into phases. The first, derived from standard ASTM C 719-93, for the verification of adhesive joints under cyclic action, consisted of the execution of a pre-treatment condition of a total duration of 21 days, subdivided into 4 phases at temperatures ranging from  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  and  $37.8 \pm 2^\circ\text{C}$  and a relative humidity ranging from  $50 \pm 5\%$  and  $95 \pm 5\%$ . At the end of this first pre-treatment

del componente tecnico durante il suo funzionamento e che dipende da:

- semplicità del modello;
- affaticamento del modello;
- distribuzione delle funzioni.

Affidabilità esecutiva,  $A_e$ , che verifica il grado di rispondenza esecutiva rispetto alle previsioni di progetto. A questa valutazione si perviene attraverso tre componenti:

- complessità merceologica;
- complessità oggettiva;
- complessità di relazione.

Affidabilità inerente,  $A_i$ , che riguarda le possibili variazioni dimensionali del componente in fase di esercizio. Tali fenomeni possono essere causati da:

- variazioni di temperatura;
- variazioni di umidità.

Affidabilità critica,  $A_c$ , che dipende dalle possibili incompatibilità chimiche o chimico-fisiche tra i materiali di natura diversa costituenti la soluzione tecnica. Le possibili criticità possono essere di natura:

- chimica;
- fisica.

Infine, la propensione all'affidabilità globale,  $A_g$ , media delle quattro componenti, che esprime il grado di probabilità che la soluzione tecnica duri per il tempo previsto in esercizio (Vita utile di esercizio) senza che si verifichino dei guasti. In questo lavoro sul vetromattone integrato con celle fotovoltaiche di terza generazione e con “cintura termica” si riporta l'impostazione metodologica per la valutazione di due delle quattro componenti dell'affidabilità: quella inerente e quella critica ed i primi risultati delle prove sperimentali eseguite. Le sperimentazioni avviate presso i laboratori della Scuola Politecnica di Palermo sono state condotte sottoponendo campioni rappresentativi delle parti costitutive del vetromattone a prove di invecchiamento naturale in esterno e a prove di invecchiamento accelerato in camera climatica, ACS 1200 della Angelantoni Test Technologies, e in Solarbox 1500e della Angelantoni Test Technologies, in dotazione al Laboratorio di Edilizia, dell'Università degli Studi di Palermo. Ciò al fine di monitorare il decadimento nel tempo delle principali caratteristiche prestazionali di soluzioni tecniche diverse (ottenute variando il materiale plastico utilizzato per la realizzazione della “cintura termica” e il tipo di colla da impiegare per l'assemblaggio a freddo dei diversi sub-componenti), sottoposte a modalità diverse di invecchiamento sia naturale che artificiale. Il programma di prova, già in parte realizzato, è stato suddiviso in fasi. La prima, derivata dalla norma ASTM C 719-93, per la verifica di giunti incollati sotto azione ciclica, è consistita nell'esecuzione di una condizione di pre-trattamento della durata complessiva di 21 giorni, suddivisa in 4 sottofasi a temperature comprese tra  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $37.8 \pm 2^\circ\text{C}$  e umidità relativa compresa tra  $50 \pm 5\%$  e  $95 \pm 5\%$ . Alla fine di questa prima fase di pretrattamento, i provini sono stati inseriti in Solarbox per la seconda fase di irraggiamento UV, secondo quanto previsto in Fig. 4, in accordo alla norma ASTM C1519-02a.

A seguito di queste prime due fasi di test, per i sub-componenti che hanno superato entrambe le fasi, dando risultati soddisfacenti per

phase, the samples were put inside the Solarbox for the second UV irradiation phase, according to ASTM C1519-02a (Fig. 4).

la verifica di resistenza meccanica dell'incollaggio, al termine dei cicli di invecchiamento indotti in camera climatica ed in Solarbox, si

PRE-TREATMENT	Duration (gg)	T (°C)	RH (%)
In climatic chamber	7	23±2	50±5
	7	37.8±2	95±5
	7	23±2	50±5
In distilled water	7	20±2	100
<b>TOTAL</b>	<b>28</b>		
<b>THERMOHYGROMETRIC STRESS</b>			
In Solarbox, lamp on, for 56 times	8h	60±3	N.C.
In Solarbox, lamp off, for 56 times	4h	50±3	N.C.
<b>TOTAL</b>	<b>28</b>		

Figure 4: The test program for monitoring adhesive joints.

