

# Reducing the Young's modulus in dry mortar products using expanded glass as a lightweight aggregate

## Riduzione del modulo di Young nelle malte premiscelate con l'uso di vetro espanso come aggregato leggero



M. Eng. Fabian Stölzel - Dennert Poraver - Germany

F. Stölzel



Fig. 1- Test specimen prepared for the Young's modulus measurement  
*Campione preparato per la misurazione del modulo di Young*

By the replacement of conventional aggregates with Poraver expanded glass as lightweight aggregate in dry mortar applications, it is possible to reduce the density of the final product.

In addition to many resulting advantages such as increased thermal insulation, improved workability and a higher yield, a mortar with almost the same level of strength can be achieved despite its lower density.

This is due to the high crushing resistance of this product grains and their very good bonding with the matrix. At the same time, the use of Poraver® reduces the Young's modulus. This has a positive effect on reduced cracking.

### DEFINITION OF THE YOUNG'S MODULUS

The modulus of elasticity (Young's modulus) of a construction material describes its reversible deformation due to an applied stress. If the deformation returns to its initial state when the stress is removed, this is described as linear or ideal elastic behaviour. The gradient of the lines in the stress-strain curve in the elastic

Con la sostituzione degli aggregati convenzionali con l'aggregato leggero Poraver a base di vetro espanso nelle malte premiscelate, è possibile ridurre la densità del prodotto. I tanti vantaggi derivanti da questa sostituzione sono un maggiore isolamento termico, un miglioramento della lavorabilità, una maggiore resa con la possibilità di realizzare una malta avente quasi lo stesso livello di resistenza nonostante la sua densità inferiore.

Ciò è dovuto all'elevata resistenza allo schiacciamento dei granuli di Poraver® e alla facilità con cui lega con la matrice. Allo stesso tempo l'uso di Poraver® riduce il modulo di Young con un effetto positivo sulla riduzione delle crepe.

### DEFINIZIONE DEL MODULO DI YOUNG

Il modulo di elasticità (modulo di Young) di un materiale da costruzione descrive la sua capacità di deformarsi in modo reversibile in seguito ad una sollecitazione. Quando la deformazione ritorna al suo stato iniziale una volta cessata la sollecitazione, si ha un

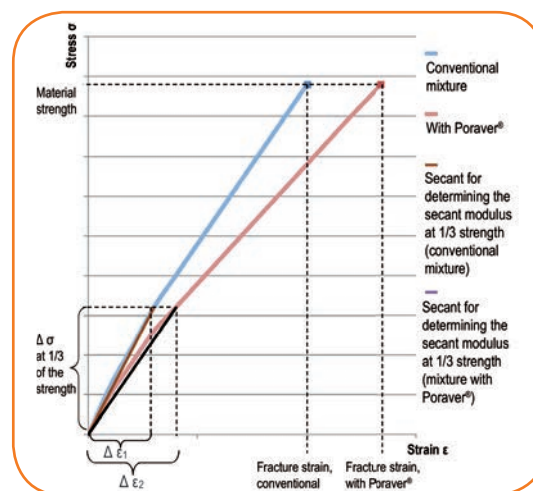


Diagram - Schematic stress-strain diagram for hardened mortar  
*Diagramma semplificato dello sforzo-deformazione di una malta indurita*

deformation region gives these material properties.

E : Young's modulus [MPa, N/mm<sup>2</sup>]

$\Delta\sigma$  : The difference in stress between the initial state and the applied stress [N/mm<sup>2</sup>]

$\Delta\varepsilon$  : Resulting elastic strain for the observed stress state [%].

**YOUNG'S MODULUS IN CONSTRUCTION MATERIALS**

Depending on the formulation of the product, the Young's modulus of individual construction materials can vary considerably. A Young's modulus of 2,000 N/mm<sup>2</sup>, as achieved for example in lime plaster or in a plaster modified with polymers, already displays a high elastic deformation at low stresses.

Systems such as self-levelling underlayments or cement renders achieve a Young's modulus up to 50,000 N/mm<sup>2</sup> and thus display a higher resistance to elastic deformation.

The use of the Poraver® in construction materials

one word can significantly reduce the Young's modulus of most dry mortar products and thus make them more resistant to cracks.

**EXAMPLES OF FORMULATION / ESEMPI DI FORMULAZIONE**

Self levelling underlayment with Poraver® as a lightweight aggregate (SLU base)			
Massetto autolivellante con il Poraver® come aggregato leggero (SLU base)			
Binders <i>Leganti</i>	Density (kg/l) <i>Densità (kg/l)</i>	Mass (kg) <i>Massa (kg)</i>	Volume (l)
CEM I 52.5 R	3.1	135.0	43.6
Aluminate cement <i>Cemento alluminoso</i>	3.1	336.0	108.3
Alpha hemihydrate <i>Gesso alfa emiidrato</i>	2.4	135.0	56.2
Hydrated lime <i>Calce idrata</i>	2.8	14.0	5.0
Additives <i>Additivi</i>	Density (kg/l) <i>Densità (kg/l)</i>	Mass (kg) <i>Massa (kg)</i>	Volume (l)
Tartaric Acid <i>Acido tartarico</i>	1.0	2.5	2.5
Redispersible polymer powder <i>Resina in polvere redispersibile</i>	1.0	50.4	50.4
Lithium carbonate <i>Carbonato di litio</i>	1.0	5.0	5.0
Defoamer <i>Antischiuma</i>	1.0	5.0	5.0
Superplasticiser <i>Superfluidificante</i>	1.0	6.7	6.7
Stabiliser <i>Stabilizzante</i>	1.0	0.3	0.3
Aggregates <i>Aggregati</i>	Density (kg/l) <i>Densità (kg/l)</i>	Mass (kg) <i>Massa (kg)</i>	Volume (l)
Silica sand 0.1-0.5 mm <i>Sabbia silicea 0.1-0.5 mm</i>	2.7	580.0	214.8
Limestone powder < 150 µm <i>Filler calcarei &lt; 150 µm</i>	2.7	403.4	149.4
Water based on the dry weight (% by mass) <i>Acqua riferita al peso secco (% in massa)</i>	<b>21.1</b>	1.0	352.5
Total batch size / <i>Totale</i>		2,025.8	1,000.0

comportamento elastico lineare o ideale. La pendenza della curva sforzo-deformazione nella regione di deformazione elastica è il modulo di Young

E : Modulo di Young [MPa, N/mm<sup>2</sup>]

$\Delta\sigma$  : Differenza di sollecitazione tra lo stato iniziale e la tensione applicata [N/mm<sup>2</sup>]

$\Delta\varepsilon$  : Deformazione elastica per lo stato tensionale applicato [%]

**IL MODULO DI YOUNG NEI MATERIALI DA COSTRUZIONE**

A seconda della formulazione del prodotto il modulo di Young per i materiali da costruzione può variare considerevolmente. Un modulo di Young di 2.000 N/mm<sup>2</sup>, come ad esempio per un intonaco classico o un intonaco modificato con polimeri, può comportare un'elevata deformazione elastica a basse sollecitazioni. Sistemi come ad esempio massetti autolivellanti o rasanti possiedono un modulo di Young fino a 50.000 N/mm<sup>2</sup> e presentano pertanto

una maggiore resistenza alla deformazione elastica. L'uso di Poraver® nei materiali da costruzione può ridurre significativamente il modulo di Young della maggior parte

As you can see in the simplified diagram, the Young's modulus is shown as a secant modulus, statically measured in accordance with DIN EN 12390-13. For the same stress state at 1/3 of the material strength, the conventional mixture displayed an elongation of  $\Delta\varepsilon_1$ , while the mixture with Poraver® displayed an elongation of  $\Delta\varepsilon_2$  for the system.

The lightweight aggregate thus reduces the Young's modulus. In case of materials with the same brittle fracture behaviour, such as dry mortar products, this results in a higher fracture strain.

For a render used on brickwork for example, this means that it will withstand greater movement of the brickwork before it cracks. For the tested mixtures, a volumetric exchange conventional aggregates was carried out.

The proportions of binder and water were maintained at a constant level in the base and light variants in order to produce comparable test specimens with corresponding levels of strength. In all trials the workability of the materials were in the typical range for those products.

Self levelling underlayment with conventional aggregate (SLU light) <i>Massetto autolivellante con aggregati convenzionali (SLU light)</i>			
Binders <i>Leganti</i>	Density (kg/l) <i>Densità (kg/l)</i>	Mass (kg) <i>Massa (kg)</i>	Volume (l)
CEM I 52.5 R	3.1	135.0	43.6
Aluminate cement <i>Cemento alluminoso</i>	3.1	336.0	108.3
Alpha hemihydrate <i>Gesso alfa emiidrato</i>	2.4	135.0	56.2
Hydrated lime <i>Calce idrata</i>	2.8	14.0	5.0
Additives <i>Additivi</i>	Density (kg/l) <i>Densità (kg/l)</i>	Mass (kg) <i>Massa (kg)</i>	Volume (l)
Tartaric Acid <i>Acido tartarico</i>	1.0	2.5	2.5
Redispersible polymer powder <i>Resina in polvere redispersibile</i>	1.0	50.4	50.4
Lithium carbonate <i>Carbonato di litio</i>	1.0	5.0	5.0
Defoamer <i>Antischiuma</i>	1.0	5.0	5.0
Superplasticiser <i>Superfluidificante</i>	1.0	6.7	6.7
Stabiliser <i>Stabilizzante</i>	1.0	0.3	0.3
Aggregates <i>Aggregati</i>	Density (kg/l) <i>Densità (kg/l)</i>	Mass (kg) <i>Massa (kg)</i>	Volume (l)
Poraver® 0.25-0.5 mm	0.7	117.5	167.8
Silica sand 0.1-0.5 mm <i>Sabbia silicea 0.1-0.5 mm</i>	2.7	126.9	47.0
Limestone powder < 150 µm <i>Filler calcarei &lt; 150 µm</i>	2.7	403.4	149.4
Water based on the dry weight (% by mass) <i>Acqua riferita al peso secco (% in massa)</i>	26.4	1.0	352.5
Total batch size / <i>Totale</i>		1,690.2	1,000.0

dei prodotti e quindi rendere più resistenti i prodotti alle fratture da sollecitazioni.

Come si può notare nel diagramma semplificato, il modulo di Young è mostrato come un modulo secante, misurato staticamente secondo la norma DIN EN 12390-13. Per lo stesso stato di sollecitazione a 1/3 della resistenza del materiale, la miscela convenzionale mostra un allungamento di  $\Delta\varepsilon_1$ , mentre la miscela con Poraver® mostra un allungamento  $\Delta\varepsilon_2$ . Il prodotto riduce quindi il modulo di Young.

Nel caso di materiali fragili con lo stesso comportamento di rottura, come le malte premiscelate, ciò si traduce con un aumento della resistenza alla frattura. Per esempio, per un rasante applicato su una muratura, ciò significa che il prodotto sopporta un movimento maggiore della muratura prima che si presentino delle crepe. Per le miscele analizzate, è stata effettuata una sostituzione volumetrica di aggregati a base di vetro espanso. Nella formulazione base è stato mantenuto un

livello costante delle proporzioni di legante ed acqua e sono state effettuate piccole variazioni per ottenere campioni a comparabili livelli di resistenza.

**COMPARISON OF DIFFERENT DRY MORTAR FORMULATIONS**  
**CONFRONTO DI DIVERSE FORMULAZIONI DI UNA MALTA PREMISCELATA**

Comparison of properties of different dry mortar formulations  
 with conventional fillers and with Poraver®  
 Confronto delle proprietà di diverse formulazioni di malte premiscelate  
 con inerti convenzionali e con Poraver®

Self levelling underlayment (SLU) <i>Massetti Autolivellanti (SLU)</i>	SLU base 36.4 vol% conventional aggregates based on the fresh mortar  SLU base aggregati convenzionali al 36,4% in volume rispetto alla malta fresca	SLU light 16.8 vol% Poraver® 0.25-0.5 mm and 19.6 vol% conventional aggregates based on the fresh mortar  SLU light Poraver® 0,25-0,5 mm al 16,8% in volume e aggregati convenzionali al 19,6% in volume rispetto alla malta fresca
Density after 28 days [kg/m³] <i>Densità dopo 28 giorni [kg/m³]</i>	1,901.0	1,574.0
Flexural strength after 28 days [N/mm²] <i>Resistenza alla flessione dopo 28 giorni [N/mm²]</i>	9.5	6.9
Compressive strength after 28 days [N/mm²] <i>Resistenza alla compressione dopo 28 giorni [N/mm²]</i>	45.4	41.7
Young's modulus after 28 days [GPa] <i>Modulo di Young dopo 28 giorni [GPa]</i>	31.6	12.4
<p><b>Summary: The density is reduced by 17.2% and the Young's modulus by 60.7 % using Poraver®</b>  <b>Sommario: la densità è ridotta del 17.2% e il modulo di Young del 60.7 % usando Poraver®</b></p>		

Tile adhesive (CTA) <i>Adesivo per piastrelle (CTA)</i>	CTA base 30.4 vol% conventional aggregates based on the fresh mortar  Aggregati convenzionali al 30.4% in volume rispetto alla malta fresca	CTA light 21.5 vol% Poraver® 0.1-0.3 mm and 8.9 vol% conventional aggregates based on the fresh mortar  Poraver® 0.1-0.3 mm al 21.5% in volume e aggregati convenzionali al 8.9% in volume rispetto alla malta fresca
Density after 28 days [kg/m³] <i>Densità dopo 28 giorni [kg/m³]</i>	1,482.0	1,143.0
Flexural strength after 28 days [N/mm²] <i>Resistenza alla flessione dopo 28 giorni [N/mm²]</i>	6.9	6.8
Compressive strength after 28 days [N/mm²] <i>Resistenza alla compressione dopo 28 giorni [N/mm²]</i>	23.0	20.9
Young's modulus after 28 days [GPa] <i>Modulo di Young dopo 28 giorni [GPa]</i>	13.5	7.9
<p><b>Summary: The density is reduced by 22.9% and the Young's modulus by 41.5 % using Poraver®</b>  <b>Sommario: La densità è ridotta del 22.9% e il modulo di Young del 41.5 % con l'uso di Poraver®</b></p>		

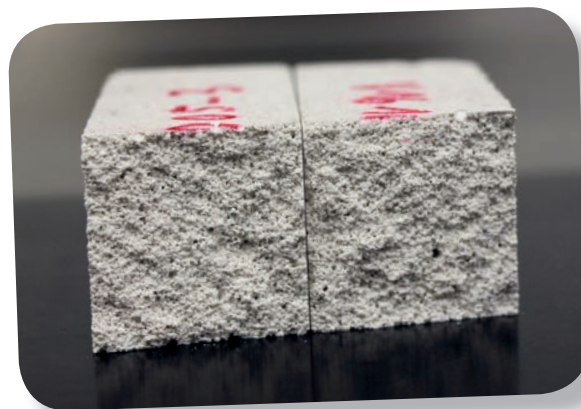


Render <i>Rasante</i>	Render base <i>47.2 vol% conventional aggregates based on the fresh mortar</i>  <i>Rasante base</i> <i>Aggregati convenzionali al 47.2% in volume rispetto alla malta fresca</i>	Render light <i>37.4 vol% Poraver®</i> <i>0.5-1 mm and 8.3 Vol% conventional aggregates based on the fresh mortar</i>  <i>Rasante leggero</i> <i>Poraver® 0.5-1 mm al 37.4% in volume e aggregati convenzionali al 8.3% in volume rispetto alla malta fresca</i>
Density after 28 days [kg/m <sup>3</sup> ] <i>Densità dopo 28 giorni [kg/m<sup>3</sup>]</i>	1,335.0	651.0
Flexural strength after 28 days [N/mm <sup>2</sup> ] <i>Resistenza alla flessione dopo 28 giorni [N/mm<sup>2</sup>]</i>	1.7	1.0
Compressive strength after 28 days [N/mm <sup>2</sup> ] <i>Resistenza alla compressione dopo 28 giorni [N/mm<sup>2</sup>]</i>	2.5	2.4
Young's modulus after 28 days [GPa] <i>Modulo di Young dopo 28 giorni [GPa]</i>	4.4	2.3
<p><b>Summary: It was possible to reduce the density by 51.2% and the E-modulus by 48.9% using Poraver®</b>  <b>Sommario: E' stato possibile ridurre la densità del 51.2% e il Modulo-E del 48.9% con l'uso di Poraver®</b></p>		

### SUMMARY

By replacing volumetrically the fraction of conventional aggregates with expanded glass granules in the tested systems and keeping the same proportions of binders, it was possible to produce test specimens with almost the same level of strength. The mechanical properties of these different formulations were determined. This showed a significant reduction in the Young's modulus through the use of Poraver®. This was irrespective of the grain sizes tested. Assuming that the tested systems exhibit a brittle fracture behaviour, it can thus be expected that the system will handle greater elongation before it cracks. This means that enforced deformations, such as those caused by temperature, vibrations or combining the product with soft construction materials, will generate lower stresses in the mortar and thus counteract the formation of cracks. Furthermore, the density of the system was reduced, which also results in other positive characteristics such as higher thermal insulation properties.

*The specified lightweight aggregate is distributed in Italy by Neuvendis SpA.*



*In tutti i test la lavorabilità dei materiali è stata nell'intervallo tipico di tali prodotti.*

### CONCLUSIONI

*Sostituendo volumetricamente una frazione di inerti convenzionali con Poraver® nei sistemi testati e mantenendo le stesse proporzioni di leganti, è stato possibile ottenere campioni aventi simile livello di resistenza. Sono state misurate le proprietà meccaniche di queste formulazioni ottenendo una riduzione significativa nel modulo di Young grazie all'uso di Poraver® indipendentemente dalle dimensioni del taglio granulometrico utilizzato. Presupponendo che i sistemi in esame abbiano un comportamento fragile a rottura, ci si può quindi aspettare che il sistema con Poraver® riuscirà a gestire un maggiore allungamento prima della frattura.*

*Deformazioni dei materiali che possono essere causate dalla temperatura, dalle vibrazioni meccaniche o dalla combinazione del prodotto con materiali deformabili, genereranno quindi tensioni inferiori nella malta, che presenterà meno facilmente formazione di crepe. Inoltre, la riduzione della densità del sistema ha come risultato anche altre caratteristiche positive come ad esempio un migliorato isolamento termico.*

*Il prodotto in Italia è distribuito da Neuvendis SpA.*