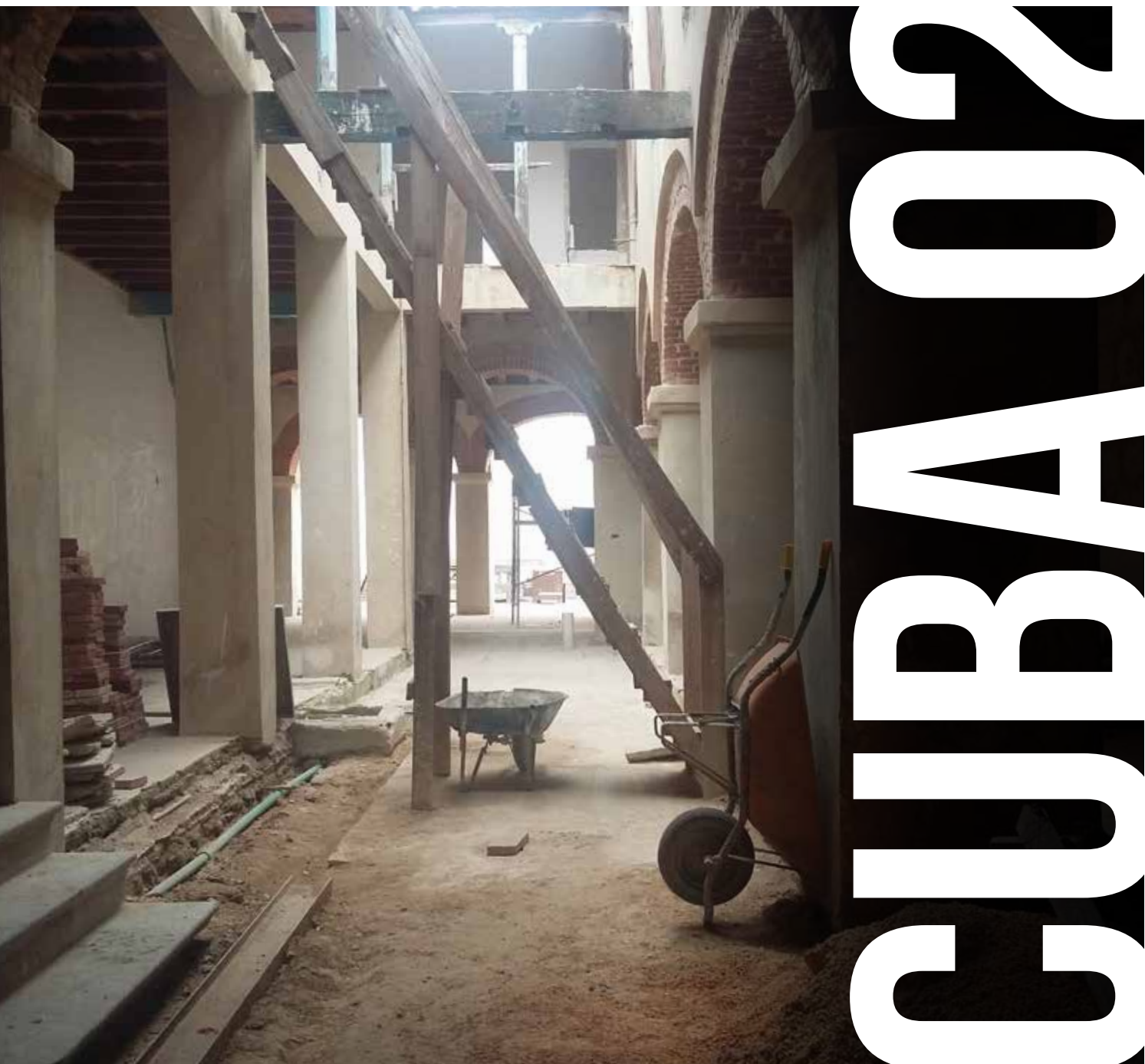


quaderni di assorestauro

# QD stories

# ESCUELA EN OBRA

AÑO 02 | ENERO 2017



assorestauro



CENTRO DE FORMACIÓN PARA LA RESTAURACIÓN Y EL DISEÑO

Calle de Sant Ignazio, Lhabana Vieja, Cuba



Quaderni di Assorestauro



CUBA 02  
AÑO 02 | ENERO 2017

edited by  
Andrea Grilletto  
Sonia Vallese

Graphic Project



Blumorgana | Viviana Maria Lucia Volpini  
[info@blumorgana.it](mailto:info@blumorgana.it)

© copyright 2016  
Assorestauro Servizi Srl

ISSN 2499-1864 (Print)  
ISSN 2499-1503 (Online)

# índice

---

Presentación MISE .....	pág. 4
Presentación ICE .....	pág. 4
Presentación AR .....	pág. 5

## PROYECTO

El proyecto REDI .....	pág. 10
------------------------	---------

## ESCUELA EN OBRA

### INTRODUCCIÓN

#### WSC: ¿cómo funcionan los QA Stories?

Andrea Griletto, Sonia Vallese   <i>Assorestauo</i> .....	pág. 19
---	---------

### COROLARIO

#### WSC1: el proyecto de conocimiento: análisis estructural

Alessandro Bozzetti   <i>Coordinador de Assorestauo</i> .....	pág. 20
---	---------

### TRABAJOS ACTUALES

#### WSC2: arqueología de la construcción. Estudio de los muros y de las estructuras horizontales y verticales.....

	pág. 21
--	---------

#### Introducción a la arqueología vertical

Roberta Cairoli   <i>Archeores</i> .....	pág. 22
--	---------

#### Análisis y estudio estratigráfico en los muros, enlucidos, y acabados de la superficie

Mariano Cristellotti   <i>Cristellotti &amp; Maffei</i> .....	pág. 28
---	---------

#### Química de materiales, introducción a las técnicas de análisis químico físico in situ y en laboratorio

Maria Elena Moschella .....	pág. 32
-----------------------------	---------

#### Servicios de diagnóstico para la selección de los materiales de restauración

Davide Bandera, Pedro Graniela   <i>Mapei</i> .....	pág. 38
---	---------

#### Básilica Superior de San Francisco de Asis. Asis.

Giuseppe Latte Bovio   <i>Boviar</i> .....	pág. 42
--	---------



## *Ministero dello Sviluppo Economico*

---

### **MISE** | Ministerio de Desarrollo Económico

Entre las funciones del Ministerio del Desarrollo Económico revisten una particular importancia las Políticas para la internacionalización de las empresas y la promoción en el extranjero de los productos italianos. En lo más específico se trata, entre otros temas, de políticas que se sustentan en: facilitación de los intercambios comerciales con el exterior (Trade Facilitation); directrices y propuestas de política comercial en el ámbito de la Unión Europea, acuerdos comerciales multilaterales y cooperación económica bilateral con Terceros Países; promoción de nuevas inversiones italianas en el extranjero y acciones para la atracción de nuevas inversiones extranjeras en Italia; activación de los mecanismos europeos de defensa comercial (instrumentos antidumping, antisubvenciones, cláusulas de salvaguardia).