Following these first two phases, for sub-components that have passed both ones, yielding satisfactory results for the verification of the bond mechanical strength, after the end of accelerated aging in the climatic chamber and Solarbox, we proceeded with a further third phase of accelerated aging in laboratory. The accelerated aging cycle developed for this third phase of testing is derived from the analysis and processing of weather data in the province of Palermo over the last 40 years, allowing determining the duration and parameters' values of the respective cycle segments (Fig. 5).

è proceduto con un'ulteriore terza fase di invecchiamento accelerato in laboratorio. Il ciclo di invecchiamento accelerato messo a punto per questa terza fase di test è derivato dall'analisi ed elaborazione dei dati meteo-climatici della provincia di Palermo, negli ultimi 40 anni, che ha consentito di stabilire le durate ed i valori dei relativi segmenti del ciclo (Fig. 5). Sono stati eseguiti confronti tra le modalità di decadimento delle prestazioni dei diversi provini sottoposti ai diversi tipi di invecchiamento. L'invecchiamento naturale dei provini, di cui non potrà riferirsi in questo lavoro, è già stato

Phase	Sub-phase	Theoretical Cycle (Min)	T (C°)	RH (%)
A	Rain (Autumn season)	75	20	95
	Cold (Winter season)	40	2	nc
	Hot-humid (Spring season)	115	35	87
	Hot-dry (Summer season)	70	70	56
<b>TOTAL</b>		<b>300</b>		
<b>B</b>	Hot-humid + UV irradiation	<b>120</b>	<b>35</b>	<b>87</b>
<b>TOTAL A+B</b>		<b>420 (7h)</b>		

Figure 5: The accelerated aging cycle.

Comparisons between the decaying modes of performance in the samples subjected to the different types of aging will be analysed. Natural aging, which we cannot relate in this work, is ongoing by placing outdoor a series of samples and subjecting them to weather and climate conditions of the city of Palermo, for a period of at least one year, and then subjected to adhesive joint mechanical test. Correlations, in terms of times and comparable performance decay, at the end of this phase (1 year) can give useful guidance for determining

avviato, ponendo in esterno una serie di campioni che saranno sottoposti alle condizioni meteo-climatiche della città di Palermo, per una durata di almeno un anno, e poi soggetti alla verifica di tenuta dell'incollaggio. Le correlazioni deducibili tra tempi e decadimento delle prestazioni, al termine di questa fase (1 anno), potranno dare utili indicazioni per determinare la durata di vita utile dei prodotti testati, così come prevede la norma ISO 15686 che descrive la metodologia per la determinazione della durabilità dei prodotti da costruzione. Il presente lavoro ha

the service life of the tested products, as required by ISO 15686 which describes this methodology for determining the durability of construction products. This paper has the specific aim of assessing the inherent reliability of the “thermal belt”, by means of the dimensional variations monitoring of the several samples, manufactured with different materials, chosen for their ability to withstand atmospheric agents, limiting deformations due to thermo-hygrometric stress within the range provided for the glass block in use. At the actual state, we have chosen four plastic materials, being:

- POM-C, an acronym used to indicate the Acetal Resin, a highly crystalline copolymer with high mechanical strength, rigidity, dimensional stability due to reduced water absorption properties;
- Isotactic polypropylene (PP), in the commercial name Moplen®, supplied by Plastotecnica Emiliana Srl, a durable and rigid semi crystalline thermoplastic material that blends at high temperatures;
- Glass fibre reinforced polypropylene, in the commercial name of Tecnoprene®, by SOFTER Spa, with high mechanical properties and increased tensile strength due to the presence of glass fibre;
- Polypropylene and Mica Compound, specifically produced by Diap Srl, characterized by almost no hygroscopy.

