

# ALLEGATO N°2

## APPROFONDIMENTI TECNICI

### Contenuti

|   |              |
|---|--------------|
| <b>1. Relazione di laboratorio per il prototipo in scala 1:1 della parete (realizzata in spagnolo)</b>  | <b>2-7</b>   |
| <b>2. Simulazioni Ubakuss</b>   | <b>8-15</b>  |
| <b>3. Catalogazione articoli scientifici</b>  | <b>16-17</b> |
| <b>4. Relazione di laboratorio per la realizzazione delle provette utilizzate nelle misurazioni con il tubo di impedenza (realizzata in spagnolo)</b> | <b>18-19</b> |
| <b>5. Risultati estesi prove di laboratorio</b>   | <b>20-21</b> |
| <b>6. Simulazioni Insul</b>   | <b>22-29</b> |

# 1. Relazione di laboratorio per il prototipo in scala 1:1 della parete (realizzata in spagnolo)

## INFORME REALIZACION PANEL EN ESCALA 1:1

### INTRODUCCIÓN

El presente informe documenta la construcción y evaluación de un panel a escala real (1:1) como parte del proceso de validación técnica de una técnica constructiva basada en tierra alivianada. El objetivo principal de este trabajo fue verificar la factibilidad constructiva del sistema en condiciones controladas, mediante la reproducción parcial de un muro prototípico, adaptado de una propuesta desarrollada por el arquitecto francés A. Marcom.

El sistema constructivo, aunque ya documentado teóricamente en libro de referencia “Construire en terre-paille”<sup>1</sup>, requería una comprobación empírica que permitiera identificar potenciales dificultades constructivas, errores de ejecución, tiempos requeridos, comportamiento durante el secado y aspectos relacionados con las mejoras acústicas. El propósito central fue evaluar la viabilidad operativa del sistema, su reproducibilidad a escala real, y las implicancias prácticas de su implementación con medios y recursos limitados.

Este documento presenta de manera detallada las fases de trabajo, las modificaciones introducidas respecto a la propuesta original, los materiales empleados, las técnicas de armado y relleno, así como las soluciones exploradas para mejorar su comportamiento acústico. El sistema de estratigrafía del muro se basa en una técnica en húmedo, utilizando una mezcla de tipo plástico que requiere tiempos prolongados de aplicación y secado. En contraste, los paneles acústicos fueron concebidos para una instalación en seco, lo que permite avanzar en su desarrollo en paralelo a la construcción del muro. Esta diferenciación técnica posibilita una mejor organización del trabajo en equipo, optimizando los tiempos de ejecución. Se señalan además los errores constructivos observados y las correcciones aplicadas, con el fin de contribuir a una futura optimización del sistema.

### CONDICIONES CLIMÁTICAS DURANTE EL PROCESO

Durante la ejecución del prototipo se registraron condiciones climáticas propias de un ambiente húmedo, con alta humedad relativa y presencia de radiación solar intensa. Estas condiciones, acentuadas por la inclinación directa de los rayos solares durante el mediodía, influyeron significativamente en el proceso de secado del material.

### MATERIALES UTILIZADOS

La descripción y la tabla de materiales corresponden al prototipo del muro; en cambio, los paneles del sistema acústico se describen específicamente en las secciones correspondientes.

**Madera:** Se empleó madera con función estructural. La madera utilizada fue reciclada a partir de descartes de laboratorio. La sección utilizada para los elementos principales fue de 4 × 4 cm, diferente de la sección original de 6 × 6 cm propuesta por A. Marcom. Esta reducción en la sección de los listones se debe, por un lado, a su mayor disponibilidad comercial y, por otro, a la posibilidad técnica de duplicar las columnas compuestas en los puntos donde se requiera mayor resistencia sísmica. La estructura resultante permite una modulación más flexible, especialmente adecuada para edificaciones como escuelas de música, que



requieren vanos amplios para puertas (con una separación de 120 cm entre columnas). En el caso del prototipo, se utilizaron únicamente columnas compuestas simples, formadas por dos listones unidos.

La madera utilizada fue reciclada de trabajos previos, por lo que fue necesario realizar una fase de corte para ajustar los listones a las dimensiones requeridas.

**Paja:** Se utilizó paja de gramíneas en dos modalidades. En la primera mezcla, se empleó paja cortada a una longitud promedio de 10 cm, lo que permitió una mayor compactación. En la segunda mezcla se utilizó paja larga sin cortar. Esta última modalidad retiene más aire, lo que reduce la densidad final y mejora las capacidades de aislamiento térmico y acústico del sistema.



**Tierra:** Se utilizó una tierra con buen contenido de arcilla, lo que favoreció la cohesión de la mezcla. Las proporciones se basaron en los criterios indicados por Marcom, con adaptaciones puntuales para optimizar la trabajabilidad y la densidad, luego descriptas. La tierra fue apisonada y luego tamizada con un colador de orificios de aproximadamente 4 mm de diámetro. Este paso permitió eliminar las piedras de mayor tamaño. Luego fue pesada según las proporciones establecidas.

### TABLA RESUMEN DE MATERIALES

#### LISTONES DE MADERA

| n° | largo [cm] | ancho [cm] | alto [cm] | función             |
|----|------------|------------|-----------|---------------------|
| 4  |            | 4          | 150       | columnas compuestas |
| 1  |            | 13         | 2         | viga de amarre      |
| 2  |            | 14         | 2         | viga de amarre      |
| 2  |            | 8          | 2         | viga de amarre      |
| 1  |            | 4          | 2         | diagonal            |
| 1  |            | 4          | 2         | travesaño           |

#### TACOS DE MADERA

| n° | largo [cm] | ancho [cm] | alto [cm]               | función   |
|----|------------|------------|-------------------------|---|
| 32 |            | 4          | 2                       | 8 acoplamiento lateral                            |
| 32 |            | 4          | 4 variable entre 8 y 10 | distanciamiento entre columna y plancha encofrado |

#### TORNILLOS

| n° | dimensiones [mm] |
|----|------------------|
| 8  | 5 × 30           |
| 20 | 5 × 40           |
| 20 | 5 × 50           |
| 40 | 5 × 60           |
| 40 | 5 × 70           |
| 8  | 5 × 100          |

| n° | diametro [mm] | longitud [mm] |
|----|---------------|---------------|
| 32 | 6             | 8             |

#### TUERCA

| n° | diametro [mm] | largo [mm] |
|----|---------------|------------|
| 32 | 6             | 6          |

#### TIERRA

| MEZCLA | CANTIDAD [Kg] |
|--------|---------------|
| 1      | 14            |
| 2      | 100.8         |

#### PAJA

| MEZCLA | CANTIDAD [Kg] |
|--------|---------------|
| 1      | 4.8           |
| 2      | 34.6          |

### PROCESO DE REALIZACIÓN

La construcción del panel se llevó a cabo en seis fases distintas: la primera, en la que se proyectó y realizó la estructura; la segunda, en la que se realizó el encofrado; la tercera, con la mezcla de tierra y paja; la cuarta, con el relleno del muro; la quinta, correspondiente a la fase de secado; y la sexta, dedicada al desarrollo del sistema acústico.

#### 1. Realización de la estructura



La estructura se compuso de una viga inferior (viga de amarre), columnas compuestas dobles, un travesaño superior y una diagonal. En la realidad, las diagonales deberían ser más de una; sin embargo, por facilidad constructiva, se optó por colocar solo una. La construcción se realizó sin cimentación, apoyando la estructura directamente sobre el suelo del laboratorio, lo que se reconoce como una diferencia importante con respecto a la técnica original, donde se necesita la cimentación para evitar la humedad de resalida.

El proceso empezó con la realización de las partes compuestas seguido por el ensamblaje general.

El prototipo de una porción de muro tendrá un total de 140 cm de largo, 18 cm de ancho y 150 cm de alto.



La viga de amarre se construyó con una composición de cuatro listones de dimensiones variables. Se acoplaron dos listones de sección 12 × 2 × 140 cm, utilizando 8 tornillos de 5 × 30 mm.

Los listones unidos fueron fijados al listón vertical de 13 × 2 × 140 cm con 8 tornillos de 5 × 60 mm, dispuestos en dos hileras, una por cada listón. La fase de atornillado fue precedida por una fase de estabilización con prensas, lo que facilitó el trabajo. Por último, se atornilló el listón horizontal opuesto de 8 × 4 × 140 cm, utilizando tornillos de 10 cm, dispuestos en dos hileras.



Las columnas se construyen a partir de dos listones de sección 4 × 4 cm y 150 cm de largo. Estos listones se unen mediante tacos de sección 4 × 2 × 8 cm. Para cada columna se utilizan dos tacos, dispuestos a una distancia de 60 cm.

Los tacos sirven como puntos de apoyo para los tijerales horizontales y como guía para la disposición de las diagonales, además de unir los dos listones en un solo elemento estructural que funciona simultáneamente. Cada taco se atornilla primero a un listón con un tornillo de 5 × 40 mm y luego se fija el segundo listón con dos tornillos de 5 × 70 mm, dispuestos en esquinas opuestas del taco.



La construcción de la estructura comienza con la disposición de las columnas sobre la viga de amarre, utilizando prensas. Todo el proceso se realiza de forma horizontal en la mesa de trabajo. Posteriormente, las columnas se atornillan a la viga de amarre con dos tornillos de 5 × 50 mm por cada lado en posición oblicua. A continuación, se fija el tijeral con tornillos de 5 × 50 mm, siguiendo la misma disposición anterior.

El taco se utiliza como guía para la disposición del tijeral, ubicándolo en el espacio central entre las columnas. Por lo tanto, su ancho coincide con el de los tacos (2 cm), con una altura de 4 cm y un largo de 150 cm. Finalmente, se coloca la diagonal y se atornilla con tornillos de 5 × 50 mm.

#### 2. Creación encofrado



Se diseñó un encofrado deslizante, compuesto por planchas de madera reciclada separadas por tacos distanciadores. El sistema permitió el avance progresivo del relleno sin interferir con la estructura base. Las planchas se prepararon a medida, considerando la ergonomía de las personas, para garantizar una adecuada compactación manual.

<sup>1</sup> Marcom, A. (2012). *Construire en terre-paille: Une technique ancienne pour l'habitat d'aujourd'hui*. Éditions Terre Vivante



Primero, la madera fue cortada con una sierra eléctrica para obtener seis piezas de 2 × 150 × 45 cm. Luego, se cortaron seis piezas adicionales de 22 x 2 × 45 cm.

En las piezas largas se atornillaron tacos de 4 × 4 × 8 cm, colocando cuatro por cada plancha. Los tacos fueron fijados con tornillos de 5 × 10 mm.

Posteriormente, se dispusieron los tacos con orificios centrales para realizar los encajes con pernos. Se colocaron cuatro tacos en cada esquina de cada plancha. Después, se perforaron las planchas de menor tamaño en correspondencia con cada orificio de la plancha mayor. Se verificó cada perforación con los pernos antes de proceder con la mezcla.

### 3. Mezcla tierra-paja

La mezcla se realizó siguiendo las proporciones difundidas por A. Marcom, con algunas modificaciones durante la ejecución. Se utilizaron dos mezclas distintas: la primera respetó fielmente las proporciones indicadas, mientras que la segunda incorporó un mayor porcentaje de tierra y agua. Estos cambios se realizaron debido a la aparente baja plasticidad de la mezcla. El objetivo final era alcanzar una densidad de 600 kg/m³.



En la primera mezcla, la paja fue cortada con un promedio de 10 cm, lo que permitía una mayor compresión. La literatura no proponía ninguna indicación sobre el corte de la paja. En la segunda mezcla, se mezcló paja cortada con paja sin cortar para que ocupara más espacio con una menor cantidad.

|  | PROPORCION<br>(1:X) paja | PROPORCION (1:X)<br>tierra | VOLUMEN<br>TIERRA | MASA<br>TIERRA | VOLUMEN<br>PAJA | MASA<br>PAJA | AGU<br>A |
|--|--------------------------|----------------------------|-------------------|----------------|-----------------|--------------|----------|
| MIX<br>1   |                          | 1                          | 3                 | 0.09           | 126             | 0.27         | 32.4     |
| *variaciones en las cantidades según tierra<br>disponibles |                          |                            |                   |                | 14              | 4.84         | 14       |
| MIX<br>2   |                          | 1                          | 4                 | 0.072          | 102.8           | 0.29         | 35.22    |

En la primera mezcla se siguieron las proporciones originales, lo que permitió obtener una composición óptima en términos de cohesión y trabajabilidad. Sin embargo, se observó una disminución promedio del 16 % en el volumen final respecto a lo esperado. Por esta razón, en la segunda mezcla se realizó un ajuste, aumentando proporcionalmente las cantidades de los componentes. Este cambio se aplicó tras una evaluación realizada luego del primer desencofrado, con el objetivo de mejorar el llenado y la ligereza del sistema.

Aunque las proporciones fueron distintas en los dos casos, se procedió con la misma metodología de trabajo.



El primer paso fue preparar la barbotina, mezclando la tierra tamizada con la mitad del agua que se debía incorporar a la mezcla. Todo el proceso se realizó dentro de una tina, lo que facilitó la manipulación y el control de las cantidades. El agua se añadió de forma homogénea y, tras algunos segundos, comenzaron a aparecer burbujas de aire como resultado de la activación de la arcilla. La mezcla se dejó reposar durante una noche para favorecer esa activación. Posteriormente, se utilizó un batidor eléctrico para obtener una mezcla lo más homogénea posible.

En el caso de la segunda mezcla, una vez pesadas las cantidades de cada material, la tierra se subdividió proporcionalmente en cinco baldes, al igual que la paja, dividiendo su peso total en cinco partes. La cantidad de agua se midió para cada balde de tierra.



La mezcla comenzó con la incorporación de un quinto de la paja en el trompo, junto con tres jarras de tierra.