### **ITALIAN TRADE AGENCY**

ICE - Agencia Italiana para el Comercio Exterior  
Oficina de la Embajada de Italia  
para la promoción del intercambio comercial

---

### **ICE** | Agencia para la promoción en el extranjero y la internacionalización de las empresas italianas

Agencia Italiana para el Comercio Exterior es la organización del Gobierno italiano que promueve la internacionalización de las empresas italianas, de acuerdo con las directivas del Ministerio de Desarrollo Económico, del Ministerio de Relaciones Exteriores y del Ministerio de Economía y Finanzas. La Agencia facilita las relaciones económicas y comerciales italianas con los mercados externos, con el fin de desarrollar la internacionalización de las empresas italianas, la comercialización de los bienes y servicios italianos en los mercados internacionales, y de promover la imagen del producto italiano en el mundo. La Agencia ofrece servicios de información, asistencia y consultoría a las empresas italianas que operan en el comercio internacional y promueven la cooperación en los sectores industrial, agrícola y agroalimentario, en la distribución y en el sector terciario, con la finalidad de incrementar la presencia de las mismas en los mercados internacionales. En su actividad, ICE-Agencia opera en estrecha colaboración con las regiones, la organización de las cámaras de comercio, las organizaciones empresariales y los otros sujetos públicos y privados interesados, dando un sentido de guía y dirección estratégica en materia de promoción y internacionalización de las empresas.

# assorestau<sup>ro</sup>

associazione italiana per il restauro architettonico, artistico, urbano  
 italian association for architecture, art and urban restoration

**ASSORESTAURO** | Asociación Italiana para la restauración arquitectónica, artística y urbana  
*Presidente:* Alessandro Zanini  
*Coordinación operativa:* Andrea Griletto | [andrea.griletto@assorestau<sup>ro</sup>.org](mailto:andrea.griletto@assorestau<sup>ro</sup>.org)

## ¿Quién es Assorestau<sup>ro</sup>?

Es la primera asociación italiana entre los productores de materiales, herramientas y tecnologías, y suministradores de servicios y empresas especializadas, nacida en 2005 para representar el sector nacional de la restauración y la conservación del patrimonio material. Assorestau<sup>ro</sup> es el punto de referencia nacional e internacional para aquel que desee afrontarse al mundo de la conservación italiana, entendida en el modo más amplio posible, como síntesis de las más variadas disciplinas que en ella convergen, de profesionalidades especializadas, de tecnologías y un creciente espíritu empresarial. Un sector que, si se analiza en su totalidad, representa un fuerte componente de mercado y tiene importantes influencia en el sector turístico, industrial y bio/edilicio.

## ¿Cuáles son los objetivos de Assorestau<sup>ro</sup>?

Como representantes de productores de materiales, herramientas, tecnologías, empresas especializadas, proyectistas y suministradores de servicios para el análisis, levantamiento y divulgación del sector de la restauración, Assorestau<sup>ro</sup> otorga a las empresas asociadas los servicios de información, asistencia, asesoría y formación ya sea de forma directa o a través de sus socios, con el fin de dar coherencia y unidad a las diversas almas del sector a nivel nacional e internacional.

Como Asociación de Categoría Nacional para el sector de la Restauración, Assorestau<sup>ro</sup> coordina, tutela y promueve los intereses del sector productivo de competencia y representa, en Italia y el extranjero, las posiciones comunes en plan técnico, económico y de imagen, a través de actividades enfocadas al ámbito de los objetivos de encuadramiento del sector, información y comunicación, tutela de los intereses (en plano económico, de imagen, de evolución normativa del sector), investigación, desarrollo y promoción.

## ¿Qué cosa hace Assorestau<sup>ro</sup>?

Las finalidades asociativas se vuelven explícitas a través de múltiples actividades que promueven la profesionalidad en el sector de la restauración, de la fase diagnóstica y proyectual hasta la ejecución en obra, pasando por la producción de tecnologías y materiales, aún con fuertes connotaciones tecnológicas de innovación, y con el soporte de Instituciones, Universidades, Organismos de Tutela de Bienes Culturales y el ICE Agenzia para la promoción en el extranjero y la internacionalización de las empresas italianas.

Entran en esta tipología de acción las actividades promocionales nacionales (convenios y seminarios formativos, ferias del sector, cursos y otros similares), e iniciativas promocionales y de imagen en términos internacionales (misiones al extranjero, formación, encuentros b2b, obras de restauración) que ven en primera fila las empresas asociadas, a las cuales se les ofrece la oportunidad de internacionalización y estudio de mercados extranjeros a través de proyectos cofinanciados por entes nacionales e internacionales.



## TEAM

*Financiator*  
**MISE** | Ministero de Desarrollo Económico



*Ministero dello Sviluppo Economico*

*Actuador*  
**ICE** | Agencia para la promoción en el extranjero y la internacionalización de las empresas italianas



**ITALIAN TRADE AGENCY**  
ICE - Agencia Italiana para el Comercio Exterior  
Oficina de la Embajada de Italia  
para la promoción del intercambio comercial

*Socios Cubanos*  
**OHC** | Oficina del Historiador de la Ciudad de La Habana



*Socios Operativos*

**ASSORESTAURO** | Asociación Italiana para la restauración arquitectónica, artística y urbana  
Presidente: Alessandro Zanini  
Coordinación operativa: Andrea Griletto | [andrea.griletto@assorestauoro.org](mailto:andrea.griletto@assorestauoro.org)

**FEDERLEGNOARREDO** | Federación italiana de la industria de madera y muebles  
Presidente: Roberto Snaidero  
Coordinación operativa: Francesco Baudassi | [francesco.baudassi@federlegnoarredo.it](mailto:francesco.baudassi@federlegnoarredo.it)  
Concept design: Iris Keci | [iris.keci@federlegnoarredo.it](mailto:iris.keci@federlegnoarredo.it)

**GBC ITALIA** | sostenibilidad y certificación ambiental



# EMPRESAS PARTICIPANTES

## PROYECTO FUNCIONAL

- EDILTECNICA** | coordinación del proyecto
- AERMEC** | máquinas de enfriamiento para climatización
- BOSSONG** | sistemas de fijación y consolidación
- GEOGRA** | levantamiento con escáner láser y modelado 3D
- GIUWAL GLASS** | puertas y cerramientos (ventanas) internas
- IGUZZINI** | elementos eléctricos y cuerpos de iluminación
- ITALSERRAMENTI** | cerramientos (ventanas) externos
- KME** | cables de aislamiento mineral
- MSC AGENZIA MARITTIMA LE NAVI S.P.A.** | vectores para transportes marítimos
- OCEAN SPED** | expedición Internacional
- OCM CLIMA** | canalización y tuberías para la instalación de climatización
- PIMAR** | estructuras de piedra
- REALE RESTAURI** | restauración de los sistemas de iluminación históricos
- SISTEM COSTRUZIONI** | estructuras en madera laminar
- STONE PINE** | instalación fotovoltaica.
- STUDIO AERREKAPPA** | instalaciones y domótica
- STUDIO TECNICO P.D.M. PROGETTI** | proyecto de instalaciones de climatización ambiental
- VIMAR** | elementos técnico-eléctricos y domótica

## CAPACITACIÓN

- AIRES** | análisis diagnóstico-cognoscitivo estructural
- ARCHEORES** | estudio estratigráfico del edificio
- CRISTELLOTTI E MAFFEIS** | coordinación de las actividades de restauración
- LEGNODOC** | inspección de estructuras de madera en obra
- MAPEI** | materiales para restauración
- STUDIO SPC ENGINEERING** | consolidación estructural