Procedures on different prototypes are still in the experimental phase. At the end of the tests, useful information will be derived for the final choice of the plastic material for the “thermal belt” and the adhesive for the bonding between this one and the glass shells. As regards the bonding between the thermal belt and the glass shells, we have already identified five different adhesives to manufacture samples for mechanical tests, according to the ISO 4587-2003. Depending on the compatibility between plastic materials and adhesives, the following combinations were made as reported in Figure 6.

*inoltre come oggetto specifico la valutazione dell'affidabilità inerente della “cintura termica”, attraverso il controllo delle variazioni dimensionali dei diversi campioni, realizzati con materiali diversi scelti per la loro capacità di resistere agli agenti atmosferici, limitando le deformazioni per effetto di stress termo-igrometrico nell'ambito dei range previsti per il vetromattone in uso. I 4 materiali plastici scelti per la sperimentazione sono:*

- POM-C, acronimo utilizzato per indicare la Resina Acetalica, un copolimero ad elevato grado di cristallinità, dotato di elevata resistenza meccanica, rigidità, stabilità dimensionale dovuta alla ridotta proprietà di assorbimento d'acqua;
- Polipropilene isotattico (PP), nella denominazione commerciale Moplen®, della casa produttrice Plastotecnica Emiliana S.r.l., materiale termoplastico semicristallino resistente e rigido che fonde a temperature elevate;
- Polipropilene rinforzato con fibra di vetro, nella denominazione commerciale Tecnoprene®, della casa produttrice SOFTER Spa, dotato di elevate proprietà meccaniche e maggiore resistenza alla trazione per via della presenza della fibra di vetro;
- Compound di Polipropilene e Mica, prodotto specificatamente dalla Diap S.r.l., caratterizzato da igroscopia quasi nulla.

*Le procedure sui diversi prototipi risultano ancora, in parte, in fase di sperimentazione. Al completamento delle procedure di prova previste sarà possibile dedurre indicazioni precise utili per la scelta definitiva del materiale plastico con cui realizzare la “cintura termica” e della colla per l'incollaggio tra questa e le conchiglie di vetro. Per quanto riguarda le colle ne sono stati individuati 5 tipi da utilizzare per la realizzazione dei provini per l'esecuzione dei test di incollaggio secondo la norma ISO 4587-2003. In funzione della compatibilità tra i materiali plastici e le colle, sono stati realizzati gli abbinamenti descritti in Fig. 6. Sono già state effettuate prove di trazione sui campioni rappresentativi*

PLASTIC MATERIAL	ADHESIVE
POM-C	9410® by <u>Technicoll</u>
	Power epoxy® by <u>Henkel</u>
Moplen®	9410® by <u>Technicoll</u>
	Scotch-Weld DP-8005® by 3M
	UV 30-12® by <u>Loxeal</u>
Tecnoprene®	9410® by <u>Technicoll</u>
	Scotch-Weld DP-8005® by 3M
Polypropylene and Mica Compound	9410® by <u>Technicoll</u>
	Scotch-Weld DP-8005® by 3M
	UV 30-12® by <u>Loxeal</u>

Figure 6. Matches between the materials chosen for the thermal belt and its adhesive.



The tensile tests on the samples representative of glass and thermal belt bonding are following reported, before subjecting them to aging, then in the “untreated” condition and after the first pre-treatment step completed. The following aging phase in Solarbox is running. Visual evaluations and optical microscopy were applied to monitor the deterioration of the bonding. The chemical-physical compatibility will be assessed in the continuation of this work, regarding with the several materials constituting the integrated glass block: the two outer glass shells and the plastic material thermal belt, the photovoltaic cells and the glass shells to which they will be applied.