Después, se añadía un quinto de paja con un poco de agua y, tras un par de rotaciones del trompo, se agregaba una jarra de tierra. Cada tanto, era necesario cambiar la inclinación del trompo o mezclar manualmente.



Al finalizar la preparación de la mezcla, cada porción fue colocada en una tina para un reposo de 48 horas. La mezcla destinada al relleno del último encofrado permaneció dos días más en fase de reposo. Este tiempo permitió que la paja se volviera más blanda y, al mismo tiempo, que la arcilla se activara más, en definitiva, la mezcla resultaba más plástica.

Para verificar la densidad de referencia de las mezclas, se realizó en paralelo un bloque por cada aplicación de la mezcla.

### 4. Relleno del muro

La ejecución del relleno comenzó con la disposición del primer encofrado, el cual no fue atornillado, ya que se apoyaba directamente sobre el piso y no requería soporte. Luego, tras colocar el encofrado, se dispuso el relleno compactándolo manualmente, con especial atención a las esquinas. Al finalizar la primera mezcla, el encofrado no estaba completamente relleno, por lo que en la segunda mezcla la paja no fue cortada y se aumentó la cantidad de tierra. El encofrado se retiró después de 48 horas, golpeando suavemente cada lado y deslizando una cara a la vez.



Se recalcularon las proporciones de los componentes y luego se preparó la mezcla, como se había descrito previamente.



Luego, se dispuso el encofrado para continuar con la parte superior del muro. Se atornilló con tornillos de 5 × 10 mm, una medida que permitía atravesar la plancha del encofrado y alcanzar la columna compuesta.



Antes de aplicar la mezcla y compactarla, se humedeció la parte superior del relleno previo para garantizar una mejor adherencia y una distribución lo más uniforme posible.

El encofrado resultó cómodo también por la justa distancia entre la plancha y las columnas.

Se superpusieron tres encofrados, dejando una pequeña sección para los días siguientes, motivo por el cual una tina permaneció en reposo dos días más. Luego, tras la remoción de dos de los tres encofrados, se colocó

el último, junto con la aplicación de la última mezcla. Un día después, este último encofrado fue retirado, junto con el anteuúltimo, que había servido de apoyo.

Mientras tanto, se rellenaron los pequeños huecos ocasionados por los tacos del encofrado. Después de algunos días de secado, apareció una grieta—la probable causa se detalla en el apartado de errores—que también fue rellenada.

### 5. Fase de secado

Finalizado el relleno y los ajustes, el muro quedó en fase de secado, expuesto a las condiciones climáticas mencionadas anteriormente. La alta humedad relativa y la escasa ventilación debido a la proximidad con un muro de quinchá ralentizaron el proceso.

### DESARROLLO DEL SISTEMA ACÚSTICO



Terminada la composición del muro, se procedió con la instalación del sistema acústico. Este sistema responde a las exigencias proyectuales del proyecto de referencia, adaptándose a la actividad que se llevará a cabo en el espacio. Se diseñó un sistema acústico variable que combina absorción acústica para las salas de enseñanza musical con un sistema de difusión sonora ('scattering') para las salas de grabación. En ambos casos, la estructura inicial se duplicó con una versión más liviana compuesta por listones verticales y horizontales sobre los cuales se fijaron los paneles.

La estructura secundaria está compuesta por dos listones verticales con una sección de 4 × 4 × 150 cm y tres listones horizontales de sección 4 x 2 × 140 cm. Los listones horizontales se disponen con una separación de 60 cm.

Los tornillos utilizados para fijar los listones verticales a la estructura portante fueron de 7 × 120 mm, mientras que los empleados para unir los listones horizontales a los verticales fueron de 5 × 40 mm.

### Panel de scattering



Las pruebas de los paneles de scattering se realizaron mediante un panel compuesto por módulos más pequeños de distintas alturas, lo que genera una irregularidad tridimensional. Este panel se creó por etapas: primero, los bloques de paja y barro, y simultáneamente, el marco en el que se insertan dichos bloques durante su secado.

Cada bloque contiene en su interior un tubo de plástico de 1 cm de diámetro. No se fabricaron con una densidad específica, sino con una mezcla reciclada.

Los bloques fueron moldeados con el auxilio de los moldes generalmente utilizados en el test Carazas. En este caso, el molde no se llenó completamente hasta el límite, sino hasta un nivel inferior, distinto para cada bloque. Se llenó hasta la altura de una guía de hierro, donde se colocó el tubo de menor diámetro. Luego, se añadió material con una altura aleatoria y se compactó con un pedazo de madera. Cada bloque se dejó secar durante cuatro días.



Posteriormente, se ensambló el marco con listones de 2 × 3 cm de sección. Se usaron dos listones de 64 cm de largo y dos de 120 cm de largo. A los listones de 120 cm se les perforaron orificios a intervalos de 7,5 cm, en los que se insertaron los tubos de plástico de 1,2 cm de diámetro. Una vez finalizada parte del marco, se insertaron los bloques y se cerró la última sección del marco.

El marco fue asegurado con tornillos de 5 × 40 mm. Finalmente, el panel completado se instaló en los listones horizontales de la estructura secundaria utilizando tornillos de 5 × 40 mm.

Panel de absorción acústica

Se construyó un segundo panel para cumplir con los requisitos de absorción acústica. Se realizó a partir de un marco de 120 × 40 cm, con listones de las mismas secciones que el panel anterior.

Una vez montado el marco, se añadieron dos capas de malla metálica: una con una abertura cuadrada de 3 cm de lado, compuesta por alambres metálicos soldados, y otra con una abertura de 0,5 cm. Las mallas metálicas se fijaron utilizando clavos de 2,5 cm de largo; el primer centímetro fue martillado y el resto se dobló para asegurar la red.

Posteriormente, se definió la composición de la mezcla, ajustando el porcentaje de paja y barro para alcanzar una densidad de 300 kg/m³.

| PROPORCION (1:X) paja | PROPORCION (1:X) tierra | VOLUMEN TIERRA | MASA TIERRA | VOLUMEN PAJA | MASA PAJA | AGUA |
|-----------------------|-------------------------|----------------|-------------|--------------|-----------|------|
| x2                    | 3                       | 0.0027         | 3.78        | 0.02         | 1.94      | 3.78 |



Luego, la mezcla se aplicó en el panel y se mantuvo bajo presión mediante dos láminas de madera sujetas con prensas.

BLOQUES DE CONTROL



Para verificar la densidad de las mezclas, se fabricaron bloques representativos que fueron pesados y medidos. Estos bloques permiten correlacionar las proporciones utilizadas con el comportamiento físico obtenido, lo cual es fundamental para la futura replicación del sistema.

RESULTADOS

El prototipo que constituye el muro se construyó de forma sencilla y sin requerir habilidades previas avanzadas, lo que respalda su factibilidad técnica y la eficiencia en el esfuerzo requerido.

Las probetas realizadas para el control de densidades arrojaron resultados satisfactorios, con valores comprendidos en un rango entre 550 y 600 kg/m³.

| PROBETA | DENSIDAD [Kg/m³] |
|---------|------------------|
| 1       | 602.5            |
| 2       | 556.0            |
| 3       | 582.2            |

El panel diseñado para el sistema de scattering no presenta una construcción sencilla; por el contrario, su elaboración es compleja y no garantiza una fácil reproducción. En particular los tubos no garantizan una correcta estabilidad al sistema.

En cambio, el panel destinado a la absorción acústica tiene una buena facilidad constructiva y, al mismo tiempo, puede considerarse parte de la estratigrafía del muro, permitiendo su realización simultánea con la composición del mismo.

Desde una perspectiva constructiva, se puede optimizar el tiempo de ejecución si se plantea una subdivisión estratégica del trabajo dentro del equipo de construcción, entre el sistema del muro y los sistemas acústicos.

ERRORES Y POSIBLES CORRECCIONES

En la construcción del prototipo se cometieron distintos errores que provocaron imperfecciones, las cuales se describen a continuación.

El encofrado deslizando no fue cortado desde una sola pieza de madera, lo que impidió que coincidieran perfectamente al unirse. Como resultado, se presentaron pequeñas protuberancias en distintas partes del muro.

Además, el encofrado se realizó con tablas que no siempre eran rectas, lo que provocó un ligero curvado del muro en algunos puntos. La desalineación mutua de algunos de los encofrados ha definido una superficie irregular en algunos puntos de los muros. Las partes laterales de la unión del encofrado podrían haberse ubicado en el exterior, de modo que las esquinas fueran completamente rectas y menos imperfectas.

El encofrado podría diseñarse con un lado continuo y el otro compuesto por secciones, utilizando distintas planchas para distribuir mejor la fuerza en cada una. También se podría considerar un encofrado con algunas partes 'a perder', lo que facilitaría su remoción y haría el proceso más cómodo y sencillo.



Otro posible error derivado de la forma del encofrado fue el desprendimiento de la última parte del muro, precisamente en la zona donde el encofrado simplemente se apoyaba sobre el anteúltimo. Probablemente, durante la fase de secado, se inclinó ligeramente, lo que contribuyó al desprendimiento.

Otra posible causa del desprendimiento podría haber sido la falta de una adecuada humidificación en la parte inferior antes de la aplicación del último encofrado, lo que

impidió una correcta unión. También es posible que la parte inferior se haya asentado y comprimido, dejando un espacio en el punto de unión entre los dos encofrados.

El secado fue muy lento, probablemente debido a la orientación del prototipo con respecto al sol y a la extrema cercanía al muro de quinchá.

La estructura de base presentaba sustentos laterales demasiado cortos en relación con la estructura, por lo que, al llenarla, estos no fueron suficientes para estabilizarla completamente. Como solución inmediata, se insertaron diagonales de refuerzo lateral.

CONCLUSIONES

La experiencia permitió validar, con ciertas adaptaciones, la viabilidad constructiva de un sistema apropiado para contextos andinos. La estructura modificada, con secciones más pequeñas y una mayor repetición de columnas, demostró ser funcional durante el proceso constructivo. Este proceso resultó sencillo y factible para una mano de obra sin experiencia previa ni requerimientos físicos exigentes. Las mezclas empleadas mostraron proporciones adecuadas para alcanzar la densidad prevista.

Las soluciones acústicas experimentadas ofrecieron resultados mixtos: mientras que el sistema de absorción acústica presenta posibilidades de integración realistas, el de scattering requerirá refinamientos para ser funcionalmente replicable. El control de las densidades y la observación climática fueron claves para el análisis de desempeño, indicando que aún existen aspectos técnicos que deben ser optimizados para garantizar un resultado más controlado.



2. SIMULAZIONI UBAKUSS

Per comprendere il comportamento termico delle stratigrafie progettate è stato utilizzato il software online UBAKUSS [https://www.ubakus.de/u-wert-rechner/?c=2&T\_i=20&RH\_i=50&Te=-5&RH\_e=80&outside=0&bt=0&unorm=ge-g20alt&fz=24]

Di seguito sono illustrati i risultati per ciascuna stratigrafia.

STRATIGRAFIE IN CUI NON È PRESENTE LA TOTORA

600\_singolo\_180 cm

Exterior wall  
created on 21.11.2025

Thermal protection

U = 0,57 W/(m²K)

GEG 2020/24 Bestand\*: U<0,24 W/(m²K)

Moisture proofing

Drying reserve: 4304 g/m²a  
No condensate

Heat protection

Temperature amplitude damping: 17  
phase shift: 13,0 h  
Thermal capacity inside: 107 kJ/m²K

excellent

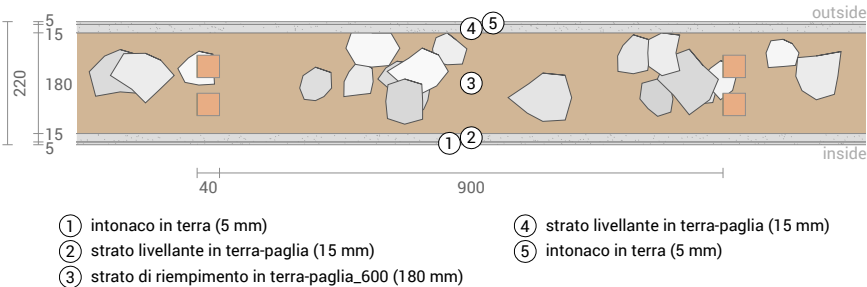
insufficient

excellent

insufficient

excellent

insufficient



|                       |                |                 |                |            |
|-----------------------|----------------|-----------------|----------------|------------|
| Inside air :          | 20,0°C / 50%   |                 | Thickness:     | 22,0 cm    |
| Outside air:          | 0,0°C / 50%    | sd-value: 0,7 m | Weight:        | 152 kg/m²  |
| Surface temperature.: | 19,4°C / 0,5°C |                 | Heat capacity: | 209 kJ/m²K |

800\_singolo\_150 cm

Exterior wall  
created on 21.11.2025

Thermal protection

U = 1,07 W/(m²K)

GEG 2020/24 Bestand\*: U<0,24 W/(m²K)