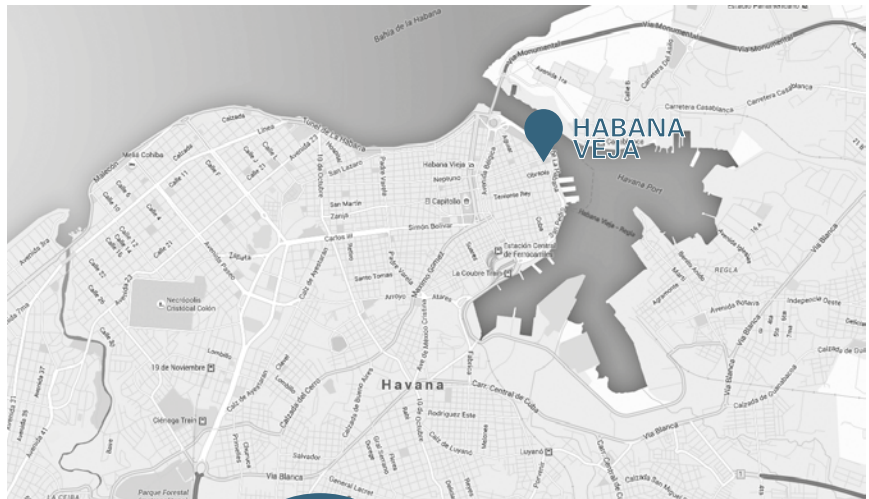
## DISEÑO DE INTERIORES

- ALIAS** | suministro de mobiliario para el área de co-working
- DRIADE** | suministro de mobiliario de estancia para el área de recepción
- FANTONI** | mobiliario de mostradores
- FONTANARTE** | suministros de iluminación decorativa
- LAGO** | mobiliario de cocina
- KARTELL** | suministro de mobiliario de exteriores para patio externo.
- MAGIS** | suministro de mobiliario del aula magna
- MANERBA** | suministro de mobiliario de oficina.
- MOROSO** | suministro de mobiliario de estancia para el área de recepción
- TECNO** | suministro de mobiliario para biblioteca y mediateca
- WAY** | escritorio de recepción y estructuras de exposición.



## LOCALIZACIÓN

REPÚBLICA DE CUBA | La Habana





# EL EDIFICIO | ESTADO ACTUAL

**CALLE SAN IGNACIO** | levantamiento arquitectónico y trabajos de restauración



# PROYECTO



Coordinador operativo  
Andrea Griletto

# El Centro de Formación para la Restauración y el Diseño

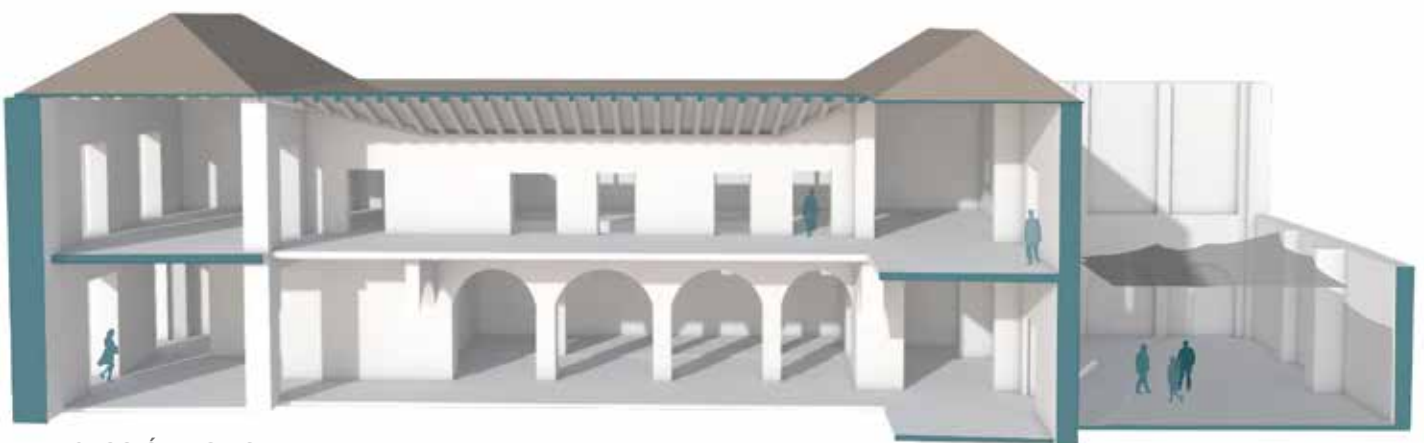
## CONCEPT

El Centro REDI, es un espacio dedicado a la cooperación italo-cubana en el campo de la restauración y el diseño, fruto de un acuerdo entre el Ministerio Italiano para el Desarrollo Económico y la Oficina del Historiador de La Habana Vieja, aprobado por el MINCEX (Gobierno de Cuba).

El fulcro de esta cooperación es la restauración del edificio situado en la Calle de San Ignacio en el corazón de la Habana Vieja que, desde las primeras fases operativas de análisis del estado actual, se colocó como un terreno común para el intercambio de conocimientos y técnicas entre ambas partes.

El proyecto es una fusión de distintos lenguajes y metodologías que integra el trabajo de los profesionistas cubanos que se ocupan de la restauración de las superficies y de los acabados y el aporte del grupo italiano que se encarga del proyecto tecnológico y funcional. El resultado es un edificio híbrido que conserva el alma y las tradiciones cubanas, pero al mismo tiempo, está equipado y funciona como un sistema moderno y eficiente.

El centro REDI se convertirá en los próximos 3 años en un espacio de intercambio y formación proyectado para recibir diferentes funciones.



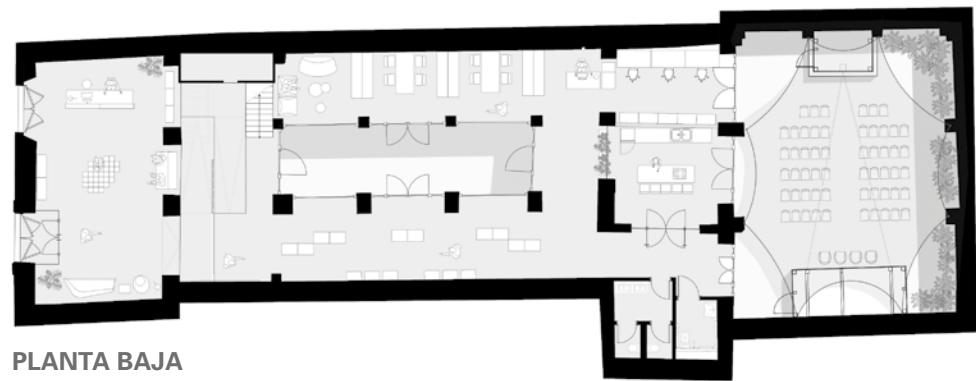
SECCIÓN LONGITUDINAL

## LAYOUT

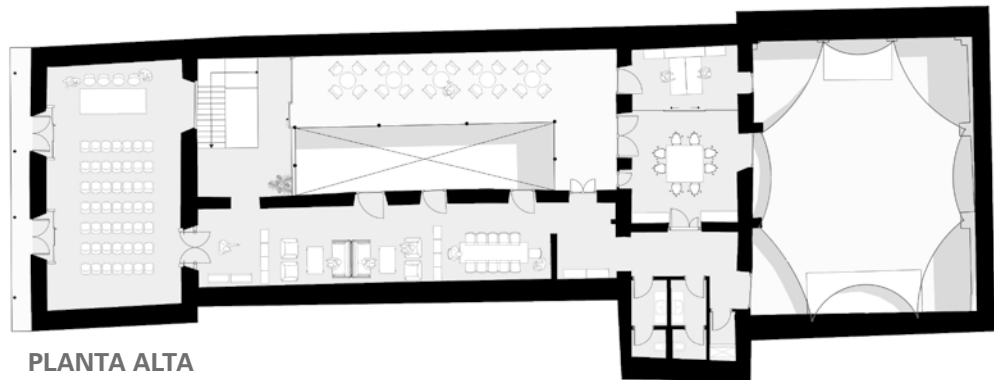
La planta baja de vocación pública, que comunica directamente con el tejido histórico de la Habana Vieja, está dedicada a la recepción del público. Los espacios en su interior se desarrollan entre áreas expositivas y multifuncionales pensadas para valorizar las excelencias en el campo de la recalificación urbana, del diseño, del proyecto de interiores y muchas otras disciplinas de punta del Made in Italy. El patio trasero, lugar que identifica a las casas coloniales, se rediseña convirtiéndose en un espacio de encuentro dedicado a las conferencias al aire libre y la proyección de películas patrocinadas.

