



**The Missing Brick:  
Towards a 21st-century Built Environment Industry**

**Il Mattone Mancante:  
verso l'Industria dell'Ambiente Costruito del 21° secolo**



**The Missing Brick: Towards a 21st-century Built Environment Industry**  
**Il Mattone Mancante: verso l'Industria dell'Ambiente Costruito del 21° secolo**

**A cura di**

**Giuseppe Alaimo**

**Angelo Carbonari**

**Angelo Ciribini**

**Bruno Daniotti**

**Guido Dell'Osso**

**Maria Antonietta Esposito**

**ISBN 88-387-6164-7**

**© Copyright 2012 by Maggioli S.p.A.**

È vietata la riproduzione, anche parziale, con qualsiasi mezzo effettuata, anche ad uso interno e didattico, non autorizzata.

**Maggioli Editore è un marchio di Maggioli S.p.A.**

**Azienda con sistema qualità certificato ISO 9001:2000**

*47822 Santarcangelo di Romagna (RN) • Via del Carpino, 8*

*Tel. 0541/628111 • Fax 0541/622595*

[www.maggioli.it/servizioclienti](http://www.maggioli.it/servizioclienti)

e-mail: [clienti.editore@maggioli.it](mailto:clienti.editore@maggioli.it)

Diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento, totale o parziale con qualsiasi mezzo sono riservati per tutti i Paesi.

L'editore rimane a disposizione degli aventi diritto per eventuali fonti iconografiche non identificate

Il catalogo completo è disponibile su [www.maggioli.it](http://www.maggioli.it) area università

Finito di stampare nel mese di ottobre 2012  
da DigitalPrint Service s.r.l. – Segrate (Milano)

## "La Ricerca (Industriale) nella Produzione Edilizia "

### indice

Ciribini A., Introduzione - Foreword 6

#### 1. Prima Parte

1.1 La fase di programmazione pre-progettuale del processo edile 50

1.1.1 Caponetto R., "Innovazione di processo nell'autocostruzione" - "Process innovation in self-building"

1.1.2 Alaimo G., Palazzo F., "La gestione della qualità ambientale e gli eco-regolamenti edilizi" - "Environmental quality management and eco-building regulations"

1.2 Dal progetto al prodotto di qualità per l'industria delle costruzioni 91

1.2.1 Masera G., Malighetti L., De Angelis E., Poli T., Lobaccaro G., "Uno strumento per il progetto integrato di edifici residenziali" - "A tool for the integrated design of residential buildings"

1.2.2 Grecchi M., Masera G., Ruta M., "EdZEN: Edifici sperimentali per uffici a zero emissioni in clima mediterraneo" - "EdZEN: Experimental nearly zero-energy office building in Mediterranean climate"

1.2.3 Imperadori M., Masera G., Salvalai G., "Il progetto RACEM "Rete Artigiana per la Casa Efficiente in Montagna" - "The RACEM project "Artisan Network for Mountain Efficient House"

1.2.4 Imperadori M., Sauchelli M., "VELUXLAB - Il primo NZEB in un campus universitario italiano" - "VELUXlab - the first Italian NZEB in a University campus"

1.3 Design management e la gestione delle consultancy 162

1.3.1 Tubaro G., Di Biagi M., " "Design Management" nel processo di costruzione" - "Design Management in the construction process"

1.4 Project construction management ed i sistemi integrati di gestione 181

1.4.1 Bragadin M., "Quality Breakdown Structure per la costruzione" - "Quality Breakdown Structure for Construction"

#### 2. Seconda parte

2.1 La formalizzazione dei modelli per la progettazione e la costruzione 201

2.1.1 Pizzigoni A., Ruscica G., "Algoritmi di forma delle strutture reciproche" - "Algorithms for design of reciprocal frames"

2.1.2 Paparella R., Zanchetta C., Borin P., "Problematiche di modellazione informativa nell'edilizia" - "Issues in building information modeling"

2.1.3 Giretti A., Ansuini R., Lemma M., "Modelli embedded nel controllo predittivo degli edifici" - Embedded models for predictive control of buildings"

2.1.4 Carrara G., Loffreda G., "Building Knowledge Management System to support Collaborative Design" - "Building Knowledge Management System to support Collaborative Design"

2.2 Building information management 274

2.2.1 Daniotti B., Re Cecconi F., Pavan A., "INNOVANCE: The Italian performance based construction database" - "INNOVANCE: The Italian performance based construction database"

2.2.2 Ciribini A., Chiamone T., Vassena G. "The Field BIM"

2.3 Building performance engineering 310

2.3.1 Capone P., Giusti T., "Protezione antincendio dei beni culturali di valore negli edifici storici" - "Fire protection of valuable contents in historical buildings"

**3. Terza parte**

3.1 Automation in Construction 331

3.1.1 Dell'Osso G.R., Pierucci A., Spalluto G., "Building Automation Systems per il risparmio energetico degli edifici" - "Building Automation Systems for energy savings in constructions"

3.1.2 Quaquero E., Argiolas C., Carbonari A., Melis F., "Un modello esperto per la stima dei livelli di pericolo nei cantieri edili" - "An expert model for estimating hazard levels in construction sites"

3.1.3 Giretti A., Carbonari A., Vaccarini M., Pescatori G., "Controllo predittivo degli impianti di ventilazione di grandi spazi pubblici sotterranei" - "Predictive control of ventilation systems in large underground public buildings"

3.1.4 Lemma M., Ansuini R., Larghetti R., Pescatori G., "Monitoraggio per il controllo adattativo di edifici" - "Monitoring for adaptive control of large buildings" -

3.1.5 Vaccarini M., Naticchia B., Carbonari A., Scorrano P., "Diagnostica in tempo reale per il monitoraggio strutturale di edifici" - "Real-time diagnosis for building structural monitoring"

3.1.6 Naticchia B., Vaccarini M., Robuffo F., Casolaro A., "Sistema di monitoraggio ultra-pervasivo per le perdite d'acqua" - "Ultra-pervasive monitoring system for water leaks"

3.1.7 Giretti A., Carbonari A., Novembri G., Naticchia B., "Tecnologie automatiche per incrementare la competitività delle imprese di costruzione" - "Increasing competitiveness of construction companies through automation technologies"

**3 Quarta parte**

4.1 La gestione del ciclo di vita nelle costruzioni 469

4.1.1 Cargiulo C., "Gli standard europei per la Valutazione della Sostenibilità nelle Costruzioni: ruolo degli stakeholders e opportunità per l'industria delle costruzioni" - "European Standards for the Assessment of Sustainability in Construction works: role of Stakeholders and opportunities for the Construction industry"

4.1.2 Erba S., "Valutazione della durabilità per la sostenibilità di edifici esistenti" - "Durability assessment for sustainability of existing buildings"

4.1.3 Daniotti B., Re Cecconi F., Paolini R., Galliano R., "Valutazione durabilistica di sistemi di isolamento a cappotto: Modi di Guasto e Analisi Prestazionale per il clima del Sud Europa" - "Durability evaluation of External Thermal Insulation Composite Systems Failure Modes and Performance Analysis for the Southern Europe Climate"

4.1.4 Trani M., Bossi B., Cassano M., Guastalegname L., "I consumi energetici di cantiere" - "Yard energy data collection"

4.1.5 Alaimo G., Enea D., "Una griglia prestazionale per la definizione della vita utile del pannello sandwich" - "A performance grid for the definition of the sandwich panel service life"

4.1.6 Talamo C., Paganin G., Vitola F., "Informazione e ciclo di vita dell'opera pubblica (SgIOP)" - "Information and life cycle of public works (SgIOP)"

4.2 Le attività sperimentali e il knowledge reuse 579

4.2.1 Marini M., "Infortuni e malattie professionali nel settore delle costruzioni: prevenzione e gestione del rischio attraverso BIM, RFID e sistemi di monitoraggio posturale semi-automatico" - "Injuries and occupational diseases in construction industry: prevention and risk management through BIM, RFID and semiautomatic postural monitoring system"