Moisture proofing

Drying reserve: 4908 g/m²a  
No condensate

Heat protection

Temperature amplitude damping: 4,3  
phase shift: 8,2 h  
Thermal capacity inside: 91 kJ/m²K

excellent

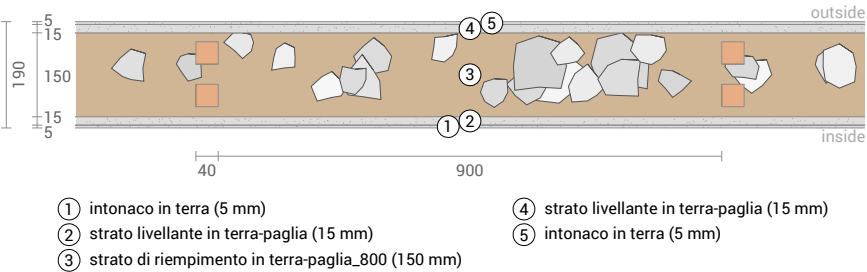
insufficient

excellent

insufficient

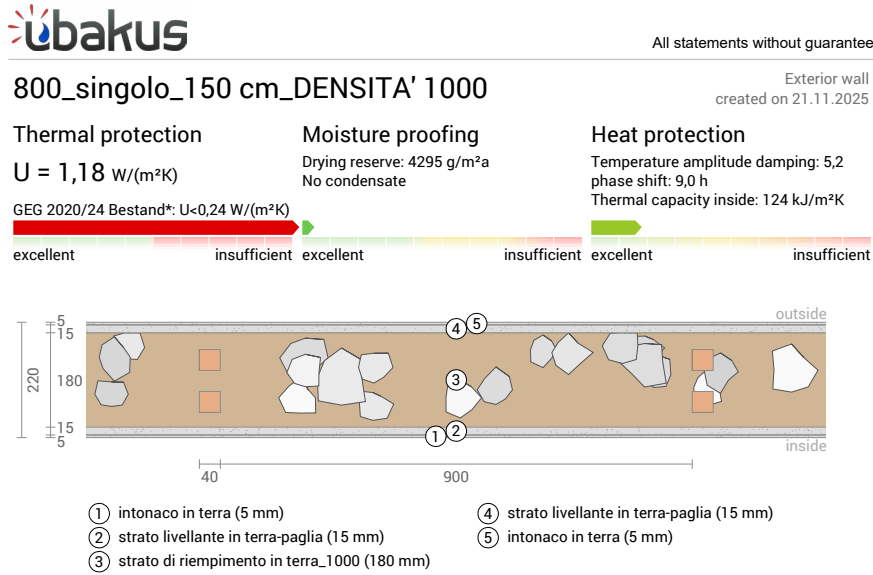
excellent

insufficient



|                       |                 |                 |                |            |
|-----------------------|-----------------|-----------------|----------------|------------|
| Inside air :          | 20,0°C / 50%    |                 | Thickness:     | 19,0 cm    |
| Outside air:          | 14,0°C / 70%    | sd-value: 0,6 m | Weight:        | 164 kg/m²  |
| Surface temperature.: | 19,6°C / 14,3°C |                 | Heat capacity: | 179 kJ/m²K |





Bauteil im Ubakus-Editor bearbeiten

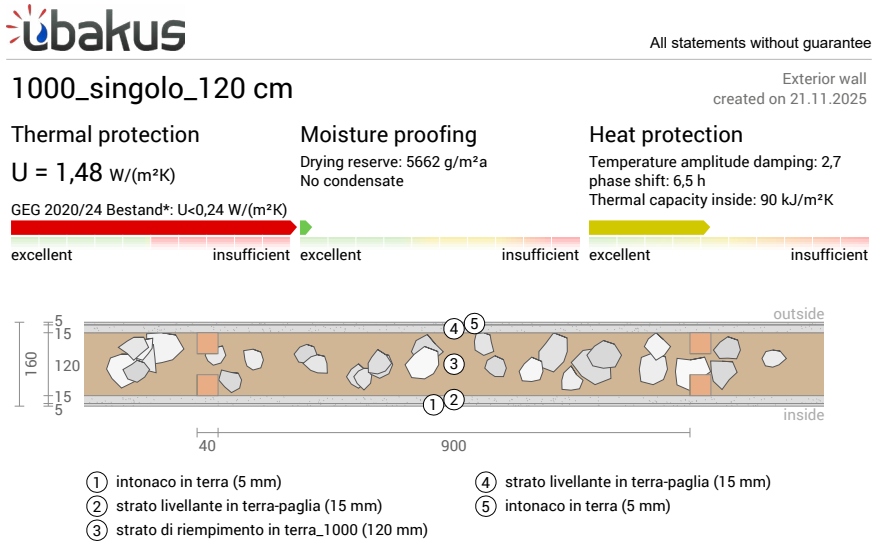
Klicken Sie auf unten stehende Schaltfläche oder scannen Sie den QR-Code um dieses Bauteil im Ubakus-Editor zu öffnen:

Edit calculation

Inside air : 20,0°C / 50%  
Outside air: 14,0°C / 70%  
Surface temperature.: 19,6°C / 14,3°C

sd-value: 0,7 m

Thickness: 22,0 cm  
Weight: 223 kg/m²  
Heat capacity: 244 kJ/m²K



Bauteil im Ubakus-Editor bearbeiten

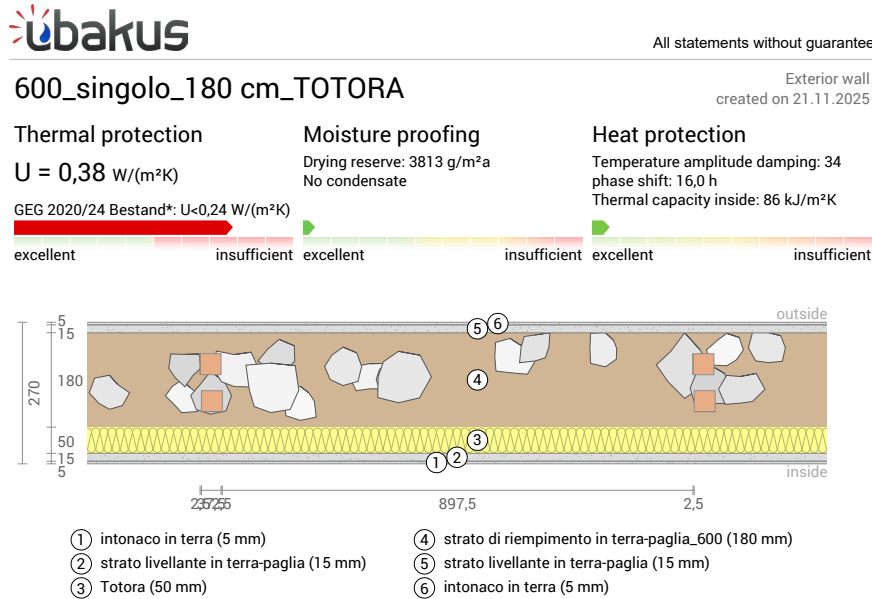
Klicken Sie auf unten stehende Schaltfläche oder scannen Sie den QR-Code um dieses Bauteil im Ubakus-Editor zu öffnen:

Edit calculation

Inside air : 20,0°C / 50%  
Outside air: 20,0°C / 80%  
Surface temperature.: 20,0°C / 20,0°C

sd-value: 0,6 m

Thickness: 16,0 cm  
Weight: 163 kg/m²  
Heat capacity: 178 kJ/m²K



Bauteil im Ubakus-Editor bearbeiten

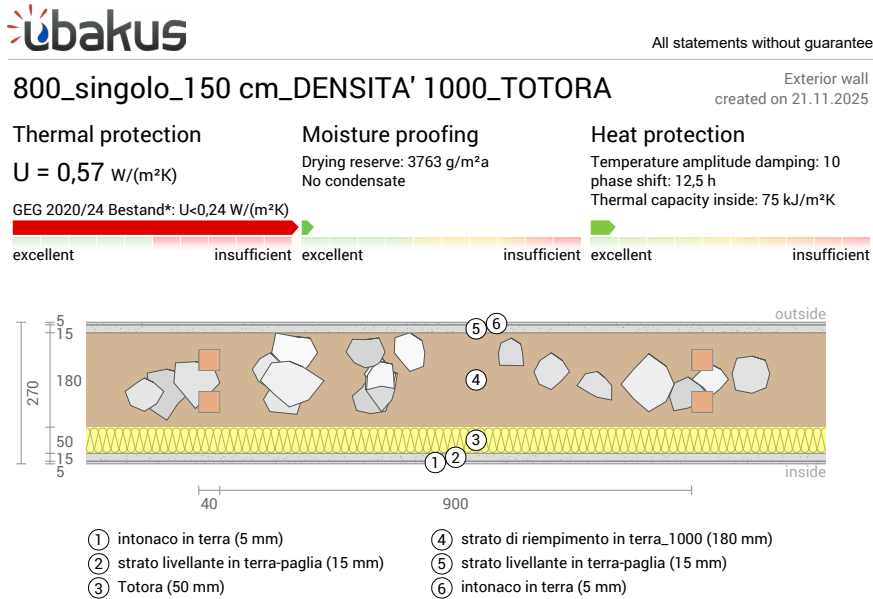
Klicken Sie auf unten stehende Schaltfläche oder scannen Sie den QR-Code um dieses Bauteil im Ubakus-Editor zu öffnen:

Edit calculation

Inside air : 20,0°C / 50%  
Outside air: 0,0°C / 50%  
Surface temperature.: 19,6°C / 0,3°C

sd-value: 0,8 m

Thickness: 27,0 cm  
Weight: 160 kg/m²  
Heat capacity: 217 kJ/m²K



Bauteil im Ubakus-Editor bearbeiten

Klicken Sie auf unten stehende Schaltfläche oder scannen Sie den QR-Code um dieses Bauteil im Ubakus-Editor zu öffnen:

Edit calculation

Inside air : 20,0°C / 50%  
Outside air: 14,0°C / 70%  
Surface temperature.: 19,8°C / 14,1°C

sd-value: 0,8 m

Thickness: 27,0 cm  
Weight: 231 kg/m²  
Heat capacity: 252 kJ/m²K







**ubakus** All statements without guarantee  
created on 21.11.2025

## Tetto\_sierra

**Thermal protection**

$U = 0,49 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

EnEV Bestand\*:  $U < 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

excellent      insufficient

**Moisture proofing**

No condensate

excellent      insufficient

**Heat protection**

Temperature amplitude damping: 11  
phase shift: 11,8 h  
Thermal capacity inside:  $69 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$

excellent      insufficient

① Tornillo (200x100)

② Tornillo (20 mm)

③ strato di riempimento in terra-paglia\_600 (180 mm)


④ Rear ventilated level

⑤ Roofing tiles

### Bauteil im Ubakus-Editor bearbeiten

Klicken Sie auf unten stehende Schaltfläche oder scannen Sie den QR-Code um dieses Bauteil im Ubakus-Editor zu öffnen:

[Edit calculation](#)



|                       |                |                 |            |                |            |
|-----------------------|----------------|-----------------|------------|----------------|------------|
| Inside air :          | 20,0°C / 50%   |                 | Thickness: | 53,3 cm        |            |
| Outside air:          | 0,0°C / 50%    | sd-value:       | 0,9 m      | Weight:        | 166 kg/m²  |
| Surface temperature.: | 17,6°C / 0,4°C | Drying reserve: | 5980 g/m²a | Heat capacity: | 167 kJ/m²K |

**ubakus** All statements without guarantee

Roof construction  
created on 21.11.2025

## Tetto\_costa

**Thermal protection**

$U = 0,88 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

EnEV Bestand\*:  $U < 0,24 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

**Moisture proofing**

No condensate

**Heat protection**

Temperature amplitude damping: 2,9  
phase shift: 6,8 h  
Thermal capacity inside:  $43 \text{ kJ/m}^2\text{K}$

excellent
insufficient
excellent
insufficient
excellent
insufficient

① Tornillo (200x100)

② Tornillo (20 mm)

③ strato di riempimento in terra-paglia\_800 (150 mm)


④ Rear ventilated level

⑤ Roofing tiles

### Bauteil im Ubakus-Editor bearbeiten

Klicken Sie auf unten stehende Schaltfläche oder scannen Sie den QR-Code um dieses Bauteil im Ubakus-Editor zu öffnen:

[Edit calculation](#)



|                       |                 |                 |            |                |            |
|-----------------------|-----------------|-----------------|------------|----------------|------------|
| Inside air :          | 20,0°C / 50%    |                 | Thickness: | 50,3 cm        |            |
| Outside air:          | 14,0°C / 80%    | sd-value:       | 0,8 m      | Weight:        | 178 kg/m²  |
| Surface temperature:. | 18,8°C / 14,2°C | Drying reserve: | 6920 g/m²a | Heat capacity: | 137 kJ/m²K |

**ubakus** All statements without guarantee

Roof construction  
created on 21.11.2025

## Tetto\_costa\_aria x paragone

| Thermal protection  | Moisture proofing    | Heat protection  |
|---|----------------------|--|
| <p><math>U = 0,88 \text{ W/(m}^2\text{K)}</math></p> <p>EnEV Bestand*: <math>U &lt; 0,24 \text{ W/(m}^2\text{K)}</math></p> | <p>No condensate</p> | <p>Heat protection</p> <p>Temperature amplitude damping: 2,9</p> <p>phase shift: 6,8 h</p> <p>Thermal capacity inside: 43 kJ/m²K</p> |
|   |                      |  |

① Tornillo (200x100)

② Tornillo (20 mm)

③ strato di riempimento in terra-paglia\_800 (150 mm)

④ Rear ventilated level (300 mm)


⑤ Rear ventilated level (30 mm)

⑥ Roofing tiles (103 mm)

## Bauteil im Ubakus-Editor bearbeiten

Klicken Sie auf unten stehende Schaltfläche oder scannen Sie den QR-Code um dieses Bauteil im Ubakus-Editor zu öffnen:

Edit calculation



|                       |                 |                 |            |                |            |
|-----------------------|-----------------|-----------------|------------|----------------|------------|
| Inside air :          | 20,0°C / 50%    |                 | Thickness: | 80,3 cm        |            |
| Outside air:          | 14,0°C / 80%    | sd-value:       | 0,8 m      | Weight:        | 178 kg/m²  |
| Surface temperature.: | 18,8°C / 14,2°C | Drying reserve: | 6920 g/m²a | Heat capacity: | 137 kJ/m²K |

**ubakus** All statements without guarantee

**Tetto\_selva** Roof construction  
created on 21.11.2025

**Thermal protection**

$U = 1,14 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

EnEV Bestand\*:  $U < 0,24 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

excellent      insufficient

**Moisture proofing**

No condensate

excellent      insufficient

**Heat protection**

Temperature amplitude damping: 1,8  
phase shift: 5,2 h  
Thermal capacity inside: 34 kJ/m²K

excellent      insufficient

① Tornillo (200x100)