La planta alta, de vocación privada, está dedicada al trabajo de las empresas italianas que quieren estar presentes en el mercado local y al intercambio técnico entre expertos cubanos e italianos en temas de restauración y diseño. En su interior se ha proyectado una gran sala de conferencias con vista a la Calle San Ignacio para las actividades formativas y de intercambio, y una amplia área de co-working, núcleo del edificio.

### PLANTA DE LOS INTERIORES



PLANTA BAJA

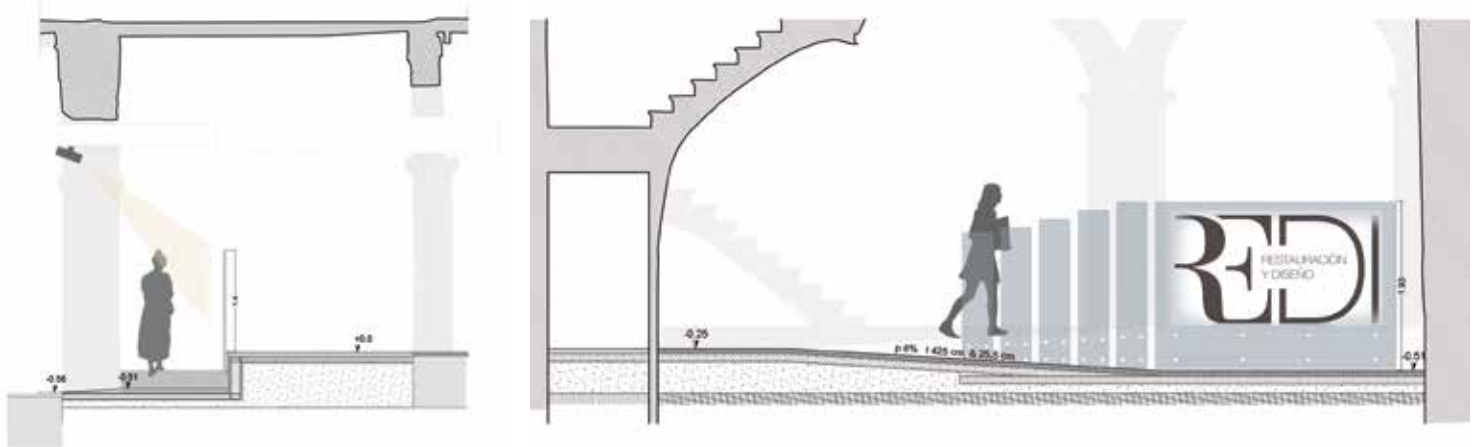


PLANTA ALTA

### COCINA Y EVENTOS.

Área dedicada a la cocina, eventos de comida, clases con temática de cocina y cocina en vivo.





## LA NUEVA RAMPA Y BALAUSTRADA.

Sección  
transversal y  
sección  
longitudinal.

## DESARROLLO DEL PROYECTO

Una vez terminado el proceso del proyecto definitivo, concordado con los técnicos cubanos de la OHcH, se continuó con desarrollo del proyecto ejecutivo. Este trabajo nos llevó a la elaboración de elecciones proyectuales detalladas que profundizaron en el análisis de lo ya existente, incluso a través del ciclo de talleres llevados a cabo en julio de 2016, y con la realización de todos los elementos gráficos de detalle típicos de los proyectos ejecutivos necesarios para la fase de obra.

El proyecto ejecutivo profundiza, con detalles hasta escala 1:10, ideas provenientes de diversos campos.

El suministro de ventanas, puertas internas y demás cerramientos, el estudio lumínico y el acondicionamiento, los detalles constructivos de elementos arquitectónicos como la rampa para discapacitados y la dotación tecnológica, han llegado a crear una propuesta única, coherente y funcional, gracias al trabajo de coordinación de Assorestauo, al compromiso de las empresas italianas participantes y al continuo intercambio con proyectistas cubanos.

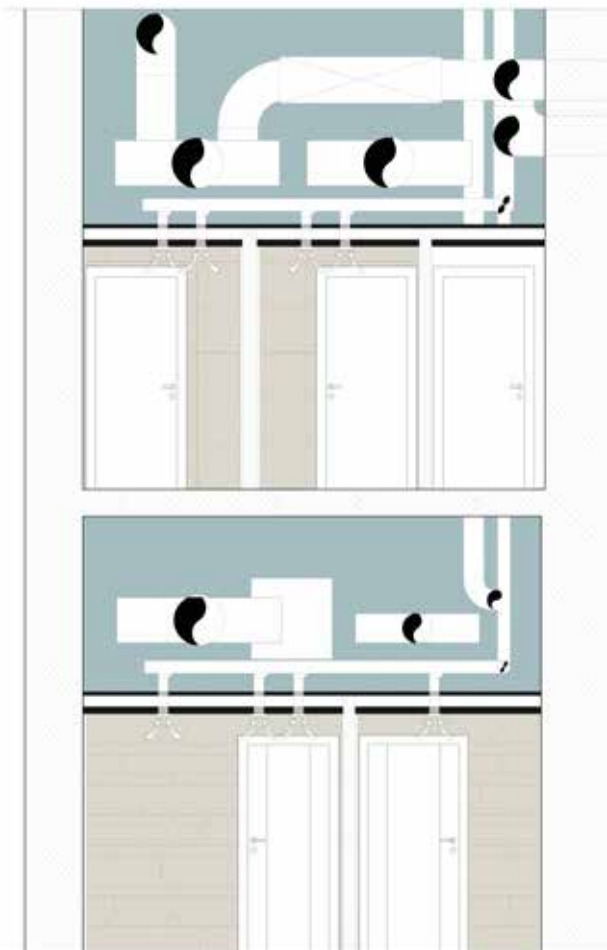
Respecto al proyecto definitivo, publicado en el n. 1 de la revista QA Stories dedicada al proyecto, se han realizado algunas modificaciones y adecuaciones inevitables una vez que se llega a una mayor escala de detalle.

## MEJORAMIENTO FUNCIONAL

Volver funcional de nuevo un edificio representa comprender su carácter original, declinándolo en forma adecuada y funcional a los nuevos usos. La instancia de imaginar un edificio que, al menos en planta baja, fuese accesible incluso a personas con discapacidades, en conformidad con los nuevos estándares de accesibilidad, nos llevó a tomar en consideración el hecho de que el levantamiento altimétrico evidenció la presencia de distintos niveles en planta baja, con cambios de cota que hacían difícil el buen funcionamiento de los espacios. En correspondencia con el ingreso se quiso rediseñar el pasaje del Hall al resto de los espacios interiores mediante una rampa que funge como elemento de separación. La importancia que asume este nuevo elemento fue amplificada por la particular inserción de una balaustrada traslucida sobre la cual se proyectarán imágenes evocativas a las actividades que se desarrollan dentro del centro REDI. Creando un cono óptico que será visible incluso por quienes caminan por la Calle de San Ignacio.