4.2.2 Spinelli A., "NaturWall© \_ facciate in legno multifunzionali per la riqualificazione del patrimonio edilizio" - "NaturWall© \_ multifunctional wood façade in existent building refurbishment"

**I Position Paper ISTeA 621**

5.1 Luigi Morra, Giuseppe Alaimo, "Le attività sperimentali e il knowledge reuse"

5.2 Berardo Naticchia, Gabriele Novembri, Alessandro Carbonari, "Automation in Construction"

5.3 Marco Imperadori, Guido R. Dell'Osso, Maria Antonietta Esposito, Gabriele Masera, Alessandra Pierucci, Matteo Ruta, "Dal progetto al prodotto di qualità per l'industria delle costruzioni"

5.4 Bruno Daniotti, Maurizio Nicoletta, "La gestione del ciclo di vita"

**“Una griglia prestazionale per la definizione della vita  
utile del pannello sandwich”**

**“A performance grid for the definition of the sandwich  
panel service life”**

**Giuseppe Alaimo, Daniele Enea**

*Dipartimento di Architettura, Università degli studi di Palermo*

*[giuseppe.alaimo@unipa.it](mailto:giuseppe.alaimo@unipa.it), [daniele.enea@unipa.it](mailto:daniele.enea@unipa.it)*

**Topic:** La gestione del ciclo di vita nelle costruzioni

**Abstract**

In a context of increased demands for sustainability of the built environment, it is essential the maintenance of specific quality levels provided by the building organisms and their parts. The knowledge of the service life of products and building components, imposed by the recent EU Regulation 305/2011, is a requirement that is spreading in the world market, between manufacturers and designers, users and operators. The international reference standard for the evaluation of the durability of materials and building components, is the ISO 15686 defining the Reference Service Life (RSL) and identifying the procedures for the estimation of the Estimated Service Life (ESL), referring to context of use and stress, through the methods: factor, stochastic and engineering methods. The ESL is calculated by correcting the values of the RSL using the factor method, based on multiplicative factors, taking into account the special circumstances and context of use. A useful support to the application of the factor method, in order to reduce the subjectivity inherent the deterministic choice of values to be assigned to the seven multiplication factors, consists of performance grids. The first results of research are here reported on the definition of the performance grid on the sandwich panel. On the basis of experiments carried out according to ISO 15686 and UNI 11156-3, developed in the last decade, the experiences of the manufacture systems and the field applications reported in specific literature, it was possible to define a proposal of performance grid, as a guide, for the calculation of ESL, by the factor method, of this technical component. The tool is useful for the implementation of the database of Reference Service Life, by which the stakeholders can draw interesting data.

## **1. Introduzione**

La globalizzazione dei mercati e l'accresciuta concorrenza in tutti i settori produttivi ha imposto un uso razionale delle risorse e l'attuazione dei principi di qualità e sostenibilità. In questo contesto, connotato da una crescente richiesta di materie prime e di consumi energetici, risulta essenziale, quindi, il mantenimento nel tempo dei livelli di qualità previsti da parte di materiali, componenti e organismi edilizi. La durabilità di materiali e componenti edilizi è definita dalle norme ISO 15686, che introducono la Vita Utile di Riferimento (RSL) e individuano le procedure per la stima della Vita Utile di Progetto (ESL), riferita ad un contesto reale d'uso e sollecitazione. La ESL viene calcolata mediante il metodo fattoriale, sulla base della RSL, tenendo conto di fattori moltiplicativi relativi alle condizioni particolari di contesto e d'uso. Un possibile ausilio all'applicazione del metodo fattoriale, per limitarne l'elevata soggettività, è costituito da griglie prestazionali per l'attribuzione dei valori ai diversi coefficienti. In questa direzione risulta in atto la costruzione di una Banca Dati internazionale di RSL, in collaborazione tra il Politecnico di Milano e il Centre Scientifique et Technique du Batiment, in cui vengono raccolti, selezionati e formattati dati derivanti da ricerche sperimentali, utili per la valutazione della ESL (Daniotti et al., 2010).

## **2. La norma ISO 15686-8:2008 e il metodo fattoriale**

L'applicazione del metodo fattoriale (ISO 15686-2:2001) si basa sulla valutazione degli effetti di degrado prodotti dai vari agenti, attraverso l'applicazione di fattori moltiplicativi, con valore compreso tra 0.8 e 1.2, che possono essere sostituiti da

## **1. Introduction**

The globalization of markets and the increased competition in all sectors of production imposed the rational use of resources and the implementation of the principles of quality and sustainability. In this context, characterized by the growing demand for raw materials and energy consumption, it is essential, therefore, the maintenance over time of the quality levels provided by materials, components and building organisms. The ISO 15686 standards deal with the durability of materials and building components, defining the Reference Service Life (RSL) and identifying the procedures for the calculation of the Estimated Service Life (ESL), referred to the real context of use and stress. The ESL is calculated by the factor method, based on the RSL and considering multiplicative factors relating to special conditions and context of use. A possible application using the factor method, to limit its high subjectivity, is constituted by performance grids for the attribution of the values to the different factors. In this direction is being developed the database of international RSL, a collaboration between the Politecnico di Milano and the Centre Scientifique et Technique du Batiment, where data for the evaluation of the ESL are collected, selected and formatted (Daniotti et al., 2010).

## **2. The ISO 15686-8:2008 and the factor method**

The application of the factor method (ISO 15686-2:2001) is based on the evaluation of the effects of degradation produced by various agents, through the application of multiplication factors, ranging values between 0.8 and 1.2, which can be substituted by functions representing



distribuzioni di probabilità. Il metodo fattoriale definisce il valore di ESL attraverso la formula:

$$ESL=RSL \times A \times B \times C \times D \times E \times F \times G$$

I vari fattori moltiplicativi si riferiscono ad:

- agenti di degrado legati alla qualità intrinseca del componente (A, B, C);
- ambiente (D, E);
- utilizzo (F, G),

secondo quanto riportato in Tabella 1.

probability distributions. The factor method defines the value of ESL by the formula:

$$ESL=RSL \times A \times B \times C \times D \times E \times F \times G$$

The multiplication factors are related to: degradation agents related to the intrinsic quality of the component (A, B, C);

- environment (D, E);
- Use (F, G),

as reported in Table 1.

AGENTS			EXAMPLES OF RELEVANT CONDITIONS
Intrinsic quality of components	A	<i>Quality of components</i>	performance characteristics, manufacture, storage, transport, etc.
	B	<i>Design level</i>	degree of protection, materials characteristics, physical and chemical compatibility, etc.
	C	<i>Work execution level</i>	manpower quality, weather conditions during installation, etc.
Environment	D	<i>Indoor environment</i>	aggressiveness of the environment, ventilation, condensation, etc.
	E	<i>Outdoor environment</i>	height of the building, micro-climate, etc.
Use	F	<i>In-use conditions</i>	mechanical impacts, type of user, etc.
	G	<i>Maintenance level</i>	quality and frequency of maintenance, accessibility, inspection, ease of cleaning, etc.

*Tabella 1. I fattori moltiplicativi come riportati nella norma UNI 11156:3*

Ai diversi fattori possono essere attribuiti pesi diversi sulla base dell'importanza che assume l'aspetto o il fenomeno espresso. Il valore 1 viene attribuito in condizioni standard. Tuttavia il metodo fattoriale, piuttosto semplice nella sua applicazione, fornisce valori caratterizzati da una forte soggettività nell'attribuzione dei valori a ciascun fattore che porta a significative variazioni nella stima della ESL. Per limitare questi aspetti di soggettività, negli ultimi anni sono state proposte:

- griglie prestazionali ovvero "**griglie-guida**" per il progettista nella attribuzione dei valori ai fattori moltiplicativi;
- metodo semiprobabilistico o "metodo fattoriale evoluto" basato sull'assegnazione ad ognuno dei sette fattori, di una distribuzione di probabilità in sostituzione dei valori deterministici.

Different weights can be attributed to the several factors on the basis of the importance of the expressed phenomenon. The value 1 is given under standard conditions. However, the factor method, quite simple in its application, provides values characterized by high subjectivity in scoring attribution for each factor, leading to significant changes in the estimate of the ESL. To limit these aspects of subjectivity in recent years some proposals were done:

- performance grids or "factors' grids" as a tool to guide the designer in properly assigning values to the multiplicative factors;
- semi-probabilistic method or "evolved factor method", based on the assignment, to each of the seven factors, of a probability distribution function, instead of deterministic values.

## **2.1 Le griglie-guida e la Banca Dati per la raccolta delle RSL**

Il principio ispiratore di questo filone di ricerca è basato sulla suddivisione di ogni fattore in più sub-fattori, per la creazione di griglie di valutazione. La base scientifica di questa impostazione prevede l'utilizzo di standard normativi o procedure diffuse di progettazione per la definizione dei valori dei sub-fattori. La metodologia per giungere alla redazione di una griglia-guida relativa ad un componente edilizio, si basa sull'individuazione dei fattori in grado di influenzarne la vita utile, attraverso l'analisi del quadro agenti-azioni-effetti. La fase successiva è quella di assegnare i valori ai sub-fattori individuati, attraverso un'analisi prestazionale del componente tecnico e l'individuazione, per ciascun sub-fattore, di una scala di valori, da cui desumere il valore del sub-fattore da applicare. Sulla base di considerazioni che tengono conto dell'ambiente, delle condizioni d'uso, dell'utenza, etc., e facendo uso di matrici di confronto a coppie, si desume il peso relativo di ogni sub-fattore e lo si trasforma in un valore compreso tra 0.8 ed 1.2.

## **3. La griglia-guida per il pannello sandwich**

### **3.1 Valutazione della RSL**

La griglia-guida per i pannelli sandwich raccoglie in sintesi i risultati degli studi sperimentali sul comportamento nel tempo di tali componenti (Alaimo, 2006), secondo le procedure della ISO 15686-2:2001 e della UNI 11156:2006. La valutazione della RSL del pannello sandwich è stata eseguita attraverso i seguenti passi e indagini:

- scelta del componente tecnico da

## **2.1 The factors' grids and the database to collect RSL**

The guiding principle of this branch of research is based on the subdivision of each factor in multiple sub-factors, for the implementation of evaluation grids. The scientific basis of this approach involves the use of standards or common procedures of design to define the values of the sub-factors. The methodology to complete a factors' grid of a building component, is based on the identification of factors possibly affecting the service life, through the analysis of the agents-actions-effects context. The next step is to assign values to the sub-factors identified through an analysis of performance of the technical component and the identification, for each sub-factor, of a scale of values, as to derive the value of the sub-factor to apply. On the basis of considerations taking into account the environment, the conditions of use, the users, etc, and using pair-wise comparison matrices, it was possible to deduce the relative weight of each sub-factor, transforming it into a value between 0.8 and 1.2.

## **3. The factors' grid for the sandwich panel**

### **3.1 Evaluation of the RSL**

The factors' grid for sandwich panels collects a summary of the results of experimental studies on the behavior over time of these components (Alaimo, 2006), according to the procedures of ISO 15686-2:2001 and UNI 11156:2006 standards. The evaluation of the RSL of the sandwich panel was obtained through the following steps and investigations:

indagare;

- identificazione del quadro degli agenti - azioni - effetti per il contesto sollecitante;
- individuazione dei requisiti e scelta delle caratteristiche prestazionali connotanti;
- programma di sperimentazione basato su prove di invecchiamento naturale in esterno ed invecchiamento accelerato in laboratorio;
- monitoraggio nel tempo delle caratteristiche prestazionali scelte.

I parametri e le caratteristiche studiate sono: aspetto (superficiale), peso, colore, caratteristiche termofisiche e meccaniche. Le indagini svolte, sia sui campioni invecchiati in esterno che su quelli invecchiati in laboratorio, hanno riguardato:

1) indagini di tipo non distruttivo:

- valutazione visiva e strumentale dell'aspetto superficiale;
- variazione del peso;
- analisi del colore;
- misura di conducibilità e resistenza termica del campione intero.

2) indagini di tipo distruttivo:

- caratteristiche meccaniche;
- caratteristiche termo fisiche.

Sono state inoltre raccolte informazioni utili sulle caratteristiche prestazionali del componente, da produttori, norme e sperimentazioni condotte da autori diversi.

## **3.2 Analisi dei fattori e individuazione dei sub-fattori**

### **3.2.1 Fattore A: Qualità del componente**

Il fattore A che esprime la qualità del componente è stato scomposto in 11 sub-fattori ritenuti significativi:

- a<sub>1</sub>) Deformazioni in specifiche condizioni di carico e temperatura
- a<sub>2</sub>) Densità della schiuma
- a<sub>3</sub>) Gestione della qualità
- a<sub>4</sub>) Reazione al fuoco

- choice of the technical component to be investigated;
- identification of the agents- actions-effects in the stressing context;
- identification of connoting requirements and choice of performance characteristics;
- experimental program based on natural outdoor ageing tests and accelerated ageing tests in the laboratory;
- monitoring over time of chosen performance characteristics.

Parameters and characteristics studied were: Appearance (surface), weight, colour, thermo-physical and mechanical properties. These characteristics were investigated on both samples externally and in laboratory aged by tests:

1) non-destructive tests:

- Visual and instrumental surface assessment;
- Change in weight;
- Analysis of the colour;
- Measurement of conductivity and thermal resistance of the sample.

2) destructive tests:

- Mechanical properties;
- Thermophysical characteristics.

Information on the performance characteristics of the component, by producers, standards and experiments carried out by different authors, were collected.

## **3.2 Analysis of the factors and identification of sub-factors**

### **3.2.1 Factor A: Quality of components**

A factor, representing the quality of the component, was split into 11 sub-factors considered significant:

- a<sub>1</sub>) Deformation under specific conditions of load and temperature
- a<sub>2</sub>) Density of the foam
- a<sub>3</sub>) Quality management
- a<sub>4</sub>) Fire reaction

- a<sub>5</sub>) Resistenza a compressione
- a<sub>6</sub>) Resistenza a trazione
- a<sub>7</sub>) Resistenza alla corrosione
- a<sub>8</sub>) Stabilità dimensionale
- a<sub>9</sub>) Permeabilità all'acqua
- a<sub>10</sub>) Trasmittanza
- a<sub>11</sub>) Variazione del colore

Di seguito vengono esaminati tutti i sub-fattori individuati per il fattore A. Per il **sub-fattore a<sub>1</sub>** si determina l'incremento di deformazione, sotto un carico costante di compressione, di un provino di schiuma, in condizioni specifiche di temperatura ed umidità, allo scopo di definire il carico ammissibile (UNI EN 1605:2008). In condizioni di esercizio con carichi costanti entro il 10-15% della resistenza a compressione, le deformazioni percentuali dello spessore si mantengono entro valori irrilevanti (inferiori al 2%). La UNI 13165:2009 prevede tre diversi livelli di deformazione (Tabella 2) che sono alla base della griglia-guida del suddetto requisito.

- a<sub>5</sub>) Compressive strength
- a<sub>6</sub>) Tensile strength
- a<sub>7</sub>) Resistance to corrosion
- a<sub>8</sub>) Dimensional stability
- a<sub>9</sub>) Water permeability
- a<sub>10</sub>) Transmittance
- a<sub>11</sub>) Colour difference

All the sub-factors identified for the A factor are described one by one. For the **sub-factor a<sub>1</sub>**, the increase of deformation, under a constant load of compression, is determined for the foam test specimen, under specific conditions of temperature and humidity, in order to define the admissible load (UNI EN 1605:2008). In work conditions with constant loads within 10-15% of the compressive strength, the percentage deformations of the thickness have to remain within irrelevant values (below 2%). The UNI 13165:2009 provides three different levels of deformation (Table 2) at the base of the factors' grid of this requirement.

Level	Test conditions	Proposed values
DLT(1)5	load: 20 kPa temperature: 80±1 °C duration: 48±1 h	0.9
DLT(2)5	load: 40 kPa temperature: 70±1 °C duration: 168±1 h	1.0
DLT(3)5	load: 80 kPa temperature: 60±1 °C duration: 168±1 h	1.1

*Table 2. Deformation levels in specific conditions of load and temperature and the proposed values*

Per il **sub-fattore a<sub>2</sub>**, si determina la densità della schiuma da cui dipende la resistenza a compressione. Le tipologie di pannelli sandwich per pareti o copertura presenti sul mercato hanno una densità generalmente fino a 42 Kg/m<sup>3</sup> ed un minimo di 34 Kg/m<sup>3</sup> (dai cataloghi dei produttori). Una classificazione del sub-fattore prevede tre livelli (Tabella 3).

For the **sub-factor a<sub>2</sub>**, the density of the foam is determined, the compressive strength depends by. The types of sandwich panels for walls or roofing on the market generally show a density up to 42 kg/m<sup>3</sup> and a minimum value of 34 Kg/m<sup>3</sup> (from manufacturers' catalogs). A classification of this sub-factor provides 3 levels (Table 3).

Density	Proposed values
34 - 38 Kg/m <sup>3</sup>	1,0
39 - 42 Kg/m <sup>3</sup>	1,1
≥ 42 Kg/m <sup>3</sup>	1,2

Table 3. Proposed values for sub-factor: density

Il **sub-fattore a<sub>3</sub>** è indice della gestione della qualità (UNI EN 14509:2007). La marcatura CE, obbligatoria per i pannelli sandwich dal 1° ottobre 2010, comporta l'esecuzione di prove di valutazione di durabilità, sia all'inizio della procedura di rilascio, prove iniziali di tipo, sia durante il processo produttivo come controllo di produzione. La classificazione proposta tiene conto dei pannelli in commercio dotati di dichiarazione del produttore e di pannelli marcati CE, secondo i coefficienti in Tabella 4.

The **sub-factor a<sub>3</sub>** is an indicator of quality management (UNI EN 14509:2007). The CE marking is mandatory for the sandwich panels by October 1, 2010, imposing evaluation tests of durability, both at the beginning of Initial Type Testing, and during the production process (Factory Production Control). The classification takes into account the panels on the market with manufacturer's declaration and CE marked panels, according to the proposed values in Table 4.

Quality management	Proposed values
Manufacturer declaration	0,9
CE marking	1,0

Table 4. Proposed values for sub-factor: quality management

La reazione al fuoco considerata nel **sub-fattore a<sub>4</sub>** è legata alla sicurezza in caso di incendio, uno dei requisiti essenziali fissati dalla Direttiva Prodotti da Costruzione, come sostituita dal Regolamento 305/2011. La classificazione della reazione al fuoco dei materiali da costruzione, si basa su sette Euroclassi che vengono attribuite sottoponendo i materiali a test. Vengono valutati: la velocità di sviluppo dell'incendio; la propagazione laterale della fiamma; la velocità di crescita dell'opacità dei fumi; il rilascio di parti infiammate e il gocciolamento. Per i pannelli sandwich con poliuretano espanso rigido, il comportamento al fuoco varia sensibilmente in funzione di diversi fattori, tra cui: il tipo di schiuma (PUR/PIR), la formulazione adottata, la tipologia di rivestimenti e il loro comportamento al fuoco. Ai fini

The fire reaction, considered in the **sub-factor a<sub>4</sub>**, is linked to fire safety, one of the essential requirements of the Construction Products Directive, as replaced by Regulation No. 305/2011. The classification of the fire reaction of building materials is based on seven Euroclasses, attributed by subjecting the materials to single or combinations test, evaluating: the speed of fire development, the lateral propagation of the flame, the speed of growth of the fumes opacity, the release of inflamed parts and dripping. For sandwich panels with rigid polyurethane foam, fire behavior varies greatly depending on several factors, including: the type of foam (PUR/PIR), the formulation used, the type of coatings and their fire behavior. For the attribution of the Euroclasses: A, B, C, D, E, it was introduced into the UNI EN 13823:2010 standard, the

dell'attribuzione delle Euroclassi A, B, C, D, E, viene introdotto nella norma UNI EN 13823:2010, il test SBI (Single Burning Item). Le prestazioni vengono valutate principalmente in base alla curva di rilascio di calore (RHR), calcolata in funzione del consumo di ossigeno e alla rapidità di crescita dell'incendio (FIGRA). È possibile individuare un range entro il quale classificare il comportamento dei pannelli sandwich. Si propone la griglia di Tabella 5.

SBI test (Single Burning Item). Performance is judged primarily on the basis of the curve of heat release (RHR), calculated on the basis of oxygen consumption and the fire growth rate (FIGRA). It is possible to identify the range within classifying the behavior of the sandwich panels. Finally, it was proposed the grid of Table 5.

Euroclass	Proposed values
E	0,8
D	0,9
C	1,0
B	1,1

*Table 5. Proposed values for sub-factor: fire reaction*

La resistenza alla compressione (**sub-fattore a<sub>5</sub>**) si determina attraverso il rapporto tra il carico che produce una riduzione del 10% dello spessore iniziale e l'area della superficie iniziale del provino, perpendicolarmente alla direzione di carico. La resistenza a compressione è influenzata dalla densità della schiuma, ma anche dal tipo di formulazione, dimensione e omogeneità della struttura cellulare, percentuale di celle chiuse e loro orientamento. Tale caratteristica fornisce indicazioni sulle prestazioni dei materiali isolanti sottoposti a carichi per brevi periodi. Dal confronto tra la norma UNI 10386:1998, che fissa in 130 kPa il valore minimo di resistenza a compressione, in corrispondenza del 10% di deformazione, e la UNI EN 13165:2009, che fornisce una classificazione della resistenza a compressione dell'isolante, è stata dedotta la Tabella 6 che riassume i valori proposti per il sub-fattore a<sub>5</sub>.

The compressive strength (**sub-factor a<sub>5</sub>**) is determined through the relationship between the load producing a reduction of 10% of the initial thickness and the area of the initial surface of the specimen, perpendicular to the direction of load. The compressive strength is influenced by the density of the foam, but also by the type of formulation adopted, size and homogeneity of the cellular structure, percentage of closed cells and their orientation. This feature provides information on the performance of insulating materials subjected to loads for short periods. Comparing the UNI 10386:1998, fixing at 130 kPa the minimum value of compressive strength, in correspondence of 10% deformation, and the UNI EN 13165:2009, providing the classification of the compressive strength of the insulation material, it was deduced Table 6 summarizing the proposed values for sub-factor a<sub>5</sub>.

Compression strength	Proposed values
$\sigma_c \leq 130$ kPa	<b>0,9</b>
$130 < \sigma_c < 175$ kPa	<b>1,0</b>
$175 < \sigma_c < 250$ kPa	<b>1,1</b>
$\sigma_c \geq 250$ kPa	<b>1,2</b>

Table 6. Proposed values for sub-factor: compression strength

La resistenza a trazione, **sub-fattore a<sub>6</sub>**, costituisce il principale indicatore della durabilità del pannello sandwich. La prova consiste nel misurare la forza, applicata a velocità di  $5 \pm 1$  mm/min, per separare i paramenti di rivestimento dal PUR rapportata alla sezione trasversale dei campioni. La norma UNI 10386:1998 fornisce un valore minimo,  $\sigma_t = 100$  kPa, mentre la norma UNI 13165:2009 attribuisce al materiale un valore massimo di resistenza  $\sigma_t = 150$  kPa. Sulla base dei valori riportati nelle due norme, i valori desunti per il sub-fattore a<sub>6</sub> sono riportati in Tabella 7.

The tensile strength, **sub-factor a<sub>6</sub>**, is the main indicator of the durability of the sandwich panel. The test consists in measuring the force, applied at a speed of  $5 \pm 1$  mm/min, to separate the coatings from PUR compared to the cross section of the samples. The UNI 10386:1998 provides a minimum value,  $\sigma_t = 100$  kPa, while the UNI 13165:2009 attributes a maximum value of resistance  $\sigma_t = 150$  kPa. Based on the values reported in the two standards, the proposed values for the sub-factor a<sub>6</sub> are reported in Table 7.

Traction strength	Proposed values
$\sigma_t \leq 100$ kPa	<b>0,8</b>
$100 < \sigma_t < 120$ kPa	<b>0,9</b>
$120 < \sigma_t < 150$ kPa	<b>1,0</b>
$150 < \sigma_t < 160$ kPa	<b>1,1</b>
$\sigma_t \geq 160$ kPa	<b>1,2</b>

Table 7. Proposed values for sub-factor: traction strength

Per la valutazione della resistenza alla corrosione (**sub-fattore a<sub>7</sub>**) si considerano le norme ISO 92267 ed UNI EN ISO 6988:1998. Si determinano due parametri: la resistenza alle nebbie saline, il cui valore è dato in anni, misurato sulla base di prove conformi alla ISO 92267, per ambienti marini, e la resistenza alla SO<sub>2</sub>, secondo prove conformi alla UNI EN ISO 6988:1998, per ambienti urbani e industriali. Considerando le classificazioni proposte, si ipotizzano tre livelli di degrado (Tabella 8).

For the evaluation of the resistance to corrosion (**sub-factor a<sub>7</sub>**), we considered the ISO 92267 and UNI EN ISO 6988:1998 standards. Two parameters were determined: the resistance to salt spray environments, measured in years, by tests in accordance with ISO 92267, for marine environments, and the resistance to SO<sub>2</sub>, according to UNI EN ISO 6988:1998, for urban and industrial environments. The classifications proposed by the two standards are summarized in Table 8 (three levels of degradation).

Protection system	Salt spray hours	Duration in years	Proposed values
Base	500	10	0,9
Intermediate	750	15	1,0
High	1000	20	1,1

Table 8. Proposed values for sub-factor: corrosion resistance

La determinazione della stabilità dimensionale, **sub-fattore a<sub>8</sub>**, consiste nel misurare le variazioni delle dimensioni subite da un provino dopo averlo sottoposto a particolari condizioni di temperatura ed umidità per un tempo definito. La densità e le caratteristiche della schiuma influenzano particolarmente le prestazioni di stabilità dimensionale, insieme alle tipologie di rivestimento, diversamente sensibili alle variazioni di umidità. Secondo la norma UNI EN 13165:2009, le prove devono essere condotte nelle seguenti condizioni:

[1] 48±1 h a T=70±2 °C, UR=90±5 %

[2] 48±1 h a T=-20±3 °C

Le variazioni relative della lunghezza  $\Delta\epsilon_l$ , della larghezza  $\Delta\epsilon_b$  e dello spessore  $\Delta\epsilon_d$  non devono essere maggiori dei valori indicati in Tabella 9, dove si riportano i livelli dichiarati della stabilità dimensionale in specifiche condizioni di temperatura e umidità DS(TH) ed i relativi valori per il sub-fattore a<sub>8</sub>.

The determination of dimensional stability, **sub-factor a<sub>8</sub>**, consists of measuring the variations of the dimensions of a specimen, after being subjected to particular conditions of temperature and humidity for a specific time. The density and the characteristics of the foam particularly affect the performance of dimensional stability, together with the types of coatings, differently influenced by changes in humidity. According to the UNI EN 13165:2009, the tests must be conducted under the following conditions:  
[1] 48±1 h at T=70±2 °C, RH=90±5%  
[2] 48±1 h at T=-20±3 °C

The relative variations in length,  $\Delta\epsilon_l$ , width,  $\Delta\epsilon_b$ , and thickness,  $\Delta\epsilon_d$ , must not exceed the values in Table 9, where we report the declared levels of dimensional stability under specific conditions of temperature and humidity DS(TH) and the relative proposed values for the sub-factor a<sub>8</sub>.

Test cond.	Relative variations %	DS(TH) level											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
[1]	$\Delta\epsilon_l$	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 1	≤ 1	≤ 1
	$\Delta\epsilon_b$	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 1	≤ 1	≤ 1
	$\Delta\epsilon_d$	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 8	≤ 8	≤ 8	≤ 6	≤ 6	≤ 6	≤ 4	≤ 4	≤ 4
[2]	$\Delta\epsilon_l$	a)	≤ 1	≤ 0,5	a)	≤ 1	≤ 0,5	a)	≤ 1	≤ 0,5	a)	≤ 1	≤ 0,5
	$\Delta\epsilon_b$	a)	≤ 1	≤ 0,5	a)	≤ 1	≤ 0,5	a)	≤ 1	≤ 0,5	a)	≤ 1	≤ 0,5
	$\Delta\epsilon_d$ %	a)	≤ 2	≤ 2	a)	≤ 2	≤ 2	a)	≤ 2	≤ 2	a)	≤ 2	≤ 2
<b>Proposed values</b>		<b>0,9</b>			<b>1,0</b>			<b>1,1</b>			<b>1,2</b>		
a) No requirement													

Table 9. Levels of dimensional stability and proposed values for sub-factor a<sub>8</sub>



La struttura a cellule chiuse, tipica delle schiume poliuretaniche espanse rigide, conferisce ai pannelli sandwich un elevato grado d'impermeabilità. L'assorbimento d'acqua, da cui dedurre il **sub-fattore a<sub>9</sub>**, è quindi limitato alle celle superficiali, sezionate dalle operazioni di taglio o fresatura e private della superficie del rivestimento esterno. La norma UNI EN 14509:2007 permette di valutare la resistenza alla pioggia battente e propone una classificazione di permeabilità all'acqua del sistema pannello assemblato, attraverso i seguenti criteri:

1. assenza di penetrazione d'acqua verso l'interno;
2. penetrazione d'acqua dai giunti.

I valori proposti per il sub-fattore a<sub>9</sub> sono riferiti alle tre classi di norma (Tabella 10).

The closed cell structure, typical of rigid expanded polyurethane foam, gives a high degree of water resistance to sandwich panels. The absorption of water, the **sub-factor a<sub>9</sub>** is deduced by, is therefore limited to the cells surface, sectioned by cutting or milling and removed the outer coatings. The UNI EN 14509:2007 allows to evaluate the resistance to driving rain and proposes a classification of water permeability of the assembled panel system, through the following criteria:

1. absence of water penetration to the interior;
2. penetration of water through the joints.

The proposed values for the sub-factor a<sub>9</sub> refer to the three classes identified by the standard (Table 10).

Type of application	Water permeability	Level	Proposed values
Heavy-duty rain and particularly intense winds	≥ 300 Pa	C	<b>0,9</b>
Normal applications	≥ 600 Pa	B	<b>1,0</b>
Applications with low requirements	≥ 1200 Pa	A	<b>1,1</b>

Table 10. Proposed values for sub-factor a<sub>9</sub>: water permeability

Ai fini della definizione del **sub-fattore a<sub>10</sub>**, relativo alla trasmittanza, ci si riferisce al D.Lgs. 192/2005 e s.m.i. Nell'allegato C, il decreto fissa i valori limite di trasmittanza termica per le strutture opache (sia verticali che orizzontali) che delimitano l'involucro edilizio verso l'esterno o verso ambienti non riscaldati. Sono previsti differenti valori per le 6 zone climatiche in cui è divisa l'Italia e per data di entrata in uso del componente (2006 – 2009 - 2010). Poiché il range di valori della trasmittanza U, variabile in funzione di  $\lambda$  e di s, per il poliuretano espanso rigido, può variare tra 0,28 e 0,67 W/m<sup>2</sup>K, è opportuno considerare quei componenti che nei confronti di questo sub-fattore rispettino i limiti (massimi) imposti dalla normativa e di cui si riportano i coefficienti proposti, in relazione alle due ultime annualità del decreto (Tabella 11).

For the purposes of the definition of **sub-factor a<sub>10</sub>**, related to transmittance, we referred to Legislative Decree No. 192/2005 and subsequent amendments. In the Annex C, the limit values of thermal transmittance for the opaque structures (vertical and horizontal), closing the building envelope to the outside or to an unheated room, are set. There are different values for the six climate zones, in which Italy is divided, and the date of entry in-use of the component (2006 - 2009 - 2010). Since the range of values of transmittance U, variable as a function of  $\lambda$  and s, for the rigid polyurethane foam, is variable between 0.28 and 0.67 W/m<sup>2</sup>K, it is appropriate to consider those components complying with the (maximum) limits, relating to this sub-factor, set by legislation and whose proposed values, related to the last two years, are reported in Table 11.

Transmittance as a function of climatic area	Proposed values
$U > U_{lim,2009}$	0,8
$U > U_{lim,2010}$	0,9
$U \leq U_{lim,2009}$	1,0
$U \leq U_{lim,2010}$	1,1

Table 11. Proposed values for sub-factor: transmittance

Le principali norme di riferimento per la variazione del colore, **sub-fattore a<sub>11</sub>**, sono:

- ASTM D-2244 - 09b;
- EN 10169-2:2006.

Queste raccomandano il limite di variabilità del colore pari a  $\Delta E^* \leq 5$ , dopo un invecchiamento naturale di 5 anni. Gli effetti sul pannello e sulle sue parti, prodotti dalle differenti azioni deterioranti, semplici o complesse, dipendono dalle caratteristiche di finitura del pannello. I campioni studiati nella sperimentazione (Alaimo, 2006) si riferiscono a pannelli in ambiente normale (privo di sostanze chimiche aggressive). Dai risultati ottenuti, rispetto ai limiti di variabilità del colore proposti dalle norme, si perviene alla seguente proposta (Tabella 12).

The principal reference for the color difference, **sub-factor a<sub>11</sub>**, are:

- ASTM D-2244 - 09b;
- EN 10169-2:2006.

These standards propose the limit of colour difference equal to  $\Delta E^* \leq 5$ , after a natural aging of 5 years. The effects on the panel and its parts, produced by different degradation actions, simple or complex, depending on the characteristics of the coatings of the panel. The samples studied in the experimental research (Alaimo, 2006) refer to panels in a normal environment (no chemical aggressiveness). From the results obtained, compared with the limits of colour difference proposed by the standards, it was proposed the following Table 12.

Colour difference after 5 years	Proposed values
$\Delta E^*_{ab} > 8$	0,8
$5 \leq \Delta E^*_{ab} \leq 8$	0,9
$\Delta E^*_{ab} < 5$	1,0

Table 12. Proposed values for sub-factor: colour difference

La Tabella 13 riepiloga i sub-fattori del fattore A – Qualità del componente.

Table 13 reports all the sub-factors of the factor A – Quality of components

	Sub-factor	Standard	Class or level	Characteristics	Proposed values
a <sub>1</sub>	Deformations in specific load conditions	UNI EN 13165	1	DLT (1)	0,9
			2	DLT (2)	1,0
			3	DLT (3)	1,1
a <sub>2</sub> *	Density	UNI 10386	1	34-38 kg/m <sup>3</sup>	1,0
			2	39-42 kg/m <sup>3</sup>	1,1
			3	≥ 42 kg/m <sup>3</sup>	1,2
a <sub>3</sub>	Qualità management	Regulation UE No 305/2011	Manufacturer declaration		0,9
			CE marking		1,0
a <sub>4</sub>	Fire reaction	EN 13501-1	E		0,8

*A performance grid for the definition of the sandwich panel service life*

			D		0,9
			C		1,0
			B		1,1
a <sub>5</sub>	Compression strength	UNI EN 13165	1	$R_c \leq 130$ kPa	0,9
			2	$130 < R_c < 175$ kPa	1,0
		UNI 10386	3	$175 \leq R_c \leq 250$ kPa	1,1
			4	$R_c > 250$ kPa	1,2
a <sub>6</sub> *	Traction strength	UNI EN 13165	1	$R_{tr} < 100$ kPa	0,8
			2	$100 \leq R_{tr} \leq 120$ kPa	0,9
		UNI 10386	3	$120 < R_{tr} < 150$ kPa	1,0
			4	$150 \leq R_{tr} \leq 160$ kPa	1,1
			5	$R_{tr} > 160$ kPa	1,2
a <sub>7</sub>	Corrosion resistance	ISO 9227	base		0,9
		UNI EN ISO 6988	intermediate		1,0
			high		1,1
a <sub>8</sub>	Dimensional stability	UNI EN 13165	DS(TH) 1-3		0,9
			DS(TH) 4-6		1,0
			DS(TH) 7-9		1,1
			DS(TH) 10-12		1,2
a <sub>9</sub>	Water permeability	UNI EN 14509	C	$\geq 300$ Pa	0,9
			B	$\geq 600$ Pa	1,0
			A	$\geq 1200$ Pa	1,1
a <sub>10</sub>	Transmittance	D.Lgs. 192/2005	$U > U_{lim}2009$		0,8
			$U > U_{lim} 2010$		0,9
			$U \leq U_{lim}2009$		1,0
			$U \leq U_{lim} 2010$		1,1
a <sub>11</sub> *	Colour difference	ASTM D-2244	$\Delta E^*_{ab} > 8$		0,8
			$5 \leq \Delta E^*_{ab} \leq 8$		0,9
			$\Delta E^*_{ab} < 5$		1,0

\* characteristics analyzed in the research carried out, related to 10 years RSL, for the specific component.

Table 13. List of all the sub-factors of the factor A

### 3.2.2 Fattore B - Qualità di progettazione

Secondo il codice di pratica UNI 10372:2004 sulla progettazione delle coperture discontinue, devono essere considerati i seguenti aspetti:

- azioni esterne e loro effetti;
- ventilazione della copertura;
- pendenza della falda;
- dilatazione termica dei materiali;

### 3.2.2 Factor B - Design level

According to the UNI 10372:2004 standard, on the design of discontinuous roofing, the following aspects have to be considered:

- external actions and their effects;
- ventilation of the roofing;
- slope of the pitch;
- thermal dilatation of the materials;
- load conditions;
- lightning protection.

- condizioni di carico;
- protezione dai fulmini.

La proposta di griglia-guida per il Fattore B è riportata in Tabella 14.

The proposed factors' grid for Factor B is shown in Table 14.

Design level	Proposed values
Not certified or absent design	0,9
Design according to UNI 10372, part 5, standard	1,0

Table 14. Proposed values for factor B

### 3.2.3 Fattore C-Qualità di esecuzione

Si possono distinguere due sub-fattori: C<sub>1</sub> relativo alle modalità di esecuzione; C<sub>2</sub> relativo alla specializzazione della manodopera. Per ciascuno sono stati attribuiti i valori ai coefficienti riportati nelle Tabella 15 e 16. Il valore del fattore C è la media dei due sub-fattori C<sub>1</sub> e C<sub>2</sub>.

### 3.2.3 Factor C - Work execution level

There are two sub-factors: C<sub>1</sub> related to execution methods; C<sub>2</sub> relative to manpower specialization. For each proposed values were assigned and reported in Table 15 and 16. The value of the factor C is determined by an average of the two sub-factors C<sub>1</sub> and C<sub>2</sub>.

Execution procedures	Proposed values
No guarantee for execution	0,9
Execution according to UNI 10372 (section 9) standard or AIPPEG guide-lines (annex C)	1,1

Table 15. Proposed values for sub-factor C<sub>1</sub>

Manpower	Proposed values
Unskilled manpower	0,9
Skilled manpower (certified by licence)	1,0

Table 16. Proposed values for sub-factor C<sub>2</sub>

### 3.2.4 Fattore D - Ambiente interno

La classificazione, in Tabella 17, tratta dalla norma EN 10169-3, viene eseguita sulla base dell'aggressività dell'ambiente.

### 3.2.4 Factor D - Indoor environment

The classification in Table 17, derives from the EN 10169-3 standard and is based on the aggressiveness of the environment.

Categories	Environment	Examples	Proposed values
A5	Highly aggressive (high chemical aggressiveness and cleaning operations with products with pH in the range 5÷9, once a day)	farms, mills, mushrooms	0,8
A4	Aggressive (chemical aggressiveness and cleaning operations with products with pH in the range 5÷9, no more than once a day)	bathrooms, swimming pools, factories with wet processes	0,9

A3	Medium aggressive (low chemical aggressiveness and cleaning operations with products with pH in the range 5÷9, no more than once a week)	food industries with dry processes	<b>1,0</b>
A2	Low aggressive (no chemical aggressiveness and cleaning operations with mild products, no more than once a week)	cinemas, theaters, sports halls	<b>1,1</b>
A1	No aggressive (no chemical aggressiveness and cleaning operations with mild products, no more than once a month)	residences, schools, offices	<b>1,2</b>

Table 17. Proposed values for factor D

### 3.2.5 Fattore E - Ambiente esterno

La classificazione riprende quella della norma ISO 15686-7:2006, che individua delle classi di ambienti, di pioggia e di inquinanti. La Tabella 18 fa riferimento alle *zone climatiche* classificate dalla norma e ne individua, per ciascuno il relativo valore.

### 3.2.5 Factor E-Outdoor environment

The classification derives from the ISO 15686-7:2006, identifying the classes of environments, rain and pollutants. Table 18 refers to *climatic zones* classified by the standard and identifying for each the relative value.

Zone	Winter conditions December, January, February	Summer conditions June, July, August	Proposed values
A	Cold winters Temperature close to 0 °C for several months Average daily temperature below 0 °C Minimum temperature below -30 °C	Maximum temperature rarely up to 30°C	<b>0,8</b>
B	Mild winters with frequent frosts Average daily temperature in the range 0÷5 °C Minimum temperature below -20 °C	Maximum temperature up to 30°C	<b>0,9</b>
C	Cold winters with rare frosts Average daily temperature up to 5 °C	Maximum temperature frequently up to 30°C, rarely up to 40°C	<b>1,0</b>
Mountain areas above 1000m	Conditions of zone A	Conditions of zone C or B	/

Table 18. Subdivision into climatic zones according to ISO 15686-7:2006 standard

Si considera inoltre la *classe di pioggia* sempre individuata dalla norma ISO 15686-7:2006 in Tabella 19 ed i relativi coefficienti.

It is also considered the *rain class* identified by ISO 15686-7:2006 in Table 19 and the proposed values.

Rain class	Characteristics	Proposed values
dry	precipitation less than 400 mm/year or relative humidity average before 9:00 less than 50%	<b>0,8</b>

*A performance grid for the definition of the sandwich panel service life*

sub-humid	precipitation between 400 and 800 mm/year or relative humidity average before 9:00 between 50% and 70%	<b>0,9</b>
humid	precipitation between 800 and 1300 mm/year or relative humidity average before 9:00 between 70% and 80%	<b>1,0</b>
highly humid	precipitation more than 1300 mm/year or relative humidity average before 9:00 more than 80%	<b>1,1</b>

Table 19. Subdivision in rain classes according to ISO 15686-7:2006 standard

Per la classificazione del *tipo di ambiente* (inquinanti che contribuiscono ai processi di degrado), si è presa in considerazione anche la norma UNI EN 10169-2 sui nastri metallici rivestiti (Tabella 20).

For the classification of the type of environment (pollutants contributing to the degradation processes), it was also considered the UNI EN 10169-2 on coated metallic coils (Table 20).

Environment	Characteristics	Proposed values
rural atmosphere	prevalent atmosphere in rural areas and small towns, without significant contamination by corrosive agents such as sulfur dioxide and/or chlorides	<b>0,8</b>
urban atmosphere	contaminated atmosphere, typical of highly populated areas without major factories. Presence and concentrations of pollutants such as sulfur dioxide and corrosive chlorides	<b>0,9</b>
industrial atmosphere	atmosphere contaminated by corrosive pollutants by industrial factories (especially sulfur dioxide)	<b>1,0</b>
marine atmosphere	atmosphere close to the sea. Presence and high concentration of aerosol and sea salts (mainly chlorides)	<b>1,1</b>

Table 20. Classification of the types of environment according to UNI EN 10169-2 standard

Si considera anche la classificazione del D.M.14/01/2008 (Tabella 21), che suddivide il territorio nazionale in **zone di vento**.

The classification of the Ministerial Decree 14/01/2008 (Table 21), dividing the national territory into wind zones is considered.

Wind zone	Characteristics	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [1/s]	Proposed values
1	Valle d'Aosta, Piedmont, Lombardy, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (except Trieste province)	25	1000	0,010	<b>1,2</b>
2	Emilia Romagna	25	750	0,015	<b>1,2</b>
3	Tuscany, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (except Reggio Calabria province)	27	500	0,020	<b>1,1</b>
4	Sicily and Reggio Calabria province	28	500	0,020	<b>1,1</b>
5	Sardinia (east area of the line joining Cape Teulada with the island of Maddalena)	28	750	0,015	<b>1,1</b>
6	Sardinia (west area of the line joining Cape Teulada with the island of Maddalena)	28	500	0,020	<b>1,0</b>
7	Liguria	28	1000	0,015	<b>1,0</b>

*A performance grid for the definition of the sandwich panel service life*

8	Trieste province	30	1500	0,010	<b>0,9</b>
9	Islands (except Sicily and Sardinia)	31	500	0,020	<b>0,8</b>

Table 21. Classification into wind zones according to Ministerial Decree 14/01/2008

Per quanto riguarda il peso dei diversi sub-fattori, si è preferito dare maggiore importanza alla zona climatica rispetto alla classe di pioggia, equiparata alla zona di vento (non presente nella norma ISO 15686-7:2006) come esposto in Tabella 22.

As regards the weight of the different sub-factors, it was chosen to give higher importance to the climatic zone than the class of rain, equivalent to the wind zone (not present in the ISO 15686-7:2006) as shown in Table 22.

<i>Sub-factor</i>	<i>Standard</i>	<i>Class or level</i>	<i>Proposed values</i>	
e <sub>1</sub>	Class of rain	ISO 15686-7	highly humid	<b>0,8</b>
			humid	<b>0,9</b>
			sub-humid	<b>1,0</b>
			dry	<b>1,1</b>
e <sub>2</sub>	Type of environment	ISO 15686-7	marine	<b>0,8</b>
			industrial	<b>0,9</b>
		UNI EN 10169-2	urban	<b>1,0</b>
			rural	<b>1,1</b>
e <sub>3</sub>	Type of environment	ISO 15686-7	A	<b>0,8</b>
			B	<b>0,9</b>
			C	<b>1,0</b>
			Mountain areas above 1000m	<b>1,1</b>
e <sub>4</sub>	Wind zone	D.M.14/01/2008	9	<b>0,8</b>
			8	<b>0,9</b>
			4-7	<b>1,0</b>
			3	<b>1,1</b>
			1-2	<b>1,2</b>

Table 22. Sub-factors of the factor E

### 3.2.6 Fattore F - Condizioni d'uso

In riferimento alle applicazioni dei pannelli sandwich in edilizia, si distingue l'utilizzo tra copertura e parete. È più elevata la probabilità di urti di mezzi negli ambienti in cui i pannelli sono utilizzati a parete, distinguendo tra urti da corpo molle e da corpo duro; i coefficienti proposti tengono conto della probabilità dell'urto (Tabella 23).

### 3.2.6 Factor F - In-use conditions

Referring to the application of sandwich panels in constructions, the use as roofing and wall is considered. The probability of collision of vehicles towards wall panels is higher, distinguishing between shocks by soft and hard bodies; the proposed values take into account the probability of impact (Table 23).

Types of shock	Proposed values
frequent by hard body	0,8
Frequent by soft body	0,9
not frequent	1,0
extraordinary	1,1

Table 23. Proposed values for the factor F

### 3.2.7 Fattore G - Livello di manutenzione

Le ispezioni periodiche, almeno annuali, e la manutenzione interesseranno sia la superficie dei pannelli che le parti accessorie. Si prende in considerazione, oltre al tipo di manutenzione, **sub-fattore G<sub>1</sub>**, anche l'ispezionabilità, **sub-fattore G<sub>2</sub>**, (che può presentare maggiori difficoltà, specialmente se in copertura), come riportato in Tabella 24. Il valore del fattore G è la media dei due sub-fattori G<sub>1</sub> e G<sub>2</sub>.

### 3.2.7 Factor G - Maintenance level

Periodic inspections, at least annually, and maintenance will involve both the surface of the panels and the accessory parts. It takes into consideration, in addition to the type of maintenance, **sub-factor G<sub>1</sub>**, also the inspection, **sub-factor G<sub>2</sub>**, (showing more problems, especially for roofing), as reported in Table 24. The value of the factor G is determined as the average of the two sub-factors G<sub>1</sub> and G<sub>2</sub>.

Types of maintenance (G <sub>1</sub> )	Proposed values
Absent	1,0
Maintenance plan	1,1
Inspection (G <sub>2</sub> )	Proposed values
Low	0,9
Medium	1,0
High	1,1

Table 24. Proposed values for factor G

Factor	Class, level or conditions	Proposed values
<b>A</b>	<b>Quality of components</b>	Use the pair-wise matrix
<b>B</b>	<b>Design level</b>	No certification
		According to UNI 10372
<b>C</b>	<b>Qualità of execution</b>	Average of the two sub-factors C <sub>1</sub> e C <sub>2</sub>
C <sub>1</sub>	Execution procedures	No guarantee for execution
C <sub>2</sub>	Manpower	Unskilled
		Skilled
<b>D</b>	<b>Indoor environment</b>	A5 highly aggressive
		A4 aggressive
		A3 medium aggressive
		A2 low aggressive
		A1 not aggressive
<b>E</b>	<b>Outdoor environment</b>	Use the pair-wise matrix
<b>F</b>	<b>In-use conditions</b>	Environment with shock by hard body
		Environment with shock by soft body



		Environment with less frequent shocks	1,0
		Environment with rare frequent shocks	1,1
<b>G</b>	<b>Maintenance level</b>	Average of the two sub-factors $G_1$ e $G_2$	
$G_1$	Inspection	Low	0,9
		Medium	1,0
		High	1,1
$G_2$	Type of maintenance	Absent	1,0
		Maintenance plan	1,1

Table 25. Factors' grid for the sandwich panel

## 4. Conclusioni

I principali limiti che derivano dall'applicazione del metodo fattoriale sono:

- soggettività nella scelta dei valori da attribuire ai fattori;
- incertezza del calcolo deterministico della vita utile;
- la differenza di peso dei diversi fattori moltiplicativi, in funzione del progetto e del componente da valutare;
- la necessità di mantenere la semplicità di utilizzo del metodo.

La *griglia-guida* costituisce un valido supporto al superamento della scelta soggettiva del fattore moltiplicativo e può considerarsi complementare agli strumenti semi-probabilistici, per la stima degli intervalli di confidenza. Va approfondito l'utilizzo di differenti funzioni di distribuzione, in contrasto con la proposta di norma ISO DIS 15686-4, basata su una sola funzione di distribuzione  $\beta$ . Ciò dipende dalla:

- necessità di disporre di una quantità elevata di dati sperimentali per descrivere i sette fattori moltiplicativi;
  - successiva verifica dei risultati sul campo.
- In dipendenza di ciò, gli obiettivi su cui ci si deve concentrare in futuro sono:
- la determinazione e la raccolta di dati sulla RSL;
  - lo sviluppo dei metodi ingegneristici che uniscono i vantaggi dei più sofisticati metodi probabilistici e dei più semplici metodi deterministici.

## 4. Conclusions

The main limits resulting from the application of the factor method are:

- subjectivity in the choice of the values to be attributed to factors;
- uncertainty in the deterministic calculation of service life;
- the difference of weight of the different multiplication factors, depending on design and evaluated component;
- the need to maintain the simplicity of the use of the method.

The factors' grid constitutes a useful support to the passing of subjective choice of the value of the multiplication factor and can be considered complementary to the semi-probabilistic tools, for the estimation of the confidence intervals. It's necessary an update to the use of different distribution functions, differently from the ISO/PDTS 15686-4 draft, based on a single distribution function  $\beta$ . This depends on:

- need for a high amount of experimental data to describe the seven multiplicative factors;
  - subsequent field verification of the results.
- Depending on this, the focusing objectives in the future are:
- the determination and collection of data on RSL;
  - the development of engineering methods combining the advantages of the most sophisticated probabilistic methods and easier deterministic methods.
  - the description of the various factors

- la descrizione dei diversi fattori mediante l'uso di distribuzioni statistiche;
  - la valutazione e la scelta delle funzioni di distribuzione;
  - l'applicazione dei metodi di valutazione del ciclo di vita dei materiali da costruzione e dei componenti finalizzato al calcolo della durabilità degli edifici.
- through the use of statistical distributions;
  - the evaluation and selection of distribution functions;
  - the application of methods to assess the life cycle of building materials and components, aimed at the calculation of the durability of buildings.

## 5. References

1. Alaimo G., (2004) L'affidabilità funzionale delle coperture discontinue, EdiTecnica, Palermo
2. Alaimo G., Accurso F., (2006) La stima dell'affidabilità delle coperture discontinue, EdiTecnica, Palermo
3. Alaimo G., (2006) Valutazione sperimentale della durabilità di coperture discontinue. Un'applicazione al pannello sandwich, EdiTecnica, Palermo
4. Alaimo G., Accurso F., "The methods for the durability evaluation of pitched roof" in Daniotti B., Re Cecconi F., "CIB W80 WG3 – Test Methods for Service Life Prediction – State of the Art Report on Accelerated Laboratory Test Procedures and Correlation between Laboratory Tests and Service Life Data" CIB Publication n. 331, pagg 60-71, Rotterdam, (2010)
5. Daniotti B., Lupica Spagnolo S., "Service Life Estimation using Reference Service Life Databases and Enhanced Factor Method", 11DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components, Istanbul, Turkey, (2008)
6. Daniotti B., Lupica Spagnolo S., Paolini R., "Factor Method Application Using Factors' Grids", 11DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components, Istanbul, Turkey, (2008)
7. Daniotti B., Lupica Spagnolo S., Chevalier J.L., Hans J., Julien Chorier J. "An International Service Life Database: The Grid Definition for an Actual Implementation of Factor Methods and Service Life Prediction", Proceedings of the CIB World Building Congress, Gävle, Salford Quays, (2010)
8. Listerud C.A., Bjorberg S, Hovde P.J., "Service life estimation of facades – Use of the factor method in practice", 12DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components, Porto, Portugal, (2011)
9. Maggi P.N., (2000) La qualità tecnologica dei componenti edilizi. La durabilità, Epitesto, Milano
10. Nicoletta M., De Pascale A., "Service life of building components. Analysis and proposals of definition of the modifying factors", 10DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components, France, (2005)
11. Re Cecconi F., "Engineering method for service life planning: The evolved factor method", proceedings of "CIB World Building Congress", Toronto, Canada, (2004)