② Tornillo (20 mm)

③ strato di riempimento in terra\_1000 (120 mm)


④ Rear ventilated level

⑤ Roofing tiles

### Bauteil im Ubakus-Editor bearbeiten

Klicken Sie auf unten stehende Schaltfläche oder scannen Sie den QR-Code um dieses Bauteil im Ubakus-Editor zu öffnen:

Edit calculation



|                       |                 |                 |             |                |            |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-------------|----------------|------------|
| Inside air :          | 20,0°C / 50%    |                 | Thickness:  | 47,3 cm        |            |
| Outside air:          | 20,0°C / 80%    | sd-value:       | 0,4 m       | Weight:        | 178 kg/m²  |
| Surface temperature.: | 20,0°C / 20,0°C | Drying reserve: | 44535 g/m²a | Heat capacity: | 137 kJ/m²K |



Per ottenere un abaco di riferimento dei valori di TL, Rw e  $\phi$  sono stati catalogati i seguenti articoli. Con il codice "ar" si fa riferimento ad articoli in cui si tratta della terra con solo la paglia come aggregato; con il codice "a", si indicano gli articoli in cui si indaga il comportamento della terra associato a vari aggregati; mentre, con il codice "p" si indicano gli articoli in cui si tratta la paglia come materiale principale.

| TERRA  |                         |  |                                     |                   |                      |                              |  |                                       |                                  |                                    |                          |                                       |
|--------|-------------------------|--|-------------------------------------|-------------------|----------------------|------------------------------|--|---------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| N. ART | AUTORE                  | TITOLO   | INFO PUBBLICAZIONE                  | TIPO DI MATERIALE | TIPO DI TECNICA      | METODO SPERIMENTALE          | DENSITÀ [kg/m³]  | INDICI PRESTAZIONALI                  | FREQUENZE TESTATE                | RISULTATI                          | APPLICAZIONI STRATEGICHE |                                       |
| 1. ar  | Isak Worre Foged et al. | Development and testing of novel acoustic clay tiles | American Society of Civil Engineers | Argilla           | Terra compressa      | Test con camera riverberante | (presunta 1200-1700)   | scattering coefficient                | 125 - 4000 Hz                    | il fenomeno di Fonoassorbimento SI |                          |                                       |
|        |                         |  |                                     |                   |                      |                              |  | 0,1                                   | 125                              |                                    |                          |                                       |
|        |                         |  |                                     |                   |                      |                              |  | 0,35                                  | 250                              |                                    |                          |                                       |
|        |                         |  |                                     |                   |                      |                              |  | 0,4                                   | 500                              |                                    |                          |                                       |
|        |                         |  |                                     |                   |                      |                              |  | 0,45                                  | 1000                             |                                    |                          |                                       |
|        |                         |  |                                     |                   |                      |                              |  | 0,75                                  | 2000                             |                                    |                          |                                       |
|        |                         |  |                                     |                   |                      |                              |  | 1                                     | 4000                             |                                    |                          |                                       |
|        |                         |  |                                     |                   |                      |                              |  | Coefficiente di assorbimento          |                                  |                                    |                          |                                       |
|        |                         |  |                                     |                   |                      |                              |  | 0,75                                  | 125                              |                                    |                          |                                       |
|        |                         |  |                                     |                   |                      |                              |  | 1                                     | 250                              |                                    |                          |                                       |
|        |                         |  |                                     |                   |                      |                              |  | 0,7                                   | 500                              |                                    |                          |                                       |
|        |                         |  |                                     |                   |                      |                              |  | 0,6                                   | 1000                             |                                    |                          |                                       |
|        |                         |  |                                     |                   |                      |                              |  | 0,52                                  | 2000                             |                                    |                          |                                       |
|        |                         |  |                                     |                   |                      |                              |  | 0,58                                  | 4000                             |                                    |                          |                                       |
| 2. ar  | Crete et al.            | Guide de conception et de construction               | Cycle Terre, pp 66-68, 161-         | 2022              | Terra cruda compatti | Terra compressa              | riferimenti normativi (NF E 2100 (spessore variabile)<br>(stratigrafia semplice 9,5 cm)<br>(stratigrafia semplice 15 cm)<br>(stratigrafia semplice 31,5 cm)<br>(stratigrafia doppia 9,5 cm + 2 cm lana)<br>(stratigrafia doppia 15 cm + 2 cm lana) | Rw (indice di isolamento 50 – 3150 Hz | La presenza di Fonoisolamento SI |                                    |                          |                                       |
|        |                         |  |                                     |                   |                      |                              |  | 44                                    | A                                |                                    |                          | 44 Tabella riferita all'abaco grafico |
|        |                         |  |                                     |                   |                      |                              |  | 47                                    | B                                |                                    |                          |                                       |
|        |                         |  |                                     |                   |                      |                              |  | 54                                    | C                                |                                    |                          | 54                                    |
|        |                         |  |                                     |                   |                      |                              |  | 66                                    | D                                |                                    |                          | 66                                    |
|        |                         |  |                                     |                   |                      |                              |  | 67                                    | E                                |                                    |                          | 67                                    |

**13. ar** TESI DI DOTTORATO  
Marta Miranda Santos *La terre crue à l'épreuve des ambiances sonores. Un dialogue entre la mesure physique et les expériences sensibles*

10

|       |   |
|-------|---|
| 50 dB | Intonaco in argille 1.5 cm, nucleo balle in paglia 35, intonaco con calce |
|-------|---|



4. Risultati estesi prove di laboratorio

Le tabelle mostrano la media realiva alle tre misurazioni realizzate per ciascun provino. Sono stati realizzati tre campionamenti per ogni provino, i risultati ottenuti attraverso il software Siemens sono stati poi riportati in un foglio di calcolo Excel.

MEDIE VALORI TRANSMISSION LOSS

| Octave 1/ | A1      | A2      | A3      | A4      | B1      | B2      | B3      | B4      | C1      | C2      | C3      | C4      | D1      | D2      | E1      | E2      |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 40        | 13,1669 | 12,345  | 10,7719 | 9,11622 | 12,5984 | 13,9377 | 12,3897 | 9,33358 | 9,15364 | 8,90378 | 10,7436 | 7,59375 | 3,58472 | 1,32465 | 1,02313 | 1,76462 |
| 50        | 15,4169 | 13,5787 | 11,4534 | 10,574  | 13,5987 | 14,4651 | 13,3048 | 10,0236 | 9,71038 | 9,79689 | 12,2248 | 8,39441 | 3,58333 | 1,89558 | 0,83345 | 0,55673 |
| 63        | 16,3104 | 13,88   | 11,8373 | 10,788  | 14,1393 | 14,9495 | 13,7276 | 10,5771 | 9,89753 | 10,0022 | 12,7303 | 8,96335 | 3,93213 | 2,34411 | 1,05324 | 0,7297  |
| 80        | 16,4684 | 13,5504 | 11,5441 | 10,5459 | 14,0287 | 14,6688 | 13,3505 | 10,3516 | 9,71997 | 9,79667 | 12,3673 | 8,89254 | 3,95705 | 2,29703 | 1,05469 | 0,69829 |
| 100       | 16,4696 | 13,3945 | 11,367  | 10,3851 | 13,8984 | 14,5565 | 13,1363 | 10,2176 | 9,67175 | 9,70879 | 12,1472 | 8,84054 | 4,0449  | 2,35943 | 1,09619 | 0,73612 |
| 125       | 16,4908 | 13,3389 | 11,2956 | 10,299  | 13,8435 | 14,5371 | 13,0897 | 10,1911 | 9,74954 | 9,65076 | 11,977  | 8,83068 | 4,1576  | 2,43103 | 1,19535 | 0,81342 |
| 160       | 16,5029 | 13,2785 | 11,3025 | 10,2508 | 13,7818 | 14,5475 | 13,0313 | 10,1991 | 9,81851 | 9,62998 | 11,9523 | 8,8312  | 4,25348 | 2,5132  | 1,26039 | 0,834   |
| 200       | 16,7089 | 13,3227 | 11,3778 | 10,294  | 13,8487 | 14,6358 | 13,1395 | 10,2565 | 9,96022 | 9,72044 | 11,9624 | 8,91163 | 4,43061 | 2,61769 | 1,34283 | 0,87232 |
| 250       | 16,895  | 13,4381 | 11,4632 | 10,238  | 13,9345 | 14,827  | 13,2461 | 10,409  | 10,0685 | 9,8237  | 11,9999 | 9,02687 | 4,62634 | 2,76093 | 1,44269 | 0,93405 |
| 315       | 17,3523 | 13,6847 | 11,6077 | 10,3947 | 14,167  | 15,1623 | 13,4602 | 10,6583 | 10,2092 | 10,088  | 12,2025 | 9,26638 | 4,89409 | 2,97659 | 1,57392 | 1,02269 |
| 400       | 18,2951 | 14,2125 | 11,8227 | 10,7178 | 14,8215 | 15,9444 | 13,791  | 10,9156 | 10,406  | 10,5512 | 12,4954 | 9,51995 | 5,20255 | 3,19429 | 1,71339 | 1,11803 |
| 500       | 19,4362 | 14,9351 | 11,8381 | 10,7612 | 15,9353 | 16,9692 | 14,0317 | 10,932  | 10,7326 | 11,3316 | 12,8653 | 9,56525 | 5,50506 | 3,43805 | 1,87392 | 1,23297 |
| 630       | 20,3436 | 15,636  | 12,0145 | 10,9539 | 17,0181 | 17,9751 | 14,3214 | 11,0534 | 11,3683 | 12,2339 | 13,2712 | 9,48116 | 5,87066 | 3,78171 | 2,06324 | 1,36723 |
| 800       | 21,0799 | 17,2172 | 13,5638 | 11,4947 | 17,9548 | 19,7597 | 16,1592 | 11,5546 | 12,7111 | 14,0483 | 14,9583 | 9,89705 | 6,21369 | 4,18562 | 2,32151 | 1,53165 |
| 1000      | 22,3242 | 18,4827 | 15,5325 | 11,4318 | 19,4201 | 21,4519 | 17,4661 | 11,3259 | 14,5434 | 16,2225 | 15,9436 | 9,69692 | 6,48152 | 4,52573 | 2,62337 | 1,75034 |
| 1250      | 22,2748 | 18,0303 | 17,9813 | 12,6947 | 18,1543 | 20,616  | 19,0305 | 12,3937 | 16,2551 | 16,604  | 17,2213 | 10,8434 | 6,78428 | 4,90173 | 2,93425 | 2,02787 |
| 1600      | 27,486  | 20,9234 | 19,1744 | 14,6147 | 22,1734 | 23,4373 | 19,7243 | 13,6446 | 19,6761 | 16,6058 | 17,6834 | 12,7241 | 6,78395 | 5,30456 | 3,23352 | 2,33334 |
| 2000      | 29,6107 | 26,3711 | 19,8516 | 17,5828 | 25,6108 | 29,6301 | 22,6681 | 16,1778 | 23,6921 | 21,0783 | 19,714  | 15,7699 | 6,65084 | 5,5497  | 3,49705 | 2,70068 |
| 2500      | 34,5147 | 28,7537 | 22,7443 | 19,4609 | 28,732  | 37,0337 | 27,0207 | 18,2672 | 30,1955 | 24,6553 | 25,0237 | 18,4917 | 6,76662 | 5,5231  | 3,45059 | 2,91384 |
| 3150      | 38,4994 | 35,5511 | 27,6081 | 21,0052 | 38,5746 | 38,7288 | 30,517  | 20,2422 | 35,6398 | 25,5437 | 27,9232 | 20,4533 | 8,69899 | 5,20506 | 3,37261 | 3,05338 |
| 4000      | 41,3093 | 39,9483 | 29,6145 | 22,4388 | 48,25   | 39,8651 | 37,3168 | 23,0882 | 38,2756 | 30,7139 | 33,3671 | 23,3829 | 10,5765 | 5,62358 | 3,35988 | 3,00166 |
| 5000      | 43,6747 | 46,3181 | 37,5303 | 24,8416 | 43,7623 | 52,8692 | 39,5131 | 27,8506 | 35,739  | 31,0853 | 40,5917 | 35,7637 | 15,9689 | 8,89155 | 4,45241 | 3,26302 |