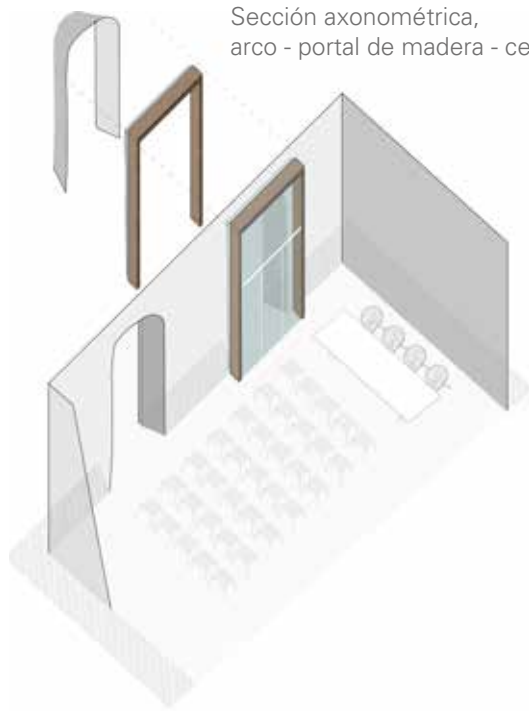


PLANO DE  
LOS BAÑOS  
con iluminación  
integrada



SECCIÓN DE  
LOS BAÑOS  
CON ESPACIOS  
TÉCNICOS

La accesibilidad, además está garantizada por la presencia de un baño dedicado a discapacitados en planta baja. El rediseño de los baños nos brinda también la ocasión de crear espacios técnicos y buhardillas escondidos por nuevos falsos plafones, que contienen el corazón tecnológico del edificio que se manifiesta en los demás ambientes, a través de canales de distribución que, aprovechan las distintas alturas del edificio, y crean un juego arquitectónico dialéctico con el existente.

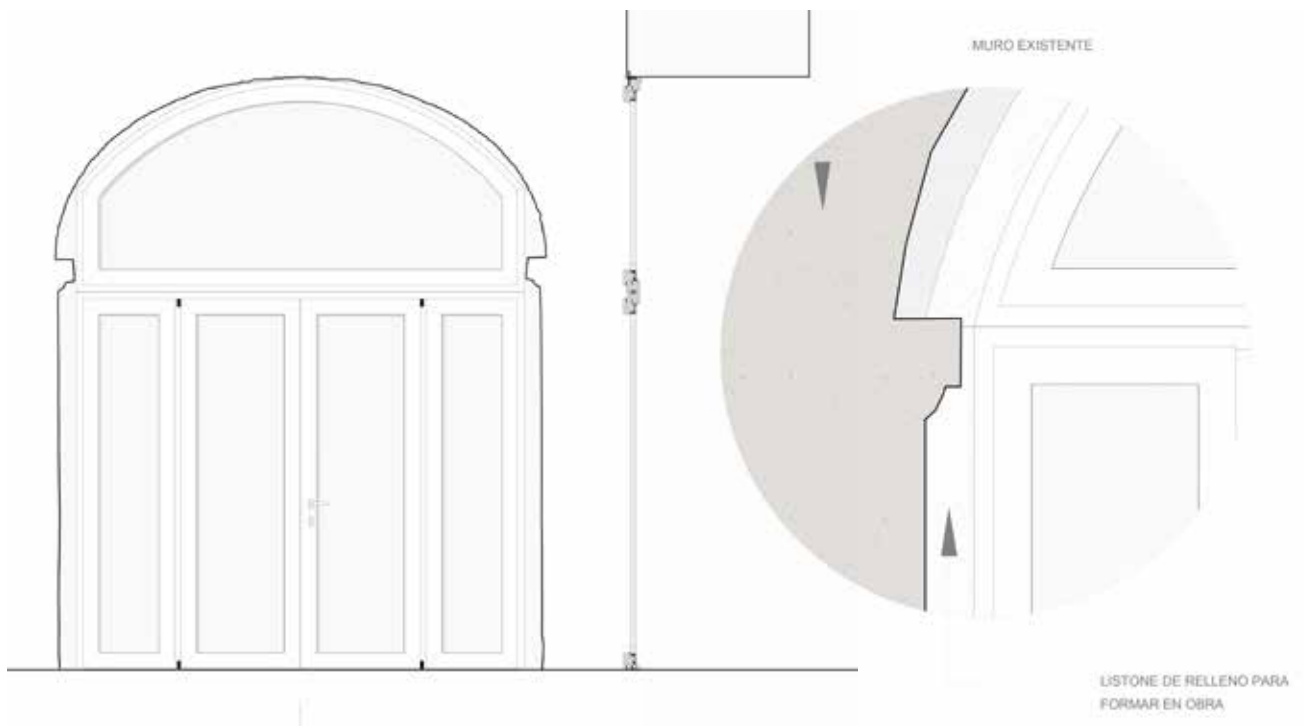


Sección axonométrica, arco - portal de madera - cerramiento



Detalle de la ventana tipo Allegri, Italserramenti

Ejemplo de inserción de un cerramiento tipo arco. Listón de relleno a formar en obra



## MEJORAMIENTO DE RENDIMIENTO

La contribución italiana al proyecto se enfocó además en el uso de nuevos materiales y tecnologías que pudiesen aumentar la capacidad de rendimiento energético del edificio. La hibridación entre los nuevos elementos del edificio fue un punto clave para la redacción del proyecto ejecutivo. En el caso de los nuevos cerramientos, gracias al preciso levantamiento de los paramentos se descubrió una tendencia irregular en el desarrollo de los vanos que requirió particulares habilidades al momento de insertar los nuevos elementos transparentes. Un objetivo que se había propuesto desde el inicio era el de alcanzar a respetar el carácter del edificio, conservando lo más posible, su originalidad, en este caso el perfil del vano fue dejado intencionalmente irregular y en su interior se colocó, mediante un sistema de montantes de relleno, su nueva ventana o cerramiento.

La integración de estos nuevos cerramientos se dio también mediante la elección de madera lacada blanca como material del perfil externo en cuyo interior se expuso un sutil perfil de aluminio que contiene una doble cámara de vidrio a alto rendimiento que mantiene el confort térmico interior incluso en las estaciones más calurosas.

La instalación de acondicionamiento de aire es de tipo a expansión directa una tecnología reciente, conocida como a volumen de refrigerante variable, que utiliza uno de los gases más ecológicos del mercado. El sistema de canalización se expande a lo largo de toda la planta del edificio, alcanzando cada espacio individual. Los cuerpos refrigerantes se insertaron en el contexto del traspatio, encerrándoles en elementos encajonados que los vuelven parte del ambiente exterior.

La disposición y las cotas de los canales fueron estudiadas de manera tal que no interfiriesen con los espacios y el carácter original de los interiores, los conductos de aire asumen pues una función de elemento arquitectónico que, por vez primera, se lleva a cabo en la recuperación de un edificio histórico en cuba.