## 4. RESULTS

Some preliminary tests have already been carried out to assess the bonding strength between POM-C samples, representative of the “thermal belt” configuration, and glass samples, representative of the shells. These tests demonstrated that the ideal overlapping length for the “thermal belt” bonding to the side faces of the two shells of the glass block is 18 mm, making possible to transfer the maximum load through the interface (Corrao et al, 2011). This experimental phase consisted of tensile strength tests, measuring the bonding strength, on prismatic samples, 110x25.4x5 mm, with variable overlapping length between 5 and 40 mm. Once defined the overlapping length, due to the different thickness of the plastic materials, 2 mm and 6 mm, it was necessary to realize some tabs of the same material of the plastic sample, to align the two jaws that determine the traction effort on the sample, so as not to determine a torque on the bonding zone (Fig. 7).

*dell'incollaggio tra vetro e cintura, di cui nel seguito si riportano i risultati, prima di essere sottoposti ad invecchiamento, quindi nella condizione “non trattata”, dopo la prima fase di pre-trattamento completata e successivamente alla fase di invecchiamento in Solarbox in fase di svolgimento. Sono state condotte valutazioni visive e mediante microscopio ottico del deterioramento dell'incollaggio. La compatibilità chimico-fisica verrà descritta e valutata nel prosieguo di questo lavoro, in relazione ai diversi materiali che compongono il vetromatone integrato, cioè: le conchiglie di vetro e la cintura termica in materiale plastico, le celle fotovoltaiche ed il vetro cui sono integrate.*

## 4. RISULTATI

*Alcuni test preliminari effettuati per verificare l'incollaggio tra provini in POM-C, rappresentativi della “cintura termica” e provini in vetro, rappresentativi delle conchiglie hanno dimostrato che la lunghezza ideale di sovrapposizione per l'incollaggio della “cintura termica” alle facce laterali delle due conchiglie del vetromatone, è pari a 18 mm ed è in grado di trasferire il massimo carico possibile attraverso l'interfaccia (Corrao et al, 2011). Si è trattato di prove di trazione per le quali è stata testata la resistenza dell'incollaggio di campioni prismatici di dimensioni 110x25.4x5 mm, con lunghezza di sovrapposizione variabile tra 5 e 40 mm.*

*Stabilita la lunghezza di sovrapposizione, in considerazione del diverso spessore disponibile dei provini in materiale plastico, 2 mm e 6 mm, è stato necessario realizzare degli spessori detti tabs di materiale identico a quello del materiale plastico, per allineare le due ganasce che determinano lo sforzo di trazione nel provino, in modo da non determinare un momento torcente sulla zona di incollaggio (Fig. 7).*

*Tale coppia indurrebbe ad uno sforzo*

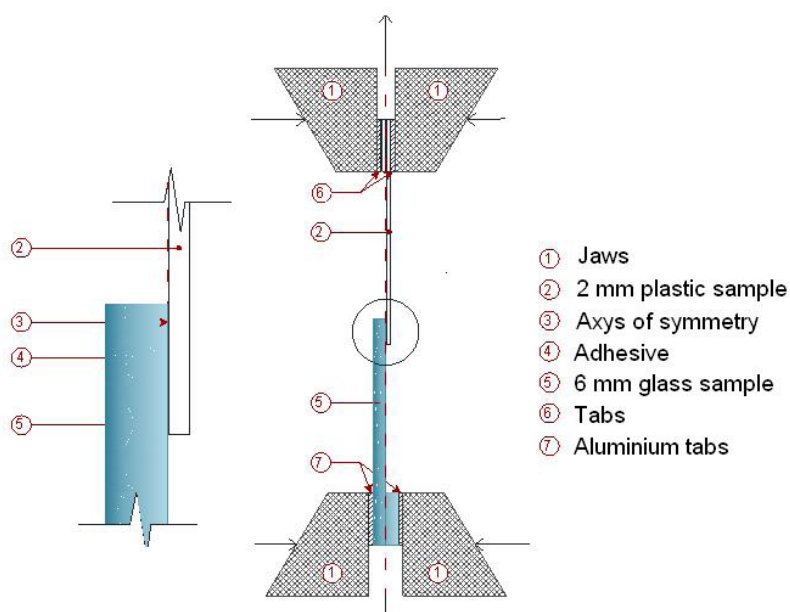


Figure 7. Scheme of the traction test to determine the adhesive joint tensile strength.



This torque would induce a normal stress on the adhesive, in the direction of the thickness, called “peel stress”. The results of the tests performed in this way would be distorted. In addition, 25.4 x 25.4 x 2 mm aluminium inserts have been glued to ensure better tightening of the samples from the jaws of the pulling machine at the ends and on both sides of the sample. In this way, the grooves generated by a possible slipping of the sample with respect to the jaws have not damaged the parts in contact. In addition, only for polypropylene and mica compound series, some samples (Cart) have been subjected to brushing and abrasion treatment with 200-grain abrasive paper in order to increase the roughness and to measure any deviations in the tangential stress values. The results of the traction tests, calculated as the arithmetic mean of the breaking tensile stresses of five untreated samples of plastic / adhesive material tested under the ASTM-D1002 method, are reported in Fig. 8.

normale sull'adesivo, nella direzione dello spessore, definito “peel stress”. I risultati dei test eseguiti secondo questa modalità risulterebbero falsati. Inoltre, per garantire un serraggio migliore del provino dalle ganasce della macchina di trazione, alle estremità e ad entrambi i lati del provino, sono stati incollati degli inserti in alluminio di dimensione 25.4 x 25.4 x 2 mm. In questo modo le scanalature generate da un eventuale scivolamento del provino rispetto alle ganasce non hanno danneggiato gli aderendi. Solo per le serie di campioni di compound di polipropilene e mica, inoltre, alcuni campioni (Cart) sono stati oggetto di un trattamento di spazzolatura e abrasione con carta abrasiva a grana 200, per aumentarne la scabrosità, al fine di misurare eventuali scostamenti nei valori di resistenza della tensione tangenziale. I risultati delle prove di trazione, calcolati come media aritmetica delle tensioni di rottura di n°5 campioni non trattati di materiale plastico/collante, sottoposti a prova secondo il metodo

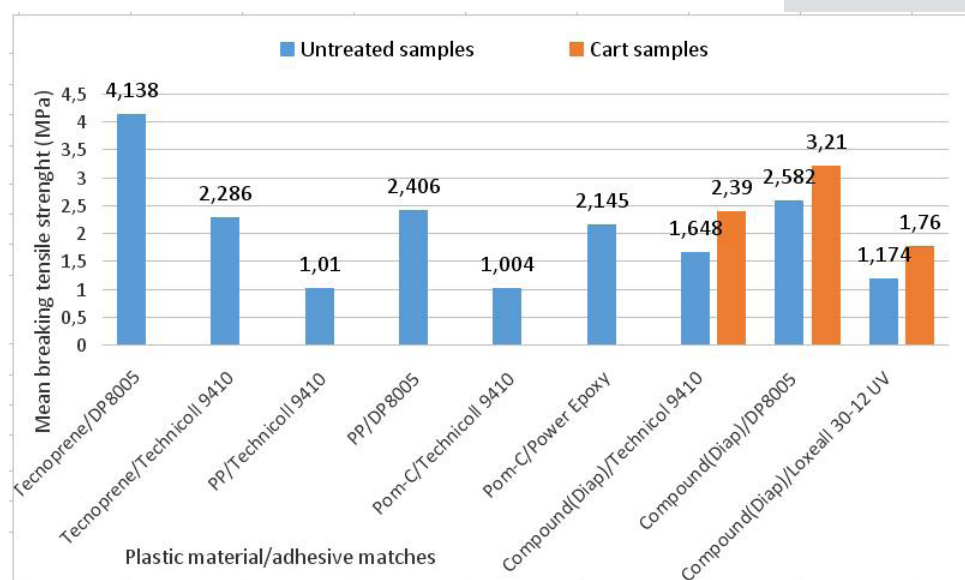


Figure 8. The mean breaking tensions of the tested samples.

The pre-treatment phase, carried out in the climatic chamber (Fig. 9), resulted in a remarkable selection of the combinations between plastic materials and adhesives; only tensile tests, after pre-treatment phase, on combinations of polypropylene and mica compounds were performed with 9410® and UV 30-12® adhesives.

For the first combination, the performance decrease in traction mechanical strength was about 55%, while for the second combination of 20%. The evaluation of adhesive behaviour is under way, given the considerable problems encountered, both in terms of colour variation of adhesive (Fig. 10, a), micro-bubbles formation, observed by optical microscope (Fig. 10, b), and due to variation of the rectilinear geometry of the sample (Fig. 10, c).

ASTM-D1002, sono riportati in Fig. 8. La fase di pre-trattamento, svolta in camera climatica (Fig. 9), ha determinato una notevole selezione tra le combinazioni tra materiale plastico e collante; infatti, è stato possibile eseguire soltanto le prove di trazione sulle combinazioni Compound Polipropilene e Mica con i collanti 9410® e UV 30-12®. Per la prima combinazione il decremento prestazionale in termini di resistenza meccanica a trazione è stato pari a circa il 55%, mentre per la seconda combinazione del 20%. Sono in corso le verifiche relative alla valutazione del comportamento del collante, viste le notevoli problematiche riscontrate, sia in termini di viraggio del colore del collante (Fig. 10, a) che per la formazione di microbolle, osservate mediante microscopio ottico (Fig. 10, b), che a causa della variazione della geometria rettilinea del provino (Fig.



Figure 9. Placement of samples inside the climatic chamber for the pre-treatment phase.

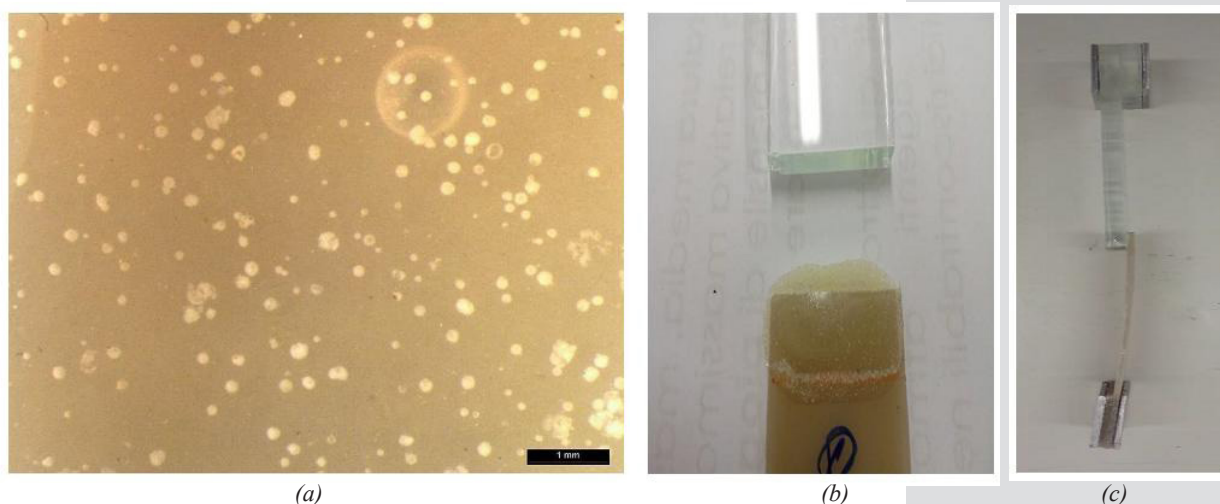


Figure 10. (a) Micro-bubbles at the interface between Compound and DP8005® adhesive, (b) yellowing of the DP8005® adhesive, (c) bending of the test samples, 2 mm thick.

The second phase of accelerated aging in Solarbox is underway, only for samples that have passed the pre-treatment phase.

## 5. CONCLUSIONS

The study, based on ascertained international methodologies and partially still ongoing, aimed at the study and evaluation of some durability aspects of the 3rd generation solar cell integrated glass block with a plastic “thermal belt”. The exposed test program wants to be a reference point to verify and choose the most performing materials constituting the sub-components of this innovative building product that, due to its cold assembly in panels, can be a valid

10, c).

La seconda fase di invecchiamento in Solarbox è in corso di esecuzione, solo per i campioni che hanno superato la fase di pre-trattamento.

## 5. CONCLUSIONI

Lo studio, basato su metodologie di prova acclerate su scala internazionale ed ancora parzialmente in corso, ha come oggetto lo studio e la valutazione di alcuni aspetti di durabilità del vetro-mattone integrato con celle fotovoltaiche di terza generazione e cintura termica in materiale plastico. Il programma di prove esposto costituisce il quadro di riferimento per la verifica e la scelta dei materiali più performanti che andranno a costituire i diversi sub-componenti di questo prodotto edilizio innovativo che, assemblato a

alternative to the traditional glass surfaces for the realization of sustainable and energetically efficient buildings' translucent envelopes, roofing and facades. The ongoing experimental tests are already giving guidance in the choice of materials, validating some assumptions already formulated based on the characteristics of commercially available materials and adhesive products, in order to optimize the performance of the various sub-components to be assembled. By now the combination of polypropylene and mica compound with the Loxeal UV 30-12® was the most powerful. Further tests are ongoing to validate the results obtained so far.

## 6. REFERENCES

- [1] [www.sbskin.it](http://www.sbskin.it)
- [2] Alaimo G., Enea D., *Experimental evaluation of plasters durability aimed at maintenance planning and scheduling*, In: Proceedings of the XII International Conference on Durability of Building Materials and Components, Porto, 2011, Vol. III, pp. 1247-1255.
- [3] Maggi P.N., *A research program for the durability evaluation of the building components*, International workshop on "Management of durability in the building process", Milano, 2003.
- [4] Alaimo G., Enea D., Nuccio E., *Innovative siloxane coating formulations: the experimental assessment of the durability of colour*, Advanced Materials Research, Trans Tech Publications, 2012, vol. 346, pp. 63-68.
- [5] Alaimo G., Enea D., Guerrini G.L., Bottalico L., *Experimental evaluation of the durability of innovative cementitious coatings: photocatalytic activity and colour*, In: Proceedings of the Third International Conference on Smart Materials and Nanotechnology in Engineering, SPIE Proceedings, vol. 8409.
- [6] Alaimo G., Enea D., *La qualità tecnologica utile di prodotti edilizi innovative*. Santarcangelo di Romagna (RN), Maggioli editore, 2014.
- [7] Corrao R., Garraffa A., Giambanco G., Trapani G., *Pannelli traslucidi preassemblati "a secco" e precompressi realizzati con vetromattoni "modificati"*. Rivista Della Stazione Sperimentale Del Vetro. 2011, vol. 41, n. 4, pp. 6-19.
- [8] Corrao R., Glassblock and Architecture. *Evoluzione Del Vetromattone e Recenti Applicazioni*, Firenze, Alinea Editrice, 2010.
- [9] Corrao R., D'Anna D., Morini M., Pastore L., *DSSC-integrated Glassblocks for the construction of Sustainable Building Envelopes*. Advanced Materials Research, Trans Tech Publications, 2014, vol. 875-877, pp. 629-634.

secco in pannelli, può costituire una valida alternativa al tradizionale vetro piano per la realizzazione di involucri traslucidi, e, più specificatamente, di facciate e coperture di edifici energeticamente attivi e con spiccate caratteristiche di sostenibilità. Le verifiche sperimentali in corso stanno già dando indicazioni nella scelta dei materiali, convalidando alcune ipotesi già formulate sulla base delle caratteristiche dei materiali e dei prodotti collanti esistenti in commercio, nell'ottica dell'ottimizzazione delle prestazioni dei diversi sub-componenti da assemblare. In quest'ottica la combinazione tra Compound di polipropilene e mica con il collante UV 30-12® della Loxeal è risultata la più performante. Ulteriori test sono in corso per la validazione dei risultati fin qui ottenuti.