MEDIE VALORI COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO

| Octave 1/ | anecoico | riflettente | A1      | A2      | A3      | A4         | B1          | B2          | B3          | B4          | C1      | C2      | C3      | C4      | D1      | D2      | E1      | E2      |
|-----------|----------|-------------|---------|---------|---------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 63        | 0,57758  | 0,04905     | 0,16461 | 0,1132  | 0,04962 | 0,01997488 | 0,10839763  | 0,103145489 | 0,07224468  | 0,038269975 | 0,11624 | 0,08715 | 0,06512 | 0,03106 | 0,02297 | 0,03006 | 0,03204 | 0,01826 |
| 80        | 0,62386  | 0,01594     | 0,20532 | 0,15391 | 0,06811 | 0,04033919 | 0,160904608 | 0,137766232 | 0,108297876 | 0,043618174 | 0,15737 | 0,12464 | 0,08024 | 0,03894 | 0,03178 | 0,02475 | 0,02521 | 0,02912 |
| 100       | 0,67089  | 0,01605     | 0,23186 | 0,21062 | 0,09134 | 0,05295257 | 0,22039616  | 0,186772754 | 0,144815979 | 0,053432299 | 0,21694 | 0,17233 | 0,1142  | 0,04813 | 0,04043 | 0,02758 | 0,03021 | 0,03418 |
| 125       | 0,7146   | 0,01515     | 0,25787 | 0,27118 | 0,12398 | 0,06831932 | 0,299026578 | 0,255987237 | 0,19898794  | 0,068254897 | 0,30761 | 0,24092 | 0,1601  | 0,06094 | 0,04779 | 0,03348 | 0,03863 | 0,04301 |
| 160       | 0,7613   | 0,01676     | 0,27752 | 0,3404  | 0,17402 | 0,0919615  | 0,396379479 | 0,346450867 | 0,272599472 | 0,092889219 | 0,43109 | 0,34153 | 0,22804 | 0,08144 | 0,06129 | 0,04339 | 0,0474  | 0,0532  |
| 200       | 0,8116   | 0,01724     | 0,28687 | 0,40463 | 0,24479 | 0,12235114 | 0,500643547 | 0,446902119 | 0,361296902 | 0,120158373 | 0,58986 | 0,47297 | 0,32001 | 0,10398 | 0,07168 | 0,04784 | 0,05166 | 0,06282 |
| 250       | 0,86051  | 0,02493     | 0,29232 | 0,4654  | 0,36275 | 0,17588037 | 0,5938582   | 0,551630731 | 0,468896626 | 0,168627982 | 0,75316 | 0,6389  | 0,45873 | 0,14734 | 0,09609 | 0,06143 | 0,06643 | 0,08452 |
| 315       | 0,90286  | 0,028       | 0,28716 | 0,50566 | 0,52604 | 0,25224276 | 0,641129989 | 0,625312161 | 0,57005043  | 0,238098075 | 0,83935 | 0,79634 | 0,63471 | 0,2108  | 0,12588 | 0,07556 | 0,08116 | 0,11267 |
| 400       | 0,93486  | 0,02826     | 0,27206 | 0,51633 | 0,71599 | 0,36197284 | 0,618725253 | 0,639931166 | 0,630166003 | 0,33641428  | 0,80762 | 0,86865 | 0,8072  | 0,31289 | 0,16824 | 0,09214 | 0,09567 | 0,15264 |
| 500       | 0,95487  | 0,02754     | 0,25367 | 0,49656 | 0,84186 | 0,50298607 | 0,538430008 | 0,592165435 | 0,622289404 | 0,467946755 | 0,69995 | 0,81308 | 0,89362 | 0,47762 | 0,23653 | 0,1148  | 0,11728 | 0,22244 |
| 630       | 0,96341  | 0,02737     | 0,23505 | 0,45168 | 0,81387 | 0,64362711 | 0,433873183 | 0,508004059 | 0,5551976   | 0,616324141 | 0,60497 | 0,67847 | 0,84103 | 0,7115  | 0,3584  | 0,15064 | 0,15165 | 0,33466 |
| 800       | 0,96931  | 0,02965     | 0,21346 | 0,3866  | 0,6756  | 0,68915045 | 0,334853905 | 0,411161162 | 0,461478679 | 0,702640149 | 0,60786 | 0,54854 | 0,69745 | 0,87858 | 0,56846 | 0,2079  | 0,20396 | 0,49841 |
| 1000      | 0,97398  | 0,02433     | 0,18887 | 0,30959 | 0,51855 | 0,63789976 | 0,278392571 | 0,333293575 | 0,361076768 | 0,672440972 | 0,76573 | 0,38892 | 0,53465 | 0,81184 | 0,84637 | 0,30619 | 0,29327 | 0,65009 |
| 1250      | 0,98137  | 0,02413     | 0,21195 | 0,34389 | 0,38631 | 0,50150794 | 0,402051594 | 0,379199163 | 0,322276033 | 0,571803798 | 0,82179 | 0,31863 | 0,39109 | 0,60461 | 0,97709 | 0,49449 | 0,454   | 0,66328 |
| 1600      | 0,98886  | 0,02923     | 0,20073 | 0,3841  | 0,36115 | 0,3759872  | 0,371023836 | 0,444412508 | 0,391236161 | 0,437364129 | 0,69369 | 0,502   | 0,44043 | 0,45176 | 0,85031 | 0,7862  | 0,68096 | 0,5413  |
| 2000      | 0,99514  | 0,04092     | 0,19951 | 0,31905 | 0,49702 | 0,29239417 | 0,301408734 | 0,376374929 | 0,373734725 | 0,351538756 | 0,64392 | 0,40544 | 0,57718 | 0,33524 | 0,699   | 0,96443 | 0,82081 | 0,42217 |
| 2500      | 0,99407  | 0,05794     | 0,20936 | 0,29354 | 0,49291 | 0,2581773  | 0,307323394 | 0,390686859 | 0,319138249 | 0,35660772  | 0,50755 | 0,30351 | 0,41011 | 0,3389  | 0,65453 | 0,83626 | 0,73151 | 0,36007 |
| 3150      | 0,99393  | 0,04105     | 0,19438 | 0,27523 | 0,39362 | 0,28836162 | 0,279327549 | 0,349884833 | 0,305014436 | 0,411138333 | 0,4616  | 0,34933 | 0,38075 | 0,40405 | 0,77787 | 0,65592 | 0,62037 | 0,37857 |
| 4000      | 0,98952  | 0,05707     | 0,20073 | 0,27306 | 0,37959 | 0,32325622 | 0,269588219 | 0,337058531 | 0,276905712 | 0,392239008 | 0,40876 | 0,31926 | 0,38368 | 0,41433 | 0,91853 | 0,68901 | 0,62448 | 0,58572 |



5. Relazione di laboratorio per la realizzazione delle provette utilizzate nelle misurazioni con il tubo di impedenza (realizzata in spagnolo)

INFORME REALIZACION PROBETAS POR TESTES DE ACUSTICA

INTRODUCCION

El presente análisis aborda la investigación experimental en laboratorio de una serie de probetas diseñadas para replicar posibles estratigrafías murarias, en el marco del desarrollo de la tesis. Tras la fase de diseño del módulo constructivo y el estudio detallado de su funcionalidad a través de los componentes técnicos, se considera necesaria una verificación rigurosa de sus propiedades acústicas, dado que el enfoque arquitectónico está orientado a la creación de espacios destinados a actividades musicales.

Los detalles constructivos contemplan como material principal la tierra. El módulo arquitectónico se configura mediante un sistema mixto, en el cual la estructura portante está constituida por elementos de madera, mientras que el relleno se compone de una mezcla de tierra y paja, cuya densidad varía según los casos analizados. Con el objetivo de comprender cómo las variaciones en la composición de dicha mezcla inciden en la capacidad fonoaislante del muro, se llevan a cabo ensayos acústicos seguidos de simulaciones específicas.

Los ensayos acústicos mencionados se realizan mediante la utilización del Tubo de Kundt, instrumento que permite evaluar el comportamiento de los materiales frente a la propagación del sonido en condiciones controladas. El tubo de Kudnt, también definido como tubo de impedancia, es un dispositivo de forma cilíndrica que mide el coeficiente de absorción acústica en probetas de pequeñas dimensiones. El test se desarrolla a través del tubo de forma cilíndrica, donde se genera una onda sonora con micrófonos y se miden las presiones de las ondas incidentes y reflejas en la otra extremidad de la probeta. Gracias a estas medidas se deriva la capacidad del material de absorber las ondas a distintas frecuencias. <sup>1</sup>

Las distintas fases de la investigación se llevaron a cabo en dos contextos geográficos complementarios. La etapa correspondiente a la elaboración de las probetas se desarrolló en Fondi, en un entorno doméstico adaptado para tal fin, mientras que la fase de análisis técnico en laboratorio fue realizada en las instalaciones del Politécnico de Turín, aprovechando los recursos especializados que dicha institución ofrece para la investigación científica en el ámbito arquitectónico.

CONDICIONES CLIMATICAS DURANTE EL PROCESO

Las condiciones climáticas presentes durante el proceso incidieron directamente en la primera fase de la investigación, correspondiente a la elaboración de las probetas. Estas, compuestas por una mezcla de tierra y paja, se vieron afectadas por la calidad del aire tanto durante la etapa de reposo de la mezcla como en el posterior proceso de secado. Tal como se ha mencionado previamente, esta fase inicial se desarrolló en Fondi, en un entorno doméstico y con medios elementales.

Las condiciones termo-higrométricas se mantuvieron relativamente estables a lo largo del periodo de trabajo, registrándose temperaturas diurnas comprendidas entre los 24 y 26 °C, y nocturnas entre los 15 y 16 °C. En cuanto a la humedad relativa del ambiente, esta osciló entre el 15 % y el 22 %, parámetros que condicionaron el comportamiento físico de las probetas durante su conformación y endurecimiento. <sup>2</sup>

MATERIALES UTILIZADOS

<sup>1</sup> ISO. (1998). *ISO 10534-2: Acoustics — Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes*. International Organization for Standardization.  
Cox, T., & D'Antonio, P. (2016). *Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory, Design and Application*. CRC Press.

<sup>2</sup> <https://it.weatherspark.com/m/74507/9/Condizioni-meteorologiche-medie-nel-mese-di-settembre-a-Fondi-Italia>

Para la realización de las probetas fue necesaria la fabricación de moldes mediante impresión tridimensional, siguiendo las indicaciones previamente proporcionadas por la profesora L. Shtrepi. A partir de un archivo digital en formato 3D, se definió una base genérica del molde, la cual fue posteriormente modificada en función de los espesores específicos de las distintas estratigrafías murarias, con variaciones comprendidas entre los 2,5 cm y los 12 cm. Cabe señalar que la amplitud máxima de los moldes no coincidía con la amplitud máxima de los espesores murarios proyectados; sin embargo, resultaba suficiente para la elaboración de gráficos que permitieran verificar el comportamiento de los materiales y formular previsiones técnicas. Los moldes fueron realizados mediante impresión 3D utilizando PLA (ácido poliláctico) como material base.

Para la composición de las mezclas se empleó tierra procedente de Fondi, previamente tamizada mediante una criba de malla media de 5 mm. La fibra añadida consistió en paja de trigo, también obtenida de agricultores locales, la cual fue cortada manualmente con tijeras en distintas longitudes. La medición de los componentes se efectuó mediante una balanza de precisión con capacidad máxima de 200 g, complementada por una balanza de cocina para volúmenes mayores. En el proceso de mezcla se utilizó una espátula de plástico, mientras que para el desmoldeo se empleó una espátula metálica. Se aplicó arena como agente separador para evitar la adherencia de la mezcla al cartón pres-pan, y se utilizaron elásticos para ejercer compresión durante el fraguado.

En total, se utilizaron 0,548 kg de tierra y 0,047 kg de paja para la elaboración de las probetas.

PROCESO DE REALIZACION

- 1. Impresión 3d de los moldes y nomenclatura de los mismos  
Por empezar fueron realizados los moldes con una impresora 3d, con hilo en PLA. Los moldes fueron realizados en 12 horas. La impresora utilizada es el modelo Creality Ender 3 v2, con una extrusora de 1,75 mm. Se realizaron 3 moldes con largo par a 12 cm, 3 de 8 cm, 3 de 4cm, 3 de 2,5 cm, 2 de 3,5 y 2 de 3.5. El diámetro interior de cada molde era aproximadamente de 3,4 mm y el exterior de 3,7 mm. Cada grupo de moldes correspondía a una mezcla distinta.

La siguiente tabla relaciona cada etiqueta al relativo largo de la misma.

| A        |            | B        |            | C        |            | D        |            | E        |            |
|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|
| Etiqueta | Largo [cm] | Etiqueta | Largo [cm] | Etiqueta | Largo [cm] | Etiqueta | Largo [cm] | Etiqueta | Largo [cm] |
| 1        | 10         | 1        | 10         | 1        | 10         | 1        | 3.5        | 1        | 3.5        |
| 2        | 8          | 2        | 8          | 2        | 8          | 2        | 2.5        | 2        | 2.5        |
| 3        | 6          | 3        | 6          | 3        | 6          |          |            |          |            |
| 4        | 4          | 4        | 4          | 4        | 4          |          |            |          |            |

- 2. Preparación de las mezclas  
Se llevaron a cabo cinco formulaciones distintas de mezcla, cuatro de las cuales fueron preparadas con densidades controladas de 1000 kg/m³, 800 kg/m³, 600 kg/m³ y 300 kg/m³, respectivamente. A estas se suma una quinta variante, compuesta exclusivamente por paja humedecida con el fin de facilitar su moldeado, cuya densidad aproximada es de 120 kg/m³. Las proporciones específicas de cada mezcla se detallan en las tablas que se presentan a continuación.

| densità [Kg/m3] | Provino | Peso tara [Kg] | Proporzione terra | Proporzione paglia | Kg terra | Kg paglia |
|-----------------|---------|----------------|-------------------|--------------------|----------|-----------|
|-----------------|---------|----------------|-------------------|--------------------|----------|-----------|

|      |    |         |       |       |       |       |
|------|----|---------|-------|-------|-------|-------|
| 1000 | A1 | 0,01952 | 0,643 | 0,357 | 0,231 | 0,009 |
|      | A2 | 0,01645 |       |       |       |       |
|      | A3 | 0,0129  |       |       |       |       |
|      | A4 | 0,00637 |       |       |       |       |
| 800  | B1 | 0,0197  | 0,500 | 0,500 | 0,180 | 0,013 |
|      | B2 | 0,01609 |       |       |       |       |
|      | B3 | 0,01282 |       |       |       |       |
|      | B4 | 0,00647 |       |       |       |       |
| 600  | C1 | 0,01923 | 0,357 | 0,643 | 0,128 | 0,016 |
|      | C2 | 0,01633 |       |       |       |       |
|      | C3 | 0,01318 |       |       |       |       |
|      | C4 | 0,00659 |       |       |       |       |
| 300  | D1 | 0,00573 | 0,143 | 0,857 | 0,009 | 0,004 |
|      | D2 | 0,00408 |       |       |       |       |
| 120  | E1 | 0,00569 | -     | -     | -     | 0,005 |
|      | E2 | 0,00419 |       |       |       |       |



Aunque cada molde presentaba una longitud distinta, todos aquellos correspondientes a una misma densidad esperada fueron agrupados, y se elaboró una única mezcla destinada a ser distribuida posteriormente de manera proporcional entre ellos. La tierra utilizada fue previamente tamizada, eliminando impurezas tales como piedras u otros elementos no deseados. La paja, por su parte, fue cortada manualmente en longitudes variables comprendidas entre los 3 y los 7 cm, teniendo en cuenta que el diámetro interior de los moldes no superaba los 4 cm.