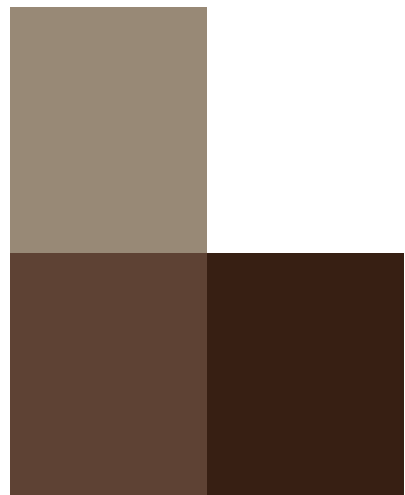
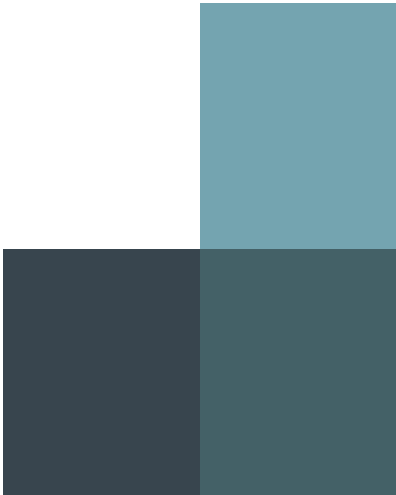
Vista de la entrada  
y el vestíbulo





## SUPERFICIES Y ESTRUCTURAS

**CALLE SAN IGNACIO** | superposición y materiales



# ESCUELA EN OBRA



Autor  
Andrea Griletto  
Sonia Vallese  
Assorestauro

<sup>1)</sup> WSC: Workshop Cuba, con la adición de una numeración progresiva para indicar la secuencia de las diez sesiones programadas.

# WSC<sup>1</sup>: ¿cómo funcionan los QA Stories?

Una de las columnas principales de la operación de Assorestauro es la continua formación e intercambio de las relaciones internacionales. De ello nace la idea de crear junto a nuestros colaboradores cubanos una serie de encuentros durante toda la duración de la obra, que puedan hacer paralelo el trabajo de obra y el de información e investigación. En este modo pensamos que es posible consolidar un lenguaje común y dar significado profundo al intercambio de materiales y estudios innovadores provenientes de Italia.

Juntos hemos organizado 10 encuentros temáticos que acompañaran paso a paso la realización práctica del proyecto. Para divulgar este intercambio, Assorestauro, ha decidido publicar los encuentros dentro de la revista QA Stories dedicada al proyecto Cuba, que no será solo un instrumento de descripción de los talleres, sino que sustancialmente será una referencia futura para informarse sobre la aplicación de los estudios llevados a cabo en el edificio de la Calle San Ignacio y del proceso y las metodologías de restauración aplicados.

Cada encuentro tratará un tema distinto, unido a la recuperación de los edificios históricos, y de igual manera, cada número de la revista QA Stories CUBA, publicado antes de cada encuentro, contendrá artículos de los expertos participantes, que introducirán de forma técnica el nuevo tema, seleccionando al mismo tiempo los resultados y conclusiones de los encuentros precedentes. Así, cada publicación estará unida a la anterior generando un recorrido único de los trabajos que hemos realizado juntos.



Inauguración del primer taller (Workshop) en julio 2016 a cargo del Vice-Ministro del Desarrollo Económico Ivan Scalfarotto

Coordinador  
de Assorestauro  
Alessandro Bozzetti

# WSC1: el proyecto de conocimiento: análisis estructural

El taller sostenido en el mes de julio de 2016, “El proyecto de conocimiento: análisis estructural”, tenía como objetivo principal el conocimiento de las características del estado actual de las estructuras que componen el edificio de la Calle San Ignacio 314. Las 2 jornadas de trabajo se desarrollaron, ante todo, con una fase explicativa y de presentación de las metodologías de análisis, entre ellas el análisis de Microsismos, un instrumento particular que estudia las vibraciones de un edificio, derivadas del rumor sísmico ambiental y que permite conocer las frecuencias modales del edificio mismo. En la segunda fase se ejecutaron 2 pruebas prácticas:

**La Prueba de Carga:** el análisis (foto 1) se desarrolló mediante pruebas de carga sobre un elemento de madera posicionado en extensómetros eléctricos, 4 pistones anclados a tierra que muestran el desplazamiento a milésimas de milímetro. Sobre la viga de madera, modelo de estudio equivalente a las presentes en el edificio, se agregaron cargas para comprender la deformación del material. De ello resultó un valor de carga máximo de 400 kg/m<sup>2</sup>, valor para el cual el material permanece en su campo elástico, regresando, una vez removida la carga, a su configuración geométrica original.

**Penetrómetro:** instrumento con el fin de sondear la estructura y la resistencia a penetración de los materiales. El acercamiento (foto 2) permitió conocer la velocidad de penetración de la punta del instrumento en la madera, midiendo así la cohesión del material y alcanzando a entender cualitativamente la deformidad o defectos del material. Finalmente, gracias a los análisis a calculadora se creó un modelo matemático, con el objetivo de simular un resultado realístico del comportamiento estructural, comparando las cargas verticales con las acciones horizontales. El modelo, unido a los análisis precedentes, ayudó a generar un cuadro confiable del estado actual de las estructuras existentes. De este modo se pudo hacer una intervención menos invasiva y más idónea a la restauración del edificio. **Las pruebas de carga y penetración, describieron las estructuras de madera y nos permitieron hacer un proyecto más puntual, proyectando en modo eficiente las soluciones de puesta en seguridad necesarias.**





16-17 FEBRERO 2017

## WSC2: arqueología de la construcción

*Estudio de los muros y de las estructuras horizontales y verticales*

Autor  
Roberta Cairoli

**archeoRes**  
archeologia e restauro

info@archeores.it  
www.archeores.it

# Introducción a la arqueología vertical

*Análisis de los procesos constructivos  
del complejo arqueológico del Cunicolo  
di Claudio del Emissario del Fucino<sup>1</sup>*

En Italia, todo proyecto de restauración serio y atento de bienes inmuebles sujetos a tutela del Estado no puede prescindir del análisis de los procesos constructivos, ya que estos análisis son operaciones absolutamente necesarias para el conocimiento del monumento desde el punto de vista histórico-arquitectónico y estructural, así como en el uso de materiales y su comportamiento mecánico.

De hecho, la lectura estratigráfica de los levantamientos permite individuar y colocar en secuencia cronológica todas las intervenciones hechas sobre el edificio examinado en términos de construcción/demolición, integración/reconstrucción, reutilización de los materiales/ampliación, abandono/reajuste, buscando siempre entender las posibles razones, y si estas están unidas a intervenciones de mantenimiento o surgen como consecuencia del degrado o inestabilidad natural, y todas las fases de uso intermedias con los eventuales cambios de destinación de uso del inmueble.

Esta lectura estratigráfica de los levantamientos puede ser realizada mediante procesos de documentación fundamentales, como el levantamiento y la restitución fotográfica de los paramentos murales con técnica de foto-rectificación que permiten registrar las diversas técnicas constructivas empleadas y la progresión de la construcción, contribuyendo a brindar información preciosa que puede ser utilizada para la planeación de las posibles intervenciones de restauro.

1. Emissario Fucense,  
Cunicoli di Claudio,  
vista total del Cunicolo  
Mayor.



## 2. Emissario Fucense, Cunicoli di Claudio, vista total del Cunicolo Mayor

<sup>1)</sup> Esta relación es la síntesis de una contribución más profunda y orgánica (a la cual haremos referencia para la información detallada, las secuencias estratigráficas y la bibliografía), cuyo fin es poner las bases para un acercamiento de tipo analítico, lo más objetivo posible, de los procesos de fundición y de las técnicas puestas en obra del complejo original de la obra hidráulica de época romana y de las fases de repriminación: CAIROLI R.-TORRIERI V.- S. AGOSTINI, pp. 214-233.

<sup>2)</sup> Plinio, Nat. Hist., XXXIII, 63; XXXVI, 124; Suet., De Vita Caesarum, V, XX, XXI, XXII; Tac., Ann., XII, 56 e 57; Dione Cassio, LX 11, 5; LXI 33, 3-4.

<sup>3)</sup> Tac., Ann., XII, 52; Suet., V, XX.

<sup>4)</sup> CIL, IX, 3912; sulla datazione vedi D'Amato S., Il primo prosciugamento del Fucino Avezzano 1980, p. 97 ss..

<sup>5)</sup> Letta c., I Marsi e il Fucino nell'antichità, Milano 1973; Brisse A. - De Rotrou L., Prosciugamento del Lago Fucino fatto eseguire da Sua Eccellenza il Principe Alessandro Torlonia, Roma 1883, p. 246; D'Amato S., op. cit., p. 107 ss..

<sup>6)</sup> Spaziano, Adriano, XXII, 12.

<sup>7)</sup> CIL, IX, 3887.

<sup>8)</sup> La inscripción, a la época de los trabajos de Torlonia fue llevada al Museo de Nápoles, después se perdió; Brisse A. - De Rotrou L., op. cit., pp.49-50.

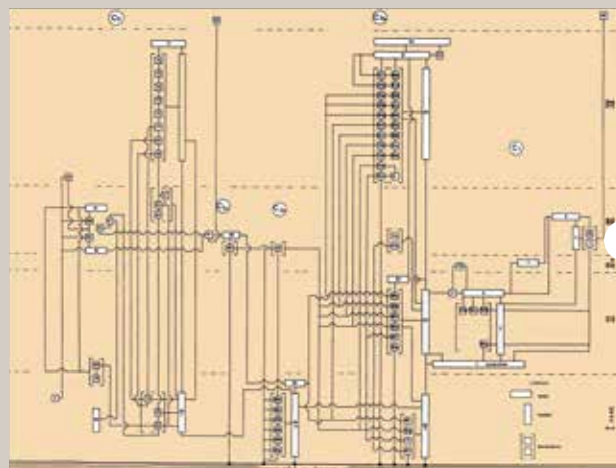
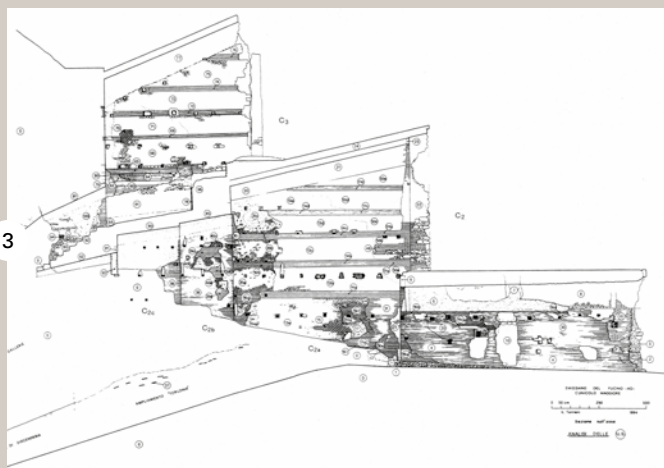
<sup>9)</sup> Los estudios de Carlo Giraudi del Enea han demostrado que en el tardo imperio romano el canal a cielo abierto se dividió en dos secciones de dos fallas provocadas por un fuerte terremoto: la falla más dentro del lago provocó una contrapendiente sobre el canal en dirección a Pescina, causando el lento encubrimiento del mismo. La fecha del terremoto fue precisada por Letta para quien el terremoto que determinó el final del funcionamiento regular del emisorio romano se data entre el 362 y el 380 d.C..



El presente estudio de estratigrafía mural se efectuó en el complejo de ruinas conocido como el "Cunicolo di Claudio" (Galerías subterráneas de Claudio) que formaba parte del grandioso sistema de ingeniería hidráulica realizado en época romana para permitir la regularización de las aguas del antiguo lago Fucino (en Abruzzo, centro Italia), que por su extensión, en algún momento fue el tercer lago más grande de Italia, para recuperar grandes porciones de territorio para fines agrícolas.

Las fuentes históricas<sup>2</sup> nos informan que los trabajos de realización del Emissario Fucense se comenzaron en el 41 d.C. por el Emperador Claudio y terminaron once años después, en el 52 d.C.<sup>3</sup>; una inscripción en honor de Trajano<sup>4</sup>, nos habla de una intervención de repriminación ordenada por el Emperador, que para algunos estudiosos, se habría limitado a pocas acciones de leve entidad, mientras Spaziano sostiene que el Emperador Adriano *Fucinum lacum emisit*<sup>6</sup>. No tenemos más noticias deducibles de las fuentes históricas acerca de las intervenciones realizadas en las instalaciones del *Emissario* por parte de los sucesores de Adriano, pero es cierto que, al menos hasta el siglo IV d.C., se ejecutaba un control imperial directo, como lo testimonia la inscripción del *procurator Onesimus*<sup>7</sup> que se hacía cargo del control y el mantenimiento del *Emissario*, fechado por Brisse y pr De Rotrou justo en este ámbito cronológico;<sup>8</sup> en el tardo imperio, en la segunda mitad del siglo IV, la Marisca fue atacada por un terrible terremoto que provocó el cierre del *emissario* romano del *Fucino*<sup>9</sup>. Un edicto de los años 1239-40<sup>10</sup> parece testimoniar obras de mantenimiento que fueron realizadas por el Ing. Afan De Rivera, quien trabajando entre el 1826 y el 1835 en la limpieza del *Emissario*, notó en la cabecera de la alcantarilla y algunas secciones de la galería trazos del revestimiento mural que fueron atribuidos a la época de Federico II,<sup>11</sup> mientras que Febonio<sup>12</sup> y Antinori<sup>13</sup> mencionan la iglesia del *Sancto Patre in Penna* en el acceso de la Galería Mayor.

Afan De Rivera, Director General de Puentes y Caminos de Nápoles, nos informa de tentativas de restauración atribuidas a la época de Alfonso I de Aragón<sup>14</sup> y a los años 1790/92, cuando el abate Lolli hizo limpiar el trazado inicial de la galería, algunos pozos y distintas galerías<sup>15</sup>.



3. Emissario Fucense, Cunicoli di Claudio, sección del Cunicolo Mayor.

4. Emissario Fucense, Cunicoli di Claudio, diagrama estratigráfico.

Finalmente, en 1854 se realizaron trabajos definitivos para el secado del Fucino ejecutados por el Príncipe Alessandro Torlonia, descritos por Brisse y De Rotrou<sup>16</sup> que llevaron a la destrucción de las estructuras del Alcantarillado Romano<sup>17</sup>.

La grandiosa obra hidráulica, debía permitir empalmar las aguas del lago Fucino al río Liri, y el proyecto preveía un canal colector a cielo abierto que unía las aguas con dirección a un sistema de piletas (el llamado *Incile* o alcantarilla) regulando su paso, una galería subterránea (el *Emissario*) excavada en el centro del Monte Salviano y bajo los Campos Palentinos, treinta y nueve pozos a sección cuadrada (excavados para alcanzar la cota pre-establecida de la galería y efectuar la excavación en dos frentes al mismo tiempo) ocho galerías de descenso o *cunicoli* para permitir una buena aireación y suficiente iluminación, para el tránsito de los trabajadores y el transporte de los materiales. El coronamiento de los pozos, el acceso a los cunicoli, los trazos de la galería subterránea y el complejo de las alcantarillas eran estructurados. El modelo proyectual de los descensos preveía el corte rocoso sobre el perfil escarpado del Monte Salviano, la excavación de la galería en el frente del corte y contemporáneamente, al exterior, la estructuración de los *cunicoli* con apoyo en el corte del frente rocoso.

Esta contribución presenta los resultados obtenidos a través de los análisis arqueométricos efectuados en tres descensos: el *Cunicolo* del descenso al Pozo 23, el *Cunicolo* del Ferraro, el *Cunicolo* Mayor, todos sobre las pendientes del Salviano en dirección al lago. El análisis físico de los muros ha comprobado y documentado diversas fases constructivas estratificadas, con diferentes técnicas ediles, unidas a distintas especialidades que se alternaban incluso en el breve intervalo de tiempo en que se realizó una de las más altas y monumentales obras de ingeniería hidráulica romana. El Proyecto, aún siendo unitario, fue realizado con imponentes recursos económicos y humanos, con ayuda de técnicos y especialistas con la finalidad de realizar en el menor tiempo posible la poderosa obra de secado del Fucino. Las fases de instalaciones, los cambios de ideas, las reanudaciones, los reprístinos, las mejoras y las ampliaciones son perfectamente legibles en la estructura y en la infraestructura, concebidas y realizadas sin ocuparse tanto en calidad estética sino en la funcionalidad, eficacia y robustez<sup>18</sup>.

Considerando la brevedad de la presente relación intentaremos sintetizar los cuatro episodios principales o intervenciones constructivas más importantes que caracterizan el complejo de servicio monumental a las pendientes de Monte Salviano:

I. La instalación original está colocada sobre el corte de regularización y de rectificación del sustrato US0 realizado en dos momentos, el primero unido a la estructuración de las dos galerías de descenso sobrepuestas y convergentes a embudo sobre el descenso, a las cuales se accede desde el *cunicolo* intermedio (C2a) y desde el *cunicolo* superior (C3), el segundo corresponde a la unión entre las galerías con el corte de la cuña intermedia de roca relativa. Esta instalación fue realizada en obra mixta por *opus reticulatum* (US15, US

<sup>10</sup> En *Costitutiones et Regestum Frederici II Imperatoris ann.1239-40*, p. 398. Neapoli ex regia typographia, anno 1786.

<sup>11</sup> Afan de Rivera C., *Progetto della restaurazione dello emissario di Claudio e dello scolo del Fucino*, Napoli 1836, p. 73, par.71.

<sup>12</sup> Febonio M., *Historiae marsorum libri tres*, Napoli 1678, II vol., p. 91.

<sup>13</sup> Antinori A. L., *Annali*, XX/766-767.

<sup>14</sup> Afan de Rivera, op. cit., p. 75.

<sup>15</sup> Afan de Rivera, op. cit., p. 79.

<sup>16</sup> De Rotrou L., *Prosciugamento del Lago Fucino ad opera del Principe Torlonia. Confronto tra l'emissario di Claudio e l'emissario Torlonia*, Le Monnier, Fi 1871, ristampa anastatica Adelmo Polla, Avezano 1977; Brisse-De Rotrou, op. cit.

<sup>17</sup> Brisse-De Rotrou, op. cit., I, pp. 135, 232, 249.

<sup>18</sup> A este respecto, ver particulares en el apéndice de *Analisi dei processi struttivi* en la nota 1 del artículo, pp. 223-232.

<sup>19</sup> Lugli G., *La tecnica edilizia romana con particolare riguardo a Roma e Lazio*, Roma 1957, pp. 491- 494 con referencia al emissario del Fucino p. 516.



<sup>20</sup> LUGLI, op. cit., p.507

<sup>21</sup> VAN DEMAN E.B., Methods of determining the date of roman concrete monuments, AJA, s. II, XVI, 1912, p.402 ss.; LUGLI op. cit., p. 516; MARTA R., *Tecnica costruttiva romana*, Roma 1991, p. 30 BRISSE-DE ROTROU, op. cit., tav. XXVI, fig.2 reeditado por D'AMATO S. - PALANZA U. M., vol. I, fig.30, pp. 194-199, 230; D'AMATO S., op. cit., figg. 5 e 19, p.127.

<sup>22</sup> BRISSE-DE ROTROU, op. cit., tav. XXVI, fig.2 y en reedición de D'AMATO S. - PALANZA U.M., vol. I, fig.30, pp. 194-199, 230; D'AMATO S., op. cit., figg. 5 e 19, p.127

40, US70) con *cubilia* de 8.0 cm de lado y obra de mampostería (UUS16 g-i, 39, 60, 62, 79, 80) con ladrillos de 24.0 x 4.0 cm, con módulo de 26.0/27.0 cm (5 cursos + 5 terrazas). El mortero de tipo hidráulico, muy compacto, se distingue por su particular consistencia y resistencia a compresión. La obra reticulada en el trazo C2b (US40) hecha a espejo de 55.0/56.0 cm de altura, delimitada por elementos de mampostería de 52.0 cm de espesor. El C2c no conservó ningún rastro de la cortina original. Considerando que la obra de mampostería de esta fase (US60, 62, 80), conservada en el *cunicolo* superior (C3), sigue un perfil inclinado desde el exterior hacia el interior, probablemente esperando un primer nivel de descensos, y teniendo en cuenta que el acceso de la galería (US81, 100) está constituido con un cambio de inclinación con respecto a la galería excavada en la roca (caso no encontrado en ningún otro lugar), es fácil pensar en inconvenientes técnicos o cambios de idea verificados durante el curso de la obra. La técnica mural del elemento edil, regular y definido por precisión ejecutiva y elección de los materiales, con el uso de la obra mixta a espejo definida por cursos de mampuesto, puede ser del proyecto original de Claudio<sup>19</sup>; el uso de una retícula con *cubilia* de 8.0 cm<sup>20</sup> a espejo, asociado a la obra de mampostería de ladrillos triangulares de color amarillo magenta de arcilla depurada y bien cocida (de 4.0 cm de espesor, módulo 27.0 cm), con una separación entre juntas verticales de 1.0/1.5 cm, y entre juntas horizontales de 1.5/2.0 cm, que entra dentro de la tipología constructiva de Claudio<sup>21</sup>. Se notaron además que Brisse y De Rotrou, habiendo tenido modo de explorar y describir el complejo de las alcantarillas antes de su destrucción, en la tabla XIX del Atlante, caracterizan con una retícula las estructuras del pozo P' y de la cámara cuadrada Q, datándolas a la época del Emperador Claudio<sup>22</sup>.

**II.** Un segundo momento de intervención precede el reoprismo de las cortinas murales C2a y la construcción, en mampostería, del *cunicolo* inferior C1 (como lo hace evidente el cimientado US1 que pasa por los dos cuerpos), con los núcleos cementados US2 de C1 y US25 de C2a. en esta fase se retoman las estructuras originales con el núcleo cementado US25 y los parámetros US16e-f y se planifica el *cunicolo* inferior concebