

Massimo Rossetti, Alberto Bin,

Dipartimento Architettura Costruzione Conservazione, Università Iuav di Venezia, Italia

rossetti@iuav.it

albertobin90@gmail.com

**Abstract.** Il paper presenta un'attività di ricerca finalizzata allo sviluppo di una gamma di membrane a base di bitume distillato e polimeri, specificatamente studiate per possedere elevati livelli di isolamento acustico dai rumori aerei. Tali membrane possono essere utilizzate all'interno di prodotti accoppiati, formati dalla sovrapposizione di materiali di origine sia organica che sintetica, e integrabili nei più diffusi sistemi costruttivi del settore edilizio, nautico e manifatturiero. I nuovi manti sviluppati incorporano al loro interno materiali di origine riciclata, collocando la ricerca nel contesto del pacchetto di misure sull'economia circolare dell'Unione Europea.

**Parole chiave:** Fonoisolamento/fonoassorbimento; Membrane bituminose; Polimeri; Materiali riciclati; *Circular economy*.

## Introduzione

Incentivare la ricerca si profila come una delle attività imprescindibili dell'attuale momento storico, caratterizzato dalla transizione da una delle peggiori crisi economiche contemporanee, verso un futuro nel quale si auspica che l'innovazione assuma un ruolo strutturale e non solo episodico. Nel settore delle costruzioni, a maggior ragione, potenziare l'attività di ricerca sia di base che applicata è uno degli imperativi dell'immediato futuro, per due motivi: dopo il lunghissimo periodo di crisi, è fondamentale che tutti gli operatori, in primis le aziende di costruzione e i produttori di materiali e componenti, lavorino per introdurre nel mercato soluzioni innovative, in grado di rispondere sia alla competizione globale che ai nuovi standard prestazionali richiesti agli edifici di oggi. In secondo luogo, è anche attraverso la ricerca che si possono innescare dinamiche virtuose di collaborazione tra i vari soggetti interessati, in particolare tra aziende e università.

Questa è la finalità del POR-FESR (Programma Operativo Regionale – Fondo Europeo di Sviluppo Regionale) 2014-2020 della Regione Veneto: grazie infatti allo strumento del Programma

Operativo Regionale e ai finanziamenti del Fondo Europeo di Sviluppo Regionale, uno dei fondi strutturali e di investimento aventi come obiettivo finanziare progetti di sviluppo nell'Unione Europea, la Regione sta attualmente sostenendo un piano di crescita in ricerca, innovazione e ambiente che unisca partner pubblici e privati. Il programma prevede lo stanziamento di fondi per attività di ricerca che coinvolgano università e imprese, finalizzate a condurre programmi di innovazione e favorire l'occupazione di giovani laureati in quattro ambiti (*Smart Agrifood, Sustainable living, Smart Manufacturing e Creative Industries*) e cinque settori considerati rilevanti (*Sistema Moda, Meccanica, Agricoltura e Industria alimentare, Sistema Casa, Turismo e Beni Culturali*). Nel 2016, l'Università Iuav di Venezia ha partecipato come soggetto promotore al bando POR-FESR 2014-2020 ottenendo un finanziamento complessivo di circa 1.200.000 euro per un totale di 38 assegni di ricerca della durata di un anno. Tra gli assegni finanziati è risultato anche il progetto «sviluppo di nuove membrane bituminose fonoisolanti contenenti materiali di riciclo quali polverino di gomma da PFU e PET da recupero post-consumer», conclusosi nel settembre del 2017, che ha visto il coinvolgimento, tra gli altri, di Polyglass S.p.A., azienda del settore delle impermeabilizzazioni che dagli anni '50 produce a livello industriale membrane bituminose e sintetiche per l'edilizia e l'ingegneria civile e dal 2008 parte del gruppo Mapei, e Genesis Acoustic Workshop, studio con sede a Parma che si occupa di progettazione, sviluppo software, rilievi strumentali e certificazioni nel campo dell'acustica<sup>1</sup>.

Il progetto ha avuto come obiettivo lo sviluppo di una nuova gamma di materiali costituiti dall'accoppiamento di guaine bituminose impermeabilizzanti, ottenute anche con l'utilizzo di

Development of  
soundproofing and  
sound-absorbing  
bituminous membranes  
containing recycled  
materials

**Abstract.** This paper presents a research activity focused on the development of a range of membranes based on distilled bitumen and polymers, specifically designed for high levels of noise insulation from airborne noise. These membranes can be used in multiple layers products, made by the overlapping of materials both organic and synthetic, and can be integrated into the most widespread construction building systems, and in nautical and manufacturing sectors. The newly developed membranes incorporate recycled materials, placing the research in the context of the European Union Circular Economy Package.

**Keywords:** Sound insulation/sound absorption; Bituminous membranes; Polymers; Recycled materials; Circular economy.

## Introduction

Stimulating research is one of the most important activities of these times, characterized by the transition from one of the worst contemporary economic crises, towards a future in which innovation is expected to have a structural rather than an episodic role. In the construction sector, even more, strengthening both basic and applied research is one of the imperatives of the immediate future, for two reasons: after the long period of crisis, it is essential that all operators, first of all construction companies and manufacturers of materials and components, work to push into the market innovative solutions, able to respond both to global competition and to the new performance standards required for today's buildings. Secondly, it is also through research that virtuous collaboration dynamics can be triggered

between the various stakeholders, particularly between companies and universities.

This is the purpose of the ERDF-ROP (European Regional Development Fund-Regional Operational Programme) 2014-2020 of the Veneto Region: thanks to the tool of the Regional Operational Program and to the funding of the European Regional Development Fund, one of the structural and investment fund aimed to finance development projects in the European Union, the Veneto Region is currently supporting a plan for research, innovation and environment that puts together public and private partners. The program funds research activities involving universities and companies, aimed to carry on innovation programs and encouraging the employment of young graduates in four areas (*Smart Agrifood, Sustain-*



materiale riciclato quale polverino di gomma da PFU (pneumatici fine uso) e PET (polietilene tereftalato) e materiali di varia natura, sia organica che sintetica. I nuovi prodotti, orientati verso l'ottimizzazione delle prestazioni acustiche, in particolare nel miglioramento del fonoisolamento da rumori aerei, sono stati pensati in un'ottica di diversificazione di mercato, non solo nel comparto delle costruzioni ma anche in ambiti applicativi diversi, come il design, la nautica, l'arredamento, gli elettrodomestici e le barriere acustiche stradali. Inoltre, l'intera ricerca è rientrata nel contesto della sostenibilità ambientale dei processi industriali, adottando i principi della *circular economy* dettati dalla comunicazione della Commissione Europea del 25 settembre 2014 «Verso un'economia circolare: programma per un'Europa a zero rifiuti», dove il rifiuto viene considerato quale materia prima da reintrodurre nelle filiere produttive dei beni di consumo.

### Le membrane impermeabilizzanti e il loro ciclo produttivo

Le membrane impermeabilizzanti prefabbricate oggi disponibili sul mercato si dividono in bituminose e sintetiche e presentano caratteristiche fisico-chimiche e prestazionali molto diverse nonostante la loro apparente somiglianza. Le membrane bitume-distillato polimero (MBDP) sono nate in seguito al perfezionamento dei processi di polimerizzazione messi a punto in Italia negli anni '60 e hanno gradualmente soppiantato tutti gli altri sistemi impermeabilizzanti bituminosi precedentemente utilizzati, come i fogli bitumati e le spalmature di bitume ossidato. Le attuali membrane sono commercializzate per essere applicate in monostrato o in sovrapposizione e sono in genere costituite da una successione di layer che comprendono uno strato

Le membrane impermeabilizzanti prefabbricate oggi disponibili sul mercato si dividono in bituminose e sintetiche e presentano caratteristiche fisico-chimiche e prestazionali molto diverse nonostante la loro apparente somiglianza. Le membrane bitume-distillato polimero (MBDP) sono nate in seguito al perfezionamento dei processi di polimerizzazione messi a punto in Italia negli anni '60 e hanno gradualmente soppiantato tutti gli altri sistemi impermeabilizzanti bituminosi precedentemente utilizzati, come i fogli bitumati e le spalmature di bitume ossidato. Le attuali membrane sono commercializzate per essere applicate in monostrato o in sovrapposizione e sono in genere costituite da una successione di layer che comprendono uno strato

antiaderente a protezione del lato adesivo (film sfiammabile o rimovibile), uno o più strati di compound bituminoso (miscela di bitume e polimeri), un'armatura (tessuto non tessuto di poliestere, velo di vetro, tessuti di vetro, ecc.) e infine uno strato di finitura (sabbia, talco, film plastici, scaglie di ardesia o basalto) (Fig. 1). I manti sintetici sono invece membrane impermeabilizzanti a base di materiali polimerici prodotti per calandratura, estrusione e spalmatura. Sono manti di recente adozione, nonostante le prime applicazioni risalgano agli anni '40. A differenza dei manti bituminosi possono essere prodotti in spessori molto ridotti, inferiori al millimetro. I due materiali oggi più utilizzati sono il PVC-P (cloruro di polivinile plastificato o polivinilcloruro plastificato) e il TPO (Thermoplastic Polyolefin) (Fig. 2).

Come in molti altri settori, anche il processo produttivo dei sistemi presi in esame ha dovuto negli ultimi anni confrontarsi con una crescente difficoltà di approvvigionamento, favorendo l'affermazione di un nuovo modello economico definito "circolare", basato sull'ottimizzazione dell'intera vita dei prodotti, dall'estrazione delle materie prime, alla produzione e posa, fino alla rimozione e al trattamento di fine vita: «La circular economy è un'economia progettata per auto-rigenerarsi, i materiali di origine biologica sono destinati a rientrare in biosfera e i materiali

able Living, Smart Manufacturing and Creative Industries) and five sectors (Fashion, Mechanics, Agriculture and Food Industry, Home System, Tourism and Cultural Heritage). In 2016, the Luav University of Venice took part as a promoter for the 2014-2020 ERDF-ROP call, obtaining a total funding of about 1.200.000 euros for 38 research grants lasting one year. Among the financed grants, there was the project "Development of new soundproofing bituminous membranes containing recycled materials such as PFU rubber and PET from post-consumer recovery", ended in September 2017, with the co-involvement, among others, of Polyglass S.p.A., a company operating in the waterproofing products sector since the '50s that produces bituminous and synthetic membranes for construction and civil engineering works, since 2008 part of the Mapei

group, and Genesis Acoustic Workshop, a studio based in Parma which deals with design, software development, instrumental measurements and certifications in the acoustics sector<sup>1</sup>. The project aimed to develop a new range of materials consisting on the coupling of waterproofing bituminous membrane -produced also with recycled material such as PFU rubber powder (like end-use tires) and PET (Polyethylene Terephthalate)- and materials of various kinds, both organic and synthetic. The new products, focused towards the optimization of acoustic performance, in particular towards the improvement of sound insulation from airborne noise, were designed with the target to diversify the market, not only in the construction sector but also in different application areas, such as industrial design, ships, furniture, home appliances and anti-noise road

barriers. Furthermore, the entire research took place into the context of environmental sustainability of industrial processes, according to the principles of Circular Economy included in the Communication of the European Commission of September 25<sup>th</sup>, 2014 "Towards a circular economy: A zero waste program for Europe", where waste is considered as a raw material to be reintroduced in the goods production chains.

### Waterproofing membranes and their production cycle

The prefabricated waterproofing membranes available today on the market are divided into bituminous and synthetic materials and have very different physical and chemical characteristics and performances, despite their apparent similarity. The Polymer Bitumen Membranes (PBM) were born follow-

ing the improvement of the polymerization processes developed in Italy in the 60s and gradually took place of all the other previously used bituminous waterproofing systems, such as bituminous sheets and bitumen spreading oxidized. The current membranes are marketed to be applied in monolayer or overlap and are generally made by a succession of layers comprising a non-stick layer to protect the adhesive side (flammable or removable film), one or more layers of bituminous compound (mixture of bitumen and polymers), an armor (non-woven polyester fabric, glass veil, glass fabrics, etc.) and finally a finishing layer (sand, talc, plastic films, slate or basalt flakes) (Fig. 1). Synthetic membranes are instead waterproofing membranes based on polymeric materials produced for calendering, extrusion and coating. They are membranes of recent adoption, al-

di origine tecnica sono progettati per circolare all'interno di un flusso che prevede la minima perdita di qualità»<sup>2</sup> (Iraldo e Bruschi, 2015).

In prima battuta questo risultato si può ottenere dal riciclo delle membrane stesse. Il DM 05/02/98 e successivi (tra cui il DL 152/2006) regola la gestione dei rifiuti “non pericolosi” e a oggi non prevede alcun recupero per le membrane impermeabilizzanti. Il DM 31/12/2014 “Milleproroghe” e il successivo emendamento hanno limitato al 31 dicembre 2015 la possibilità di conferire in discarica i rifiuti con potere calorifero superiore a 13.000 kJ/kg in ottemperanza a una direttiva europea sui recuperi energetici. Le membrane bituminose, avendo un potere calorifero superiore ai limiti di legge, rientrano in tale direttiva. Il recupero delle membrane può avvenire quindi presso gli stabilimenti di produzione, partendo da pretrattamenti quali la rimozione della graniglia, il taglio e la frantumazione (Fig. 3). Si applica principalmente a lotti di produzione con difetti di fabbricazione che ne compromettono la commerciabilità (test industriali, calibrazione delle linee, mancato raggiungimento degli standard richiesti) ma può essere attuato con successo anche in seguito alla rimozione dei manti dalle coperture, pur comportando oneri migliori.

I principi della *circular economy* possono essere seguiti anche sostituendo le materie prime utilizzate nella produzione con materiali di riciclo, quali i polimeri riciclati derivanti dalla raccolta, selezione e rilavorazione di materie plastiche considerate rifiuti. La qualità dei prodotti finiti è fortemente dipendente dalla qualità della selezione operata a monte e in relazione a questo esistono due grandi categorie di plastiche riciclate: pre e post consumo. Le prime sono ottenute da elementi di scarto derivanti

though the first applications date back to the 40s. Unlike bituminous layers, they can be produced in very reduced thicknesses, less than one millimeter. The two most commonly used materials are PVC-P (Plasticised Polyvinyl Chloride or Plasticized Polyvinylchloride) and TPO (Thermoplastic Polyolefin) (Fig. 2).

As in many other sectors, even in the last years the production process of the systems under examination had to face an increasing supply difficulty, favoring the affirmation of a new economic model defined as “circular”, based on the optimization of the whole lifecycle of products, from the extraction of raw materials, to production and installation, to the removal and treatment at end of life: «The circular economy is an economy designed to self-regenerate, the materials of biological origin are destined to fall into the biosphere and

materials of technical origin are designed to circulate within a flow that provides for the least loss of quality»<sup>2</sup> (Iraldo and Bruschi, 2015).

In the first instance this result can be obtained by recycling the membranes themselves. The Ministerial Decree 05/02/98 and subsequent (including the D.L. 152/2006) regulates the management of “non-hazardous” waste and to date does not provide any recovery for waterproofing membranes. The Ministerial Decree 31/12/2014 “Milleproroghe” and the subsequent amendment limited to December 31<sup>st</sup>, 2015 the possibility to landfill waste with a calorific value of more than 13,000 kJ/kg, according to an European Directive on energy recovery. The bituminous membranes, having a calorific value exceeding the limits of the law, are included in this Directive. The recovery of the membranes can



dai processi produttivi industriali, per cui già polimerizzati ma non contaminati da altre sostanze e quindi in grado di generare plastiche omogenee di alta qualità. Si tratta in questo caso di una prassi consolidata, comunemente impiegata dalla maggior parte dei produttori (Fig. 4). Le seconde invece sono ottenute dalla raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani, necessitano di cernita e pulizia e formano mescole eterogenee. Si ottengono così polimeri termoplastici macinati, granulari, a scaglie o in polvere, da utilizzare in percentuali più o meno alte all'interno delle mescole nella produzione dei manti. Il problema principale è l'ottenimento di frazioni “pulite”, cioè senza la presenza di materiali estranei quali metalli o inerti.

Un'altra tipologia di materia prima-seconda è rappresentata dagli Pneumatici Fuori Uso (PFU); attraverso la loro rilavorazione si ottiene la gomma, un materiale dalle particolari proprietà elastiche e con una buona resistenza agli urti, alla muffa, al calore, all'umidità, ai raggi ultravioletti e ai prodotti chimici. Queste caratteristiche di durevolezza e resistenza all'invecchiamento, as-

therefore take place at the production plants, starting from pre-treatments such as the removal of the grit, the cutting and the crushing (Fig. 3). It is mainly applied to production batches with manufacturing defects that compromise the marketability (industrial tests, line calibration, failure to meet the required standards) but can be successfully implemented even after the removal of the mantles from the roofs, even if it entails higher costs .

The principles of the Circular Economy can also be followed by replacing the raw materials used in the production with recycled materials, such as recycled polymers deriving from the collection, selection and rework of plastics considered as waste. The quality of the finished products is strongly dependent on the quality of the selection made upstream: in relation to this there are two large categories of recy-

clad plastics: pre and post consumption. The former is obtained from waste elements deriving from industrial production processes, for which they are already cured but not contaminated by other substances and therefore capable of generating high quality homogeneous plastics. In this case it is a consolidated practice, commonly used by most manufacturers (Fig. 4). The latter, on the other hand, are obtained from the separate collection of urban solid waste, require sorting and cleaning and form heterogeneous mixtures. Thus, ground, granular, flake or powdered thermoplastic polymers are obtained, to be used in higher or lower percentages within the compounds in the production of the mantles. The main problem is the obtainment of “clean” fractions, i.e. without the presence of foreign materials such as metals or inerts.

03 | Triturazione di membrane a base di bitume distillato e polimeri derivanti dalla rimozione di manti impermeabili dalle coperture e da scarti del processo industriale, [http://www.icopal.co.uk/Products/Sustainable\\_Construction/BiELSo\\_Recycling\\_of\\_Bitumen.aspx](http://www.icopal.co.uk/Products/Sustainable_Construction/BiELSo_Recycling_of_Bitumen.aspx)  
*Trituration of membranes based on distilled bitumen and polymers deriving from the removal of impermeable membranes from roofing and from industrial process waste, [http://www.icopal.co.uk/Products/Sustainable\\_Construction/BiELSo\\_Recycling\\_of\\_Bitumen.aspx](http://www.icopal.co.uk/Products/Sustainable_Construction/BiELSo_Recycling_of_Bitumen.aspx)*



| 03

04 | Dalla frantumazione e successiva rifusione di oggetti in Polietilene Tereftalato (PET) si ottengono pellet polimerici pronti per la reimmissione nel ciclo produttivo delle membrane, [http://www.gbgingonesia.com/directory/img/manufacturing/polindo\\_utama-recycled\\_plastic\\_manufacturing\\_indonesia/45746737product-1.0.JPG](http://www.gbgingonesia.com/directory/img/manufacturing/polindo_utama-recycled_plastic_manufacturing_indonesia/45746737product-1.0.JPG)  
*From the crushing and subsequent re-melting of polyethylene terephthalate (PET) objects, polymeric pellets are obtained ready for re-entry into the membrane production cycle, [http://www.gbgingonesia.com/directory/img/manufacturing/polindo\\_utama-recycled\\_plastic\\_manufacturing\\_indonesia/45746737product-1.0.jpg](http://www.gbgingonesia.com/directory/img/manufacturing/polindo_utama-recycled_plastic_manufacturing_indonesia/45746737product-1.0.jpg)*



| 04

05 | Risultato della prima fase di frantumazione di Pneumatici fuori uso (PFU) attraverso cui si ottiene il polverino di gomma, [https://http2.mlstatic.com/caucho-granulado-y-lanta-molida-D\\_NQ\\_NP\\_625605-MLM25050212801\\_092016-F.webp](https://http2.mlstatic.com/caucho-granulado-y-lanta-molida-D_NQ_NP_625605-MLM25050212801_092016-F.webp)  
*Result of the first phase of crushing of tires out of use (PFU) through which the rubber powder is obtained, [https://http2.mlstatic.com/caucho-granulado-y-lanta-molida-D\\_NQ\\_NP\\_625605-MLM25050212801\\_092016-F.webp](https://http2.mlstatic.com/caucho-granulado-y-lanta-molida-D_NQ_NP_625605-MLM25050212801_092016-F.webp)*

sieme all'impossibilità di ottenere nuovamente la materia prima originaria, a causa della difficile reversibilità di alcuni processi chimici effettuati durante la prima lavorazione, fanno di questo materiale un'ottima alternativa rispetto ad altri materiali elastici resilienti (Fig. 5).

I processi di riciclaggio illustrati sono perfettamente adattabili alle produzioni industriali di materiali il cui scopo è il miglioramento delle due caratteristiche principali dei materiali acustici: il fonoisolamento e il fonoassorbimento. Questi due concetti, spesso confusi, rappresentano in realtà due proprietà totalmente differenti: il fonoisolamento, infatti, è la capacità di impedire la trasmissione di energia sonora da un ambiente a un altro, utile a diminuire la trasmissione dei rumori aerei, mentre il fonoassorbimento è la capacità di un materiale di trasformare in un altro tipo di energia, normalmente in energia termica, l'energia acustica che lo attraversa, caratteristica fondamentale per l'attenuazione dei rumori da colpestio e della vibrazioni strutturali.



| 05

Another type of raw-second material is represented by tires out of use (PFU); through their reworking, rubber is obtained, a material with special elastic properties and a good resistance to shocks, mold, heat, humidity, ultraviolet rays and chemicals. These characteristics of durability and resistance to aging, together with the impossibility of obtaining the original raw material again, due to the difficult reversibility of some chemical processes carried out during the first processing, make this material an excellent alternative to other elastic materials resilient (Fig 5). The illustrated recycling processes are perfectly adaptable to the industrial production of materials whose purpose is the improvement of the two main characteristics of acoustic materials: sound insulation and sound absorption. These two concepts, often confused, actually represent two total-

ly different properties: the soundproofing, in fact, is the ability to prevent the transmission of sound energy from one environment to another, useful to decrease the transmission of airborne noise, while the sound absorption is the ability of a material to transform into another type of energy, normally in thermal energy, the acoustic energy that passes through it, a fundamental characteristic for the attenuation of the noise from the catch and the structural vibrations.

#### Test on soundproofing power

The first phase of the research was therefore focused on the evaluation of the  $R_w$  sound insulation index, which measures the performance of sound insulation from airborne noise; indicates the difference in decibels (dB) of the sound pressure level that a partition is able to guarantee between a

## Test sul potere fonoisolante

La prima fase della ricerca si è quindi concentrata sulla valutazione dell'indice del potere fonoisolante  $R_w$ , che misura la prestazione dell'isolamento acustico dai rumori aerei; indica la differenza in decibel (dB) del livello di pressione sonora che una partizione è in grado di garantire tra un ambiente disturbante, dov'è quindi presente una sorgente sonora, e un ambiente ricevente. Nella schematizzazione teorica adottata, il principio alla base della sperimentazione eseguita è stato comparativo; si è quindi puntato a ottenere una serie di dati confrontabili tra loro, allo scopo di organizzare una certa quantità di materiali tra loro eterogenei, grazie all'utilizzo di uno strumento finalizzato a una pre-analisi rapida e sufficientemente precisa per valutazioni interne a supporto delle scelte industriali. In particolare, sono stati adottati due differenti modelli di comportamento in relazione al ruolo che il singolo materiale svolge all'interno del pacchetto multilayer di cui fa parte: il comportamento *massivo*, definito dalla legge della massa<sup>3</sup>, che valuta il comportamento del campione inserito in un sandwich di materiali morbidi o fibrosi, e il comportamento *elastico*, definito dal meccanismo massa-molla-massa<sup>4</sup>, che descrive invece la capacità smorzante o disgiungente del materiale se inserito tra due campioni di massa elevata.

Allo scopo di attuare tale analisi è stato messo a punto uno strumento di misura ad hoc: un cubo anecoico con un lato aperto dove collocare i campioni dei materiali da misurare. Una versione in scala delle camere accoppiate utilizzate dai laboratori di certificazione specializzati. L'apparecchio – di dimensioni 600 x 600 x 900 mm, progettato come strumento di misurazione mobile e quindi facilmente trasportabile grazie anche al ridotto peso e alla semplicità di funzione – è stato realizzato con una succes-

disturbing environment, where there is therefore a sound source, and a receiving environment. In the theoretical schematization adopted, the principle underlying the experimentation performed was comparative; we therefore aimed at obtaining a series of data comparable to each other, with the aim of organizing a certain quantity of heterogeneous materials, thanks to the use of a tool aimed at a rapid and sufficiently precise pre-analysis for internal evaluations to support industrial choices. In particular, two different behavioral models have been adopted in relation to the role that the individual material plays within the multilayer package of which it is a part: the massive behavior, defined by the law of mass<sup>3</sup>, which evaluates the behavior of the sample inserted into a sandwich of soft or fibrous materials, and the elastic behavior, defined by the mass-spring-

mass mechanism<sup>4</sup>, which instead describes the damping or disjointing capacity of the material if inserted between two samples of high mass.

In order to implement this analysis, an ad hoc measuring instrument was developed: an anechoic cube with an open side where to place the samples of the materials to be measured. A scale version of the coupled rooms used by specialized certification laboratories. The device – of dimensions 600 x 600 x 900 mm, designed as a mobile measuring instrument and therefore easily transportable thanks to the reduced weight and the simplicity of function – was made with a succession of different material layers in order to obtain a high level of insulation sound and allow to test samples of the standard dimensions of 600 x 600 mm. These samples were mounted on a vertical face through

sione di strati di materiale diversi al fine di ottenere un elevato livello di isolamento sonoro e permettere di testare campioni delle dimensioni standard di 600 x 600 mm. Tali campioni sono stati montati su una faccia verticale attraverso un sistema di aggancio regolabile, che ne ha permesso il posizionamento e la sostituzione rapida. Sulla faccia interna, opposta al campione, è stato collocato un altoparlante collegato a un amplificatore esterno. Una volta posizionato il materiale e assicurato correttamente al telaio di contenimento, si è proceduto alla misurazione della differenza di livello di pressione sonora tra l'interno del cubo e l'ambiente esterno con due microfoni di precisione, posti a 100 mm dalle rispettive facce del campione. I microfoni e l'amplificatore sono a loro volta stati collegati ad una scheda di registrazione che ha trasmesso i dati così ottenuti a un computer. Attraverso il software sviluppato ad hoc è stato possibile acquisire i dati in uscita ed eseguire automaticamente i passaggi matematici previsti dalle norme UNI ISO 140-3 e UNI ISO 717-1, restituendo i valori di isolamento acustico e il valore complessivo di  $R_w$ .

Tutti i dati raccolti durante le sessioni di test hanno implementato un database dove a ogni materiale preso in esame sono state affiancate le informazioni caratterizzanti (codice identificativo, spessore, densità, numero di strati, ecc.). Il database è stato concepito per essere implementabile nel tempo, potendovi aggiungere nuovi materiali e nuovi dati, rendendo sempre più raffinata la possibilità di effettuare indagini mirate, attraverso l'applicazione di filtri di ricerca. Grazie a tale procedura, si è potuto ottenere una valutazione comparativa dei dati, indispensabile nelle fasi di selezione e valutazione delle possibili alternative, con il minimo impiego di risorse e una sensibile contrazione dei tempi rispetto ai laboratori di ricerca certificati.

an adjustable hooking system, which allowed the positioning and quick replacement. On the inside face, opposite to the sample, a loudspeaker connected to an external amplifier has been placed. Once the material was positioned and correctly secured to the containment frame, the sound pressure level difference was measured between the inside of the cube and the external environment with two precision microphones, placed at 100 mm from the respective faces of the sample. The microphones and the amplifier were in turn connected to a recording board which transmitted the data thus obtained to a computer. Through the software developed ad hoc it was possible to acquire the output data and automatically perform the mathematical steps provided for by the UNI ISO 140-3 and UNI ISO 717-1 standards, returning the val-

ues of sound insulation and the total value of  $R_w$ .

All the data collected during the test sessions have implemented a database where all the material examined has been added characterizing information (identification code, thickness, density, number of layers, etc.). The database has been designed to be implemented over time, allowing you to add new materials and new data, making it increasingly refined the possibility of carrying out targeted surveys, through the application of search filters. Thanks to this procedure, it was possible to obtain a comparative evaluation of the data, indispensable in the selection and evaluation phases of the possible alternatives, with the minimum use of resources and a significant reduction of the time compared to the certified research laboratories.

## Prototipazione di nuove membrane multilayer

Partendo dalle precedenti produzioni sono state quindi implementate le performance acustiche modificando spessori e stratigrafie, e variando la composizione delle mescole. Allo stesso tempo, si è seguito un approccio teorico, in cui le conoscenze di volta in volta acquisite durante i test hanno suggerito le modifiche da apportare, e un approccio più empirico, a cui seguiva una rapida verifica sperimentale. A seguito delle ricerche svolte, sono stati sviluppati cinque diversi manti multilayer specializzati a base sia polimerica che bituminosa, differenziati tra loro per caratteristiche, composizione, impiego e costo di fabbricazione. Le prestazioni di questi materiali sono state testate preventivamente all'interno dell'azienda con lo strumento descritto. Le caratteristiche dei cinque nuovi manti possono essere così riassunte:

1. membrana a base di bitume distillato polimero con interposta un'armata costituita da un film di alluminio continuo. Presenta su un lato una superficie sfiammabile e sull'altro un tessuto non tessuto in fibra di poliestere.
2. Manto sintetico in PVC-P bicolore, fabbricato attraverso l'estrusione simultanea di due strati di colore differente con interposta un'armatura in fibra di poliestere.
3. Manto composto dall'accoppiamento di un manto sintetico in TPO e un materassino in fibra di poliestere.
4. Membrana a base di bitume distillato e polimeri elastomerici, con un'armatura composita in fibra di poliestere rinforzata in filo vetro accoppiata ad un film di alluminio. Presenta su un lato una superficie sfiammabile e sull'altro un tessuto non tessuto in fibra di poliestere.

## Prototyping of new multilayer membranes

Starting from the previous productions acoustic performances were then implemented by modifying thickness and stratigraphy, and varying the composition of the compounds. At the same time, a theoretical approach was followed, in which the knowledge acquired from time to time suggested the changes to be made, and a more empirical approach, followed by rapid experimental verification.

Following the researches carried out, five different multilayer layers have been developed, specialized on both polymeric and bituminous base, differentiated according to characteristics, composition, use and manufacturing cost. The performances of these materials have been previously tested within the company with the instrument described. The characteristics of

the five new layers can be summarized as follows:

1. a membrane based on polymer-distilled bitumen with an interposition of a continuous aluminum film interposed. It has on one side a flammable surface and on the other a non-woven polyester fiber fabric.
2. Two-color PVC-P synthetic layer, manufactured by the simultaneous extrusion of two layers of different colors with interposed polyester fiber reinforcement.
3. A covering consisting of a TPO synthetic layer and a polyester fiber mat.
4. Membrane based on distilled bitumen and elastomeric polymers, with a composite reinforcement in glass fiber reinforced polyester coupled to an aluminum film. It has on one side a flammable surface and on the other a non-woven polyester fiber fabric.

5. Membrana a base di bitume distillato polimero con armatura in velo vetro rinforzato da una rete in filo vetro. Presenta su un lato una finitura a sabbia fine e sull'altro una finitura gofrata.

Come già anticipato, le nuove membrane sono state specificatamente formulate per avviare l'ingresso dell'azienda nel mondo dei prodotti per l'isolamento acustico. Le elevate caratteristiche di isolamento dai rumori aerei e di attenuazione delle vibrazioni trasmesse attraverso mezzi solidi in rapporto allo spessore molto ridotto, abbinata alla stabilità dimensionale e alla flessibilità, suggeriscono il loro utilizzo in svariate applicazioni. Accoppiate a pannelli e lastre possono essere inserite in rivestimenti interni e controsoffittature, abbinata a materassini e a tessuti non tessuti diventano un importante contributo prestazionale nelle stratigrafie di pavimentazioni, solai e coperture. Il loro utilizzo "trasversale" può permetterne l'ingresso in mercati ritenuti promettenti, anche diversi da quello edile, in cui insistono le condizioni per un'ulteriore innovazione. I futuri prodotti possono avere ampio spazio nel settore navale, impiegati nei rivestimenti interni delle imbarcazioni, per eliminare le vibrazioni trasmesse attraverso la struttura metallica; nell'automotive, per migliorare la protezione dell'abitacolo dai rumori esterni e prodotti dal motore; nel design e negli elettrodomestici, per le applicazioni che richiedono materiali elastici e flessibili, per incollaggi e strati disgiungenti; infine, all'interno dei pacchetti delle barriere stradali e ferroviarie antirumore, in cui la sostituzione degli attuali materiali, oltre a un aumento prestazionale, comporterebbe anche un aumento significativo della vita utile delle barriere stesse.

5. Membrane based on polymer distilled bitumen with glass veil reinforcement reinforced by a glass wire mesh. It has a fine sand finish on one side and an embossed finish on the other.

As already mentioned, the new membranes have been specifically formulated to start the company's entry into the world of acoustic insulation products. The high characteristics of insulation from airborne noise and attenuation of vibrations transmitted through solid media in relation to the very reduced thickness, combined with dimensional stability and flexibility, suggest their use in various applications. Coupled with panels and slabs, they can be inserted in interior claddings and false ceilings, combined with mattresses and non-woven fabrics, becoming an important performance contribution in the

stratigraphy of floors, floors and roofs. Their "cross" use can allow them to enter promising markets, even different from the building one, where the conditions for further innovation are insisting. Future products can have ample space in the naval sector, used in the interior cladding of boats, to eliminate the vibrations transmitted through the metal structure; in the automotive sector, to improve the protection of the passenger compartment from external noise and engine noise; in design and household appliances, for applications requiring elastic and flexible materials, for bonding and separating layers; finally, within the packs of anti-noise barriers and road barriers, where the replacement of the current materials, as well as a performance increase, would also result in a significant increase in the useful life of the barriers themselves.

## Conclusioni

Le membrane impermeabilizzanti prefabbricate prodotte a livello industriale, ottenute con la lavorazione di bitume distillato e polimeri di vario genere, possono quindi essere impiegate con successo anche in ambito acustico. I test eseguiti durante lo svolgimento della ricerca ne hanno evidenziato le potenzialità, chiarendo che, anche con uno spessore trascurabile (dell'ordine di millimetri), si possono aumentare sensibilmente le prestazioni fonoisolanti e fonoassorbenti di partizioni interne verticali e orizzontali, involucri e barriere antirumore, veicoli ed elettrodomestici, e fornire allo stesso tempo un valido strato disgiungente e antivibrante dove richiesto.

In seguito alla presente ricerca, si possono prevedere come ulteriori sviluppi nuovi test e studi, grazie anche all'acquisizione di differenti attrezzature di misurazione. La raccolta dati sui prodotti disponibili sul mercato e sui prototipi ha quindi rappresentato un'attività chiave del processo di sviluppo tecnologico interno all'azienda, attività che sarà possibile perseguire applicando le metodologie già verificate, grazie all'utilizzo del database messo a punto, all'insieme dei campioni raccolti e classificati e alle attrezzature sviluppate presso le aziende partner. Il contributo fornito dall'Università Iuav di Venezia al partner operativo del progetto di ricerca è stato quindi misurabile e osservabile attraverso una serie di apporti innovativi, che saranno ancora più evidenti nei prossimi anni, quando i risultati della ricerca saranno tangibili in termini quantitativi ed economici.

## Conclusions

The prefabricated waterproofing membranes produced at industrial level, obtained with the processing of distilled bitumen and polymers of various kinds, can therefore be used successfully also in the acoustic field. The tests carried out during the research have highlighted its potential, clarifying that, even with a negligible thickness (in millimeters), the soundproofing and sound-absorbing performance of internal vertical and horizontal partitions, casings and noise barriers can be significantly increased. , vehicles and appliances, and at the same time provide a valid disjunctive and anti-vibration layer where required.

Following the present research, new tests and studies can be foreseen as further developments, thanks also to the acquisition of different measuring equipment. The data collection on the

products available on the market and on the prototypes have therefore represented a key activity in the company's technological development process, an activity that can be pursued by applying the methodologies already verified, thanks to the use of the database developed, all 'set of collected and classified samples and equipment developed at partner companies. The contribution provided by the Iuav University of Venice to the operational partner of the research project was therefore measurable and observable through a series of innovative contributions, which will be even more evident in the coming years, when the results of the research will be tangible in quantitative and economic terms.

## NOTE

<sup>1</sup> «Sviluppo di nuove membrane bituminose fonoisolanti contenenti materiali di riciclo quali polverino di gomma da PFU e PET da recupero post-consumer», assegno di ricerca di tipologia A (monodisciplinare), responsabile scientifico Massimo Rossetti, assegnista di ricerca Alberto Bin, soggetto promotore Università Iuav di Venezia, partner operativo Polyglass S.p.A., partner aziendali t<sup>2</sup>i S.c.a.r.l., Unindustria Treviso, Genesis S.r.l., referenti partner operativo Barnabe Antunes Ines Beatriz, collaboratore Lorenzo Zottarel.

<sup>2</sup> Fabio Iraldo, Irene Bruschi, *Economia circolare - principi guida e casi studio*, Osservatorio sulla Green Economy, IEF Bocconi, 2015.

<sup>3</sup> Il materiale viene valutato sulla base della legge di massa, l'aumentare della quale determina un aumento dell'isolamento della partizione considerata. La legge della massa stabilisce che a 500 Hz una parete di 100 kg/m<sup>2</sup> abbia un potere fonoisolante di 40 dB e che a ogni raddoppio e dimezzamento della massa il potere fonoisolante aumenti o diminuisca di 4 dB.

<sup>4</sup> Il modello di isolamento acustico massa-molla-massa si attua frapponendo a due elementi rigidi e massivi un elemento centrale fonoassorbente con la finalità di smorzare le onde sonore ed innalzare l'abbattimento acustico a un livello superiore a quello che si avrebbe seguendo esclusivamente la legge della massa.

## REFERENCES

Bonnaure, C. (2012), *Soluzioni progettuali per l'isolamento acustico degli edifici: isolamento dai rumori per via aerea, d'urto e impiantistici, correzione acustica dei locali, specifiche tecniche per capitoli speciali d'appalto, produttori e prodotti specialistici per l'acustica*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna (RN).

Broccolino, A. (2006), *Impermeabilizzazioni: coperture continue. Codice di pratica*, I.G.L.A.E. Istituto per la garanzia dei lavori affini all'edilizia, Rome.

## NOTES

<sup>1</sup> «Development of new soundproofing bituminous membranes containing recycled materials such as PFU and post-consumer recovery rubber powders», research grant of type A (monodisciplinary), scientific director Massimo Rossetti, research fellow Alberto Bin, subject promoter Iuav University of Venice, operating partner Polyglass S.p.A., business partners t<sup>2</sup>i S.c.a.r.l., Unindustria Treviso, Genesis S.r.l., operative partners Barnabe Antunes Ines Beatriz, collaborator Lorenzo Zottarel.

<sup>2</sup> Fabio Iraldo, Irene Bruschi, *Circular Economy - guiding principles and case studies*, Observatory on the Green Economy, IEF Bocconi, 2015.

<sup>3</sup> The material is evaluated on the basis of the mass law, the increase of which determines an increase in the isolation of the considered partition. The mass law establishes that at 500 Hz a

wall of 100 kg/sqm has a soundproofing power of 40 dB and that at each doubling and halving of the mass the soundproofing power increases or decreases by 4 dB.

<sup>4</sup> The mass-spring-mass acoustic insulation model is implemented by placing a central sound-absorbing element between two rigid and massive elements with the aim of damping the sound waves and raising the noise abatement to a level higher than the one that would be followed exclusively the law of the mass.

- Cangiano, P. and Micocci, L. (1991), *Le impermeabilizzazioni in edilizia: guida ai materiali, tecniche di posa e normativa*, La nuova Italia scientifica, Rome.
- Costantini, C., Foti, P. and Annesi, D. (2012), *Isolamento acustico degli edifici: materiali, progettazione, collaudo*, Legislazione tecnica, Rome.
- Gagnor, R. and Schieroni, M. (1997), "L'impiego delle materie plastiche nelle moderne impermeabilizzazioni", *Impermeabilizzazione - Seleplast*, Vol. 2, pp. 26-31, Vol. 10-12, pp. 44-55, Vol. 7-9, pp. 7.
- Gallauziaux, T., Fedullo, D., Montini, L. and Barutti, F. (2011), *Manuale pratico dell'isolamento termico e acustico*, Sistemi editoriali, Naples.
- Giavarini, C. (2009), "Il riciclaggio nel conglomerato bituminoso delle membrane bitume-polimero", *Rassegna del Bitume - SITEB*, Vol. 62, pp. 33-39.
- Iraldo, F. and Bruschi, I. (2015), *Economia circolare, principi guida e casi studio*, Osservatorio sulla green economy, IEFEB Bocconi, Milan.
- Luvrano, G. and Senes, F. (2005), *Rumore e inquinamento acustico: principi, norme e prassi del controllo ambientale, definizioni e parametri, gestione e sistemi di bonifica, aggiornato al D.Lgs. 13/2005 e alla Direttiva 2003/10*, Esselibri, Naples.
- Menicali, U. (1995), "Le membrane bitume polimero", *Il Commercio Edile Materiali e Tecnologie*, Vol. 255, pp. 78-82.
- Merlo, A. (2010), "La ricerca dell'efficacia: principi dell'isolamento e criteri di scelta dei materiali naturali", *Bioarchitettura*, Vol. 65, pp. 58-61.
- Paganin, G. (2009), *Guida alle tecniche di costruzione. Isolamento termico acustico e finiture interne*, Se, Naples.
- Pascali, M. (2015), *Acustica ambienti interni: propagazione ed attenuazione del rumore, fonoassorbimento, fonoisolamento*, Grafill, Palermo.
- Piffer, A. (2015), "Isolamento acustico in edilizia: Problemi e soluzioni", *Ordine degli ingegneri di Bolzano*, Bolzano.
- Pompoli, R. and Secchi, L. (2004), "Isolamento acustico delle facciate: confronto normativo", *Costruire in Laterizio*, Vol. 73, pp. 62-68.
- Quaglia, A. (1990), "Le membrane prefabbricate: Impermeabilizzazioni", *Il Nuovo Cantiere*, Vol. 9, pp. 98-105.
- Spagnolo, R. (2005), *Manuale di acustica applicata*, Edizioni Città Studi, Turin.