Cada mezcla fue preparada mediante la medición precisa de sus componentes, los cuales fueron organizados y etiquetados para garantizar su trazabilidad. En cada recipiente se distribuyó la proporción correspondiente de tierra y paja, a la que se añadió una cantidad de agua equivalente al peso de la tierra. Posteriormente, la mezcla fue dejada en reposo durante dos días, con el objetivo de permitir que la paja se ablandara, facilitando así la fase de moldeo subsiguiente.

- 3. Relleno de los moldes y secado



DTranscurridos dos días de reposo, las mezclas estaban listas para ser colocadas en los moldes. Dado que se empleó una técnica que requería una fase de compresión del material, se prepararon dos placas de cartón pres-pan para cada molde, con el fin de ejercer presión uniforme sobre la mezcla. Para impermeabilizar la superficie de contacto, se aplicó una capa de esmalte transparente — comúnmente utilizado en manicura— seguida de una capa de arena, lo que permitió evitar la adherencia de la mezcla al cartón. La compresión se logró mediante el uso de dos bandas elásticas de plástico por molde, tal como se muestra en la figura correspondiente.

Los moldes fueron mantenidos bajo compresión durante un periodo de dos días, tras el cual se procedió a retirar las placas de cartón pres-pan. El proceso de secado se llevó a cabo al aire libre, en condiciones ambientales caracterizadas por una humedad relativa y temperatura con escasa variación, conforme a los parámetros previamente descritos.

- 4. Ajustes de las probetas



Durante la fase de secado, se observó en algunas probetas —en particular en las C1,C2,C3 un fenómeno de retracción de la mezcla, lo que requirió la adición de material suplementario para compensar dicha contracción. Esta intervención probablemente afectará la precisión de las densidades inicialmente previstas; sin embargo, resultaba indispensable para la correcta ejecución de los ensayos acústicos, en los cuales la superficie interna de las probetas debía alcanzar el mismo nivel que el envolvente exterior de bioplástico.

- 5. Testes de acústica

RESULTADOS

La siguiente tabla evidencia los resultados relativos a cada probeta, por cada una fue monitoreado el peso en tres fases distintas, hasta el ultimo peso que es medido al final del secado y utilizado por el relativo calculo de la densidad.

| Densità [Kg/m3] | Provino | Peso 1 [Kg] | Peso 2 [Kg] | Peso 3 [Kg] | Densità ottenuta [Kg/m3] |
|-----------------|---------|-------------|-------------|-------------|--------------------------|
| 1000            | A1      |             |             |             |                          |
|                 | A2      |             |             |             |                          |
|                 | A3      |             |             |             |                          |
|                 | A4      |             |             |             |                          |
| 800             | B1      |             |             |             |                          |
|                 | B2      |             |             |             |                          |
|                 | B3      |             |             |             |                          |
|                 | B4      |             |             |             |                          |
| 600             | C1      |             |             |             |                          |
|                 | C2      |             |             |             |                          |
|                 | C3      |             |             |             |                          |
|                 | C4      |             |             |             |                          |
| 300             | D1      |             |             |             |                          |
|                 | D2      |             |             |             |                          |
| 120             | E1      |             |             |             |                          |
|                 | E2      |             |             |             |                          |



## 6. SIMULAZIONI INSUL

Per comprendere il comportamento acustico delle stratigrafie progettate è stato utilizzato il software INSUL [<https://www.insul.co.nz/>]

Di seguito sono illustrati i risultati per ciascuna stratigrafia.

### SETTING DEI MATERIALI \_ densità 600 kg/m<sup>3</sup>

#### Sound Insulation Prediction (v9.0.24)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017  
Margin of error is generally within Rw ±3 dB  
- Key No. 2028  
Job Name:  
Job No.:  
Date:18/11/2025  
File Name:600\_10.ixl

Initials:acustica

Notes:



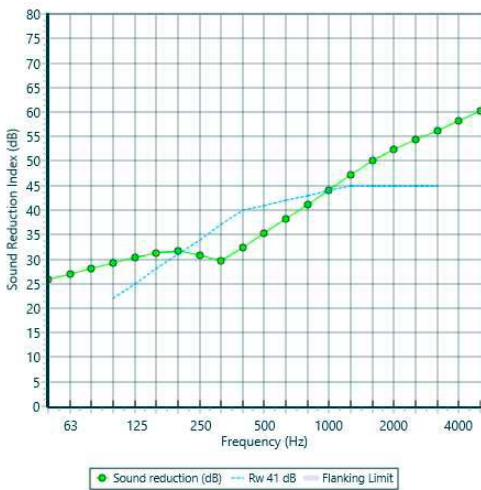
Rw 41 dB  
C -1 dB  
Ctr -4 dB

Panel Size = 2.7 m x 4.0 m  
Partition surface mass = 60 kg/m<sup>2</sup>

#### System description

Panel 1 : 1 x 100 mm Terra paglia 600

| freq.(Hz) | R(dB) | R(dB) |
|-----------|-------|-------|
| 50        | 26    |       |
| 63        | 27    | 27    |
| 80        | 28    |       |
| 100       | 29    | 30    |
| 125       | 30    |       |
| 160       | 31    | 31    |
| 200       | 32    |       |
| 250       | 31    | 31    |
| 315       | 30    |       |
| 400       | 32    | 35    |
| 500       | 35    |       |
| 630       | 38    |       |
| 800       | 41    |       |
| 1000      | 44    | 43    |
| 1250      | 47    |       |
| 1600      | 50    |       |
| 2000      | 52    | 52    |
| 2500      | 54    |       |
| 3150      | 56    |       |
| 4000      | 58    | 58    |
| 5000      | 60    |       |



#### Sound Insulation Prediction (v9.0.24)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017  
Margin of error is generally within Rw ±3 dB  
- Key No. 2028  
Job Name:  
Job No.:  
Date:18/11/2025  
File Name:600\_15.ixl

Initials:acustica

Notes:



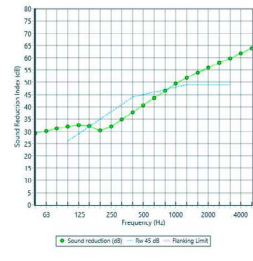
Rw 45 dB  
C -1 dB  
Ctr -5 dB

Panel Size = 2.7 m x 4.0 m  
Partition surface mass = 90 kg/m<sup>2</sup>

#### System description

Panel 1 : 1 x 200 mm Terra paglia 600

| freq.(Hz) | R(dB) | R(dB) |
|-----------|-------|-------|
| 50        | 29    |       |
| 63        | 30    | 30    |
| 80        | 31    |       |
| 100       | 32    | 32    |
| 125       | 33    |       |
| 160       | 32    | 31    |
| 200       | 30    |       |
| 250       | 32    | 32    |
| 315       | 35    |       |
| 400       | 38    |       |
| 500       | 41    | 40    |
| 630       | 44    |       |
| 800       | 47    |       |
| 1000      | 50    | 49    |
| 1250      | 52    |       |
| 1600      | 54    |       |
| 2000      | 56    | 56    |
| 2500      | 58    |       |
| 3150      | 60    |       |
| 4000      | 62    | 62    |
| 5000      | 64    |       |



#### Sound Insulation Prediction (v9.0.24)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017  
Margin of error is generally within Rw ±3 dB  
- Key No. 2028  
Job Name:  
Job No.:  
Date:18/11/2025  
File Name:600\_25.ixl

Initials:acustica

Notes:



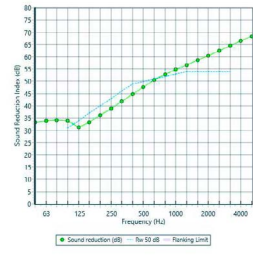
Rw 50 dB  
C -1 dB  
Ctr -6 dB

Panel Size = 2.7 m x 4.0 m  
Partition surface mass = 150 kg/m<sup>2</sup>

#### System description

Panel 1 : 1 x 200 mm Terra paglia 600

| freq.(Hz) | R(dB) | R(dB) |
|-----------|-------|-------|
| 50        | 33    |       |
| 63        | 35    | 34    |
| 80        | 35    |       |
| 100       | 34    | 33    |
| 125       | 33    |       |
| 160       | 33    | 33    |
| 200       | 36    |       |
| 250       | 39    | 38    |
| 315       | 42    |       |
| 400       | 45    |       |
| 500       | 48    | 47    |
| 630       | 51    |       |
| 800       | 53    |       |
| 1000      | 55    | 54    |
| 1250      | 57    |       |
| 1600      | 59    |       |
| 2000      | 61    | 60    |
| 2500      | 63    |       |
| 3150      | 64    |       |
| 4000      | 66    | 66    |
| 5000      | 68    |       |



#### Sound Insulation Prediction (v9.0.24)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017  
Margin of error is generally within Rw ±3 dB  
- Key No. 2028  
Job Name:  
Job No.:  
Date:18/11/2025  
File Name:600\_35.ixl

Initials:acustica

Notes:



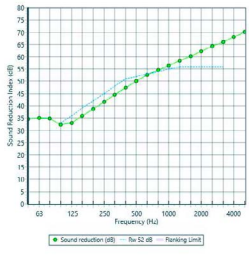
Rw 52 dB  
C -1 dB  
Ctr -6 dB

Panel Size = 2.7 m x 4.0 m  
Partition surface mass = 180 kg/m<sup>2</sup>

#### System description

Panel 1 : 1 x 300 mm Terra paglia 600

| freq.(Hz) | R(dB) | R(dB) |
|-----------|-------|-------|
| 50        | 35    |       |
| 63        | 35    | 35    |
| 80        | 35    |       |
| 100       | 32    | 33    |
| 125       | 33    |       |
| 160       | 33    | 33    |
| 200       | 39    |       |
| 250       | 42    | 41    |
| 315       | 44    |       |
| 400       | 47    |       |
| 500       | 50    | 50    |
| 630       | 53    |       |
| 800       | 55    |       |
| 1000      | 56    | 56    |
| 1250      | 57    |       |
| 1600      | 60    |       |
| 2000      | 62    | 62    |
| 2500      | 64    |       |
| 3150      | 66    |       |
| 4000      | 68    | 68    |
| 5000      | 70    |       |



#### Sound Insulation Prediction (v9.0.24)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017  
Margin of error is generally within Rw ±3 dB  
- Key No. 2028  
Job Name:  
Job No.:  
Date:18/11/2025  
File Name:1000\_15.ixl

Initials:acustica

Notes:



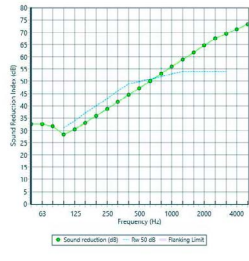
Rw 54 dB  
C -1 dB  
Ctr -6 dB

Panel Size = 2.7 m x 4.0 m  
Partition surface mass = 210 kg/m<sup>2</sup>

#### System description

Panel 1 : 1 x 300 mm Terra paglia 1000

| freq.(Hz) | R(dB) | R(dB) |
|-----------|-------|-------|
| 50        | 33    |       |
| 63        | 33    | 32    |
| 80        | 34    |       |
| 100       | 28    | 30    |
| 125       | 30    |       |
| 160       | 33    | 30    |
| 200       | 36    |       |
| 250       | 39    | 38    |
| 315       | 42    |       |
| 400       | 44    |       |
| 500       | 47    | 47    |
| 630       | 50    |       |
| 800       | 53    |       |
| 1000      | 55    | 55    |
| 1250      | 59    |       |
| 1600      | 62    |       |
| 2000      | 65    | 64    |
| 2500      | 67    |       |
| 3150      | 69    |       |
| 4000      | 71    | 71    |
| 5000      | 73    |       |



### densità 1000 kg/m<sup>3</sup>

#### Sound Insulation Prediction (v9.0.24)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017  
Margin of error is generally within Rw ±3 dB  
- Key No. 2028  
Job Name:  
Job No.:  
Date:18/11/2025  
File Name:1000\_10.ixl

Initials:acustica

Notes:



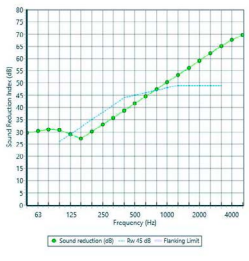
Rw 45 dB  
C -2 dB  
Ctr -6 dB

Panel Size = 2.7 m x 4.0 m  
Partition surface mass = 150 kg/m<sup>2</sup>

#### System description

Panel 1 : 1 x 100 mm Terra paglia 1000

| freq.(Hz) | R(dB) | R(dB) |
|-----------|-------|-------|
| 50        | 29    |       |
| 63        | 30    | 30    |
| 80        | 31    |       |
| 100       | 31    | 31    |
| 125       | 29    | 29    |
| 160       | 27    |       |
| 200       | 30    |       |
| 250       | 33    | 32    |
| 315       | 36    |       |
| 400       | 39    |       |
| 500       | 42    | 41    |
| 630       | 45    |       |
| 800       | 47    |       |
| 1000      | 50    | 50    |
| 1250      | 53    |       |
| 1600      | 56    |       |
| 2000      | 59    | 59    |
| 2500      | 62    |       |
| 3150      | 65    |       |
| 4000      | 68    | 67    |
| 5000      | 70    |       |



#### Sound Insulation Prediction (v9.0.24)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017  
Margin of error is generally within Rw ±3 dB  
- Key No. 2028  
Job Name:  
Job No.:  
Date:18/11/2025  
File Name:1000\_20.ixl

Initials:acustica

Notes:



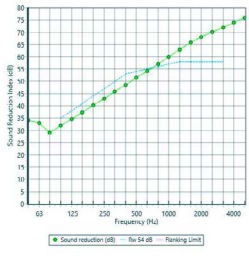
Rw 54 dB  
C -2 dB  
Ctr -7 dB

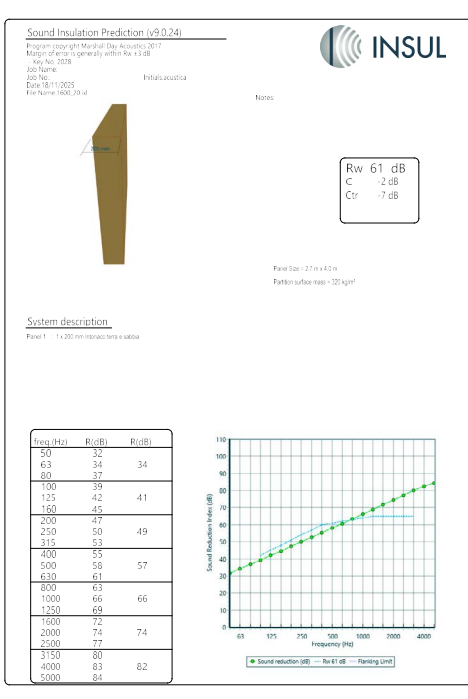
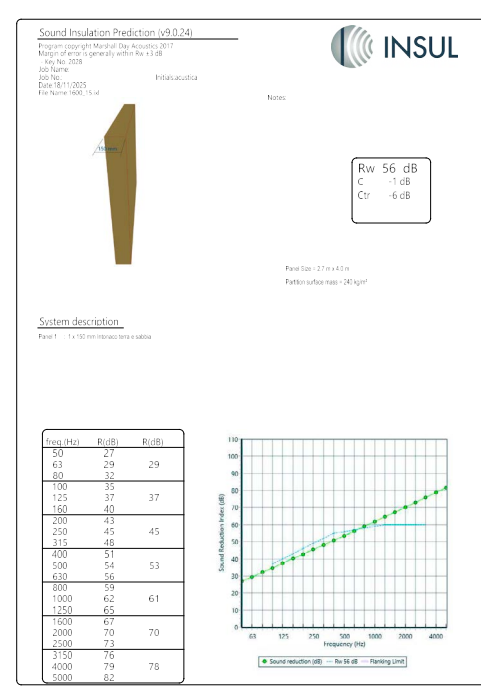
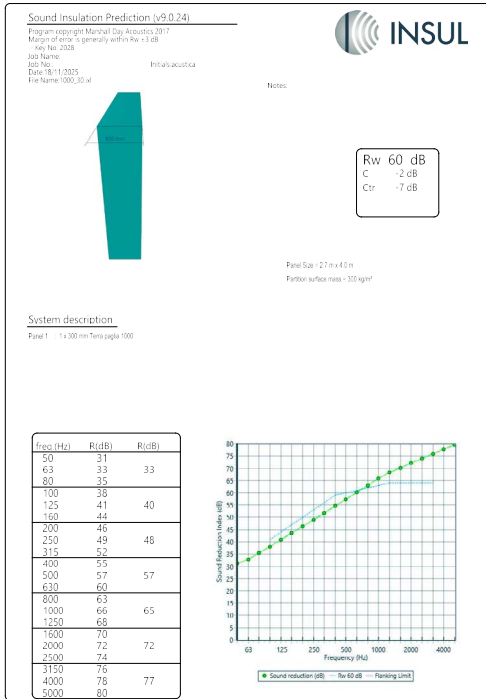
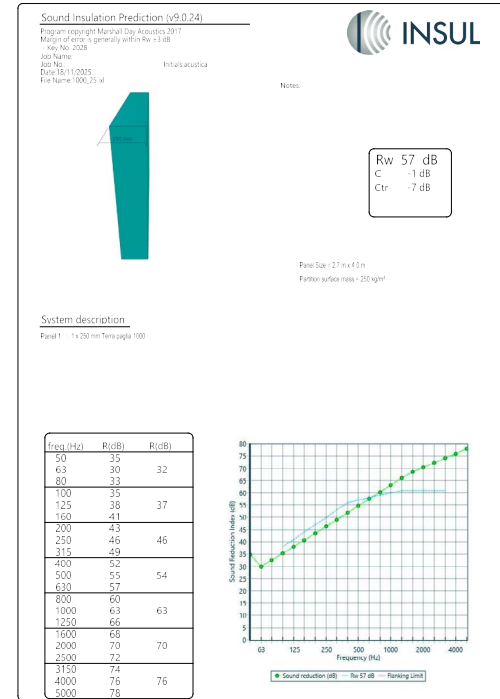
Panel Size = 2.7 m x 4.0 m  
Partition surface mass = 210 kg/m<sup>2</sup>

#### System description

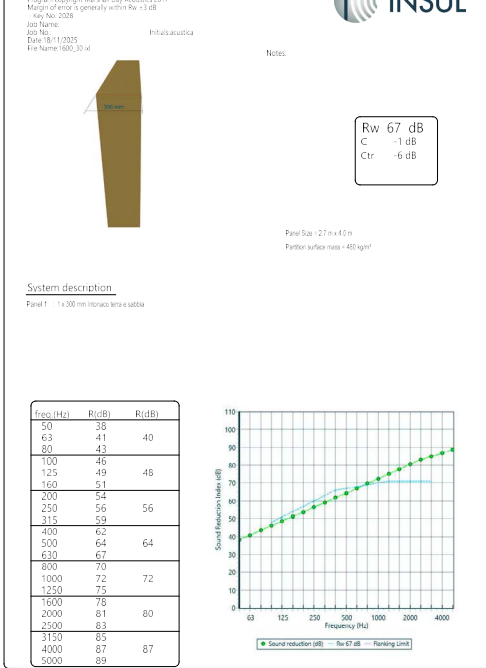
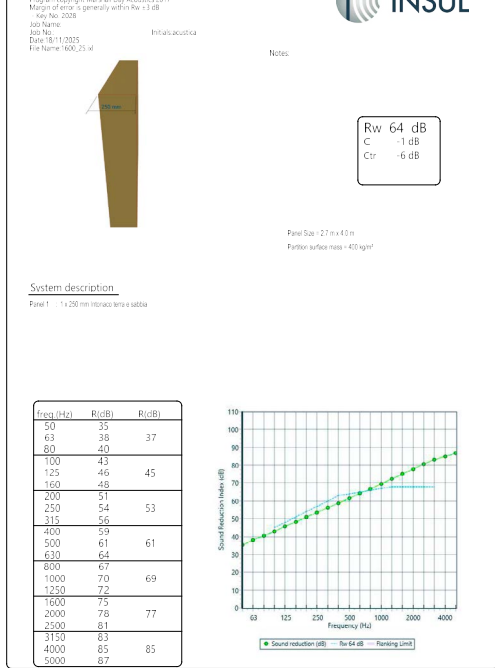
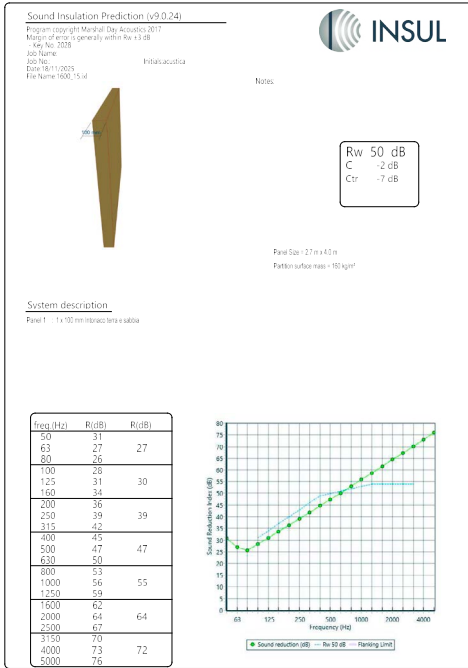
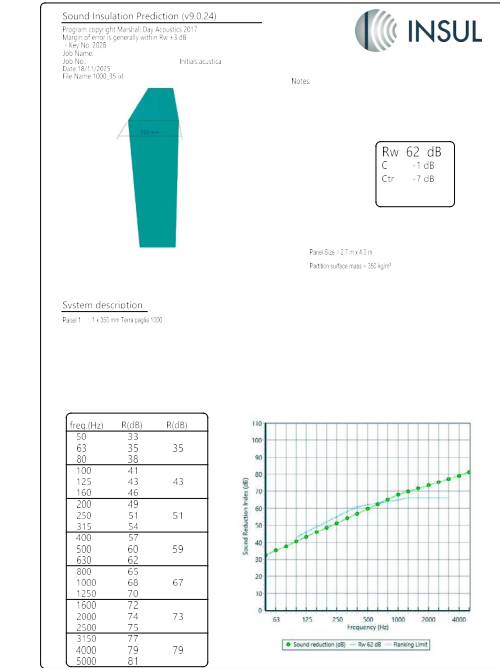
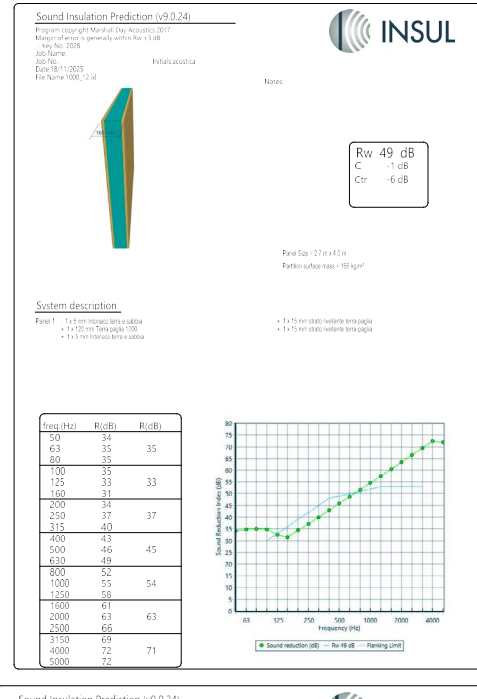
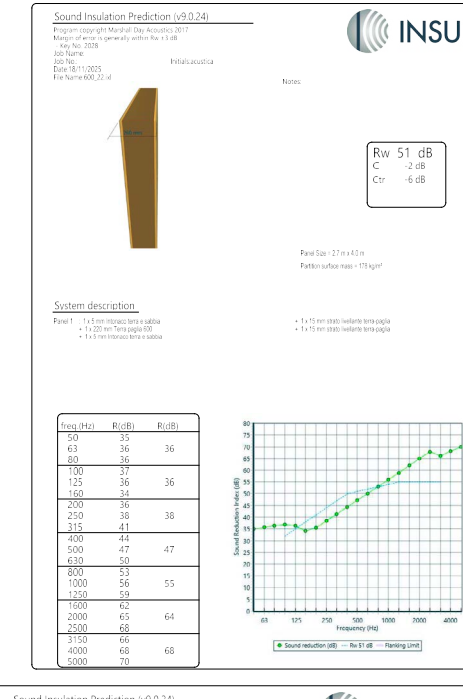
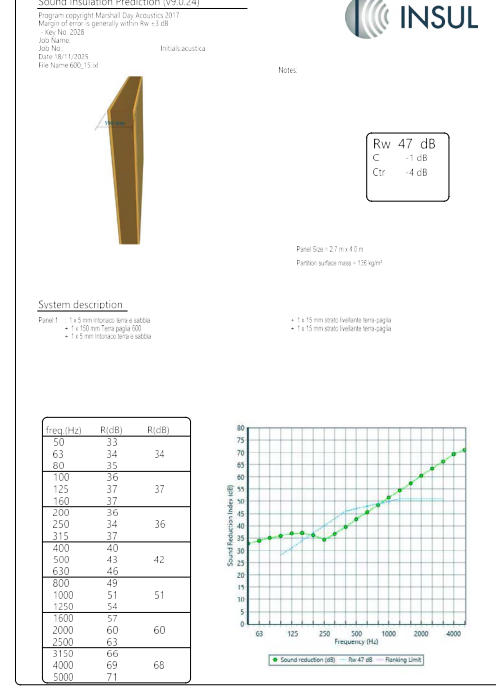
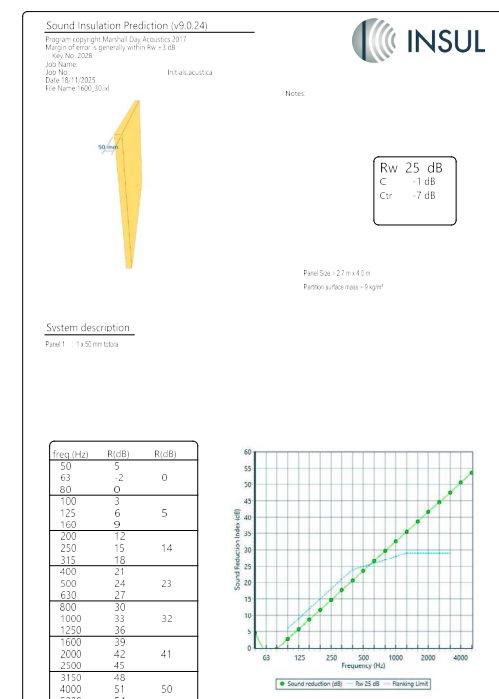
Panel 1 : 1 x 200 mm Terra paglia 1000

| freq.(Hz) | R(dB) | R(dB) |
|-----------|-------|-------|
| 50        | 34    |       |
| 63        | 33    | 31    |
| 80        | 29    |       |
| 100       | 32    | 34    |
| 125       | 35    |       |
| 160       | 37    | 34    |
| 200       | 40    |       |
| 250       | 43    | 42    |
| 315       | 46    |       |
| 400       | 49    |       |
| 500       | 51    | 51    |
| 630       | 54    |       |
| 800       | 57    |       |
| 1000      | 60    | 59    |
| 1250      | 63    |       |
| 1600      | 66    |       |
| 2000      | 68    | 68    |
| 2500      | 70    |       |
| 3150      | 72    |       |
| 4000      | 74    | 74    |
| 5000      | 76    |       |

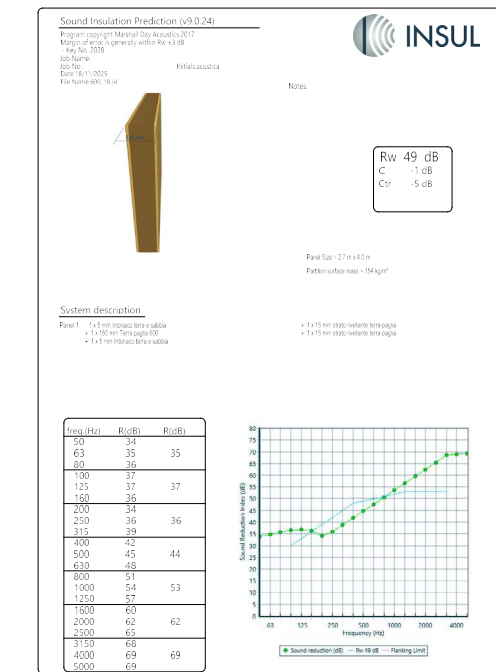
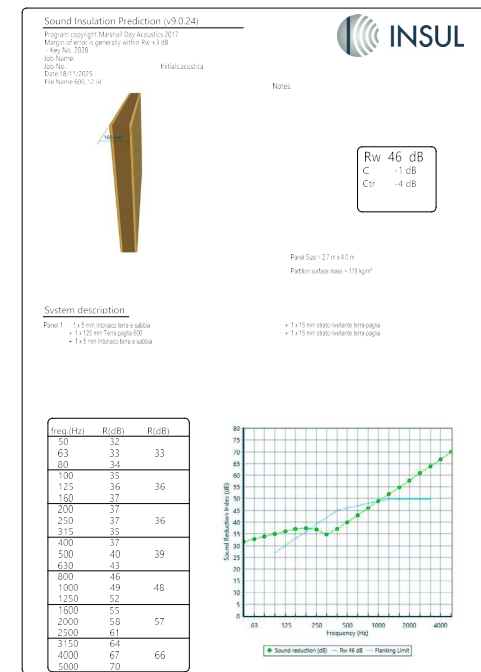




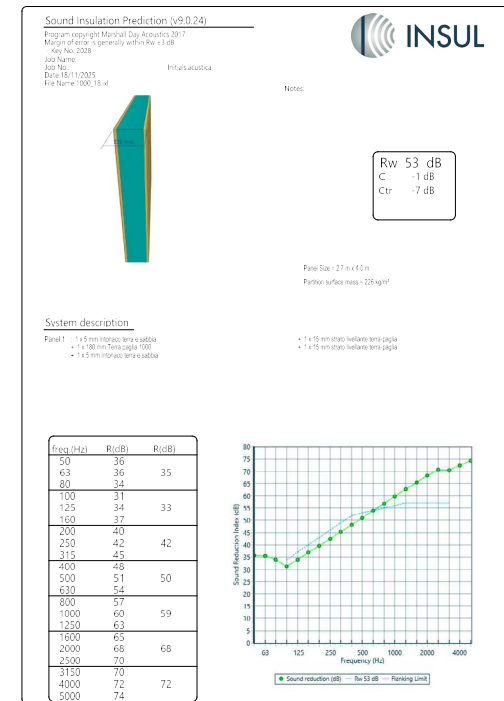
## Totora



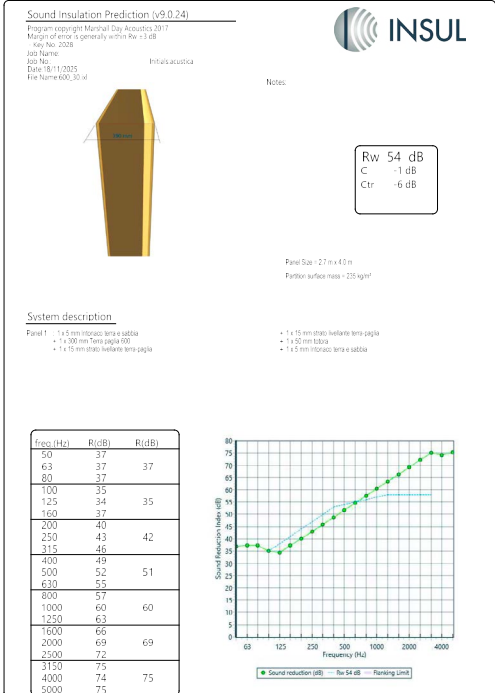
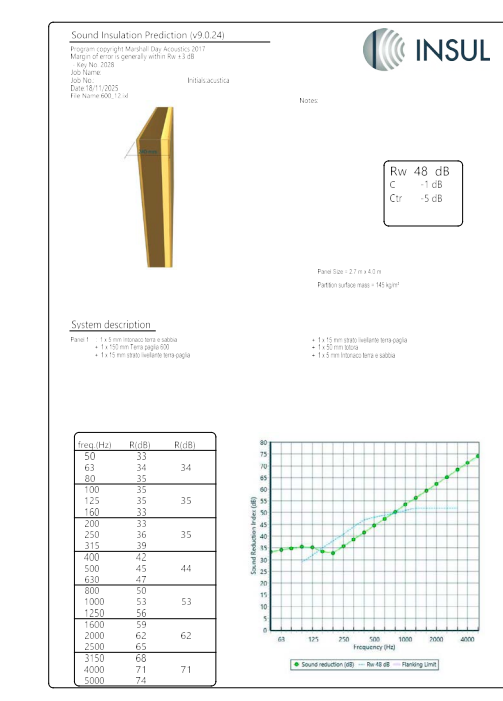
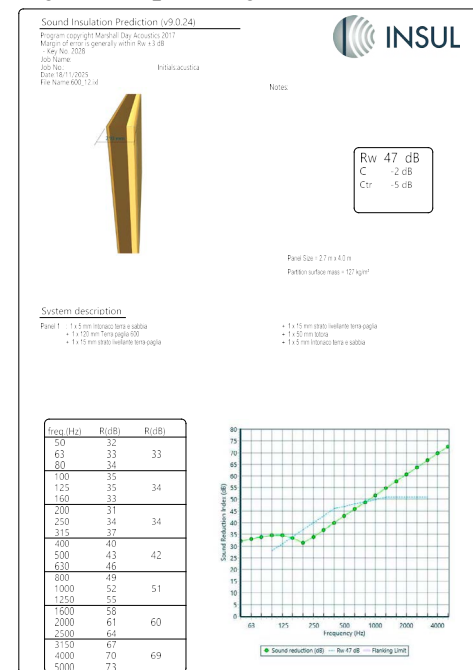
## stratigrafie senza totora \_ densità 600 kg/m³



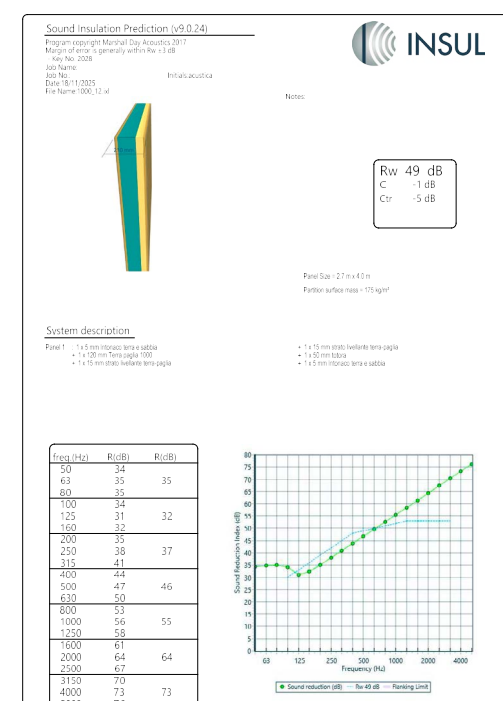




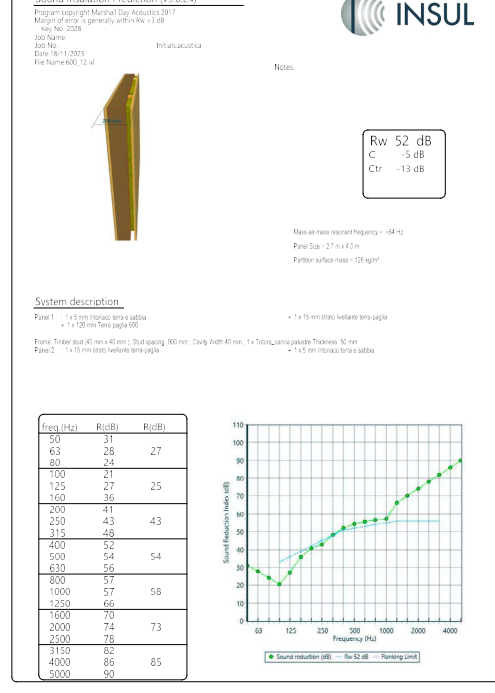
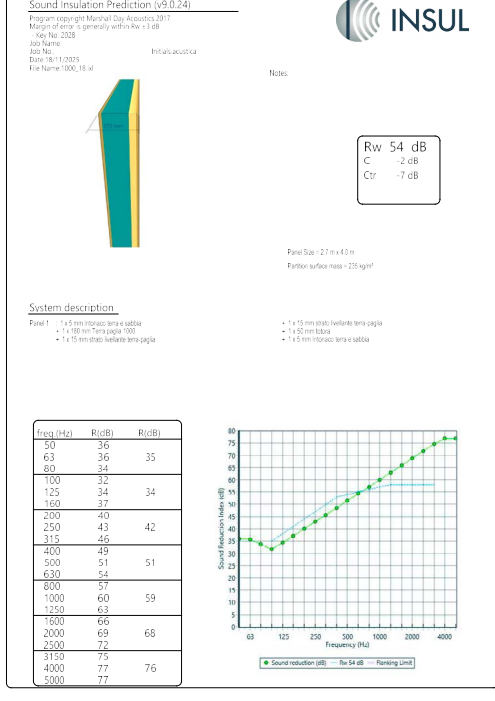
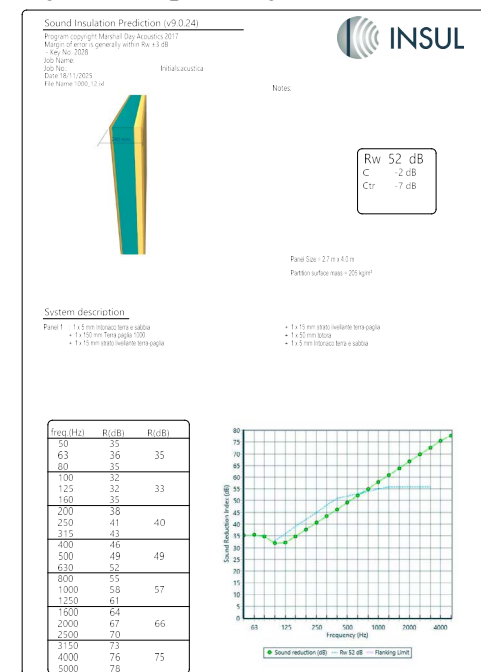
### stratigrafie con totora \_ densità 600 kg/m³



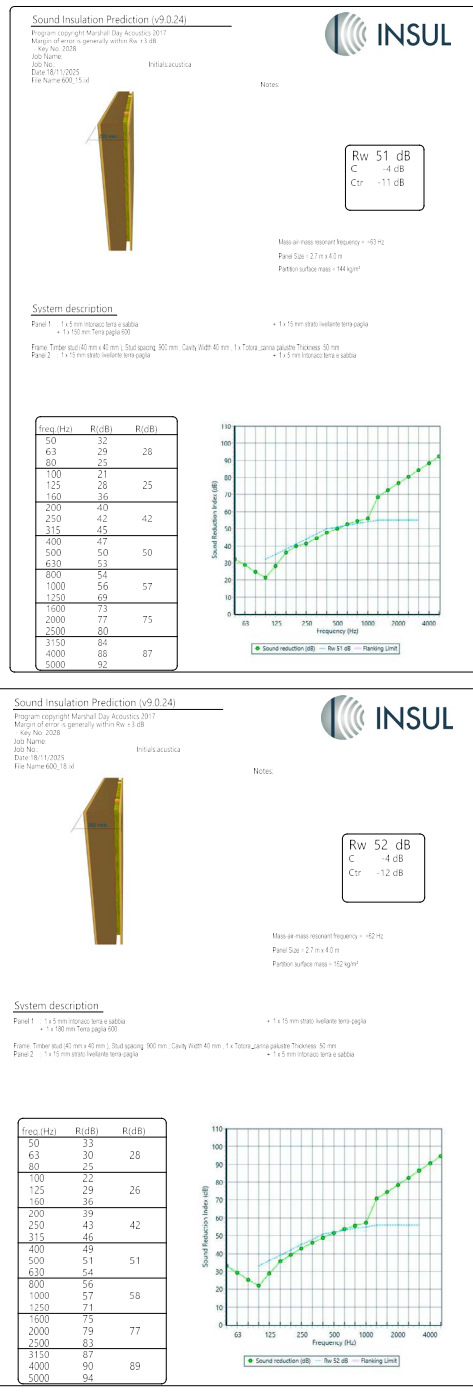
## Totora



### stratigrafie senza totora \_ densità 600 kg/m³



### stratigrafie senza totora \_ densità 1000 kg/m³



Totora da entrambi i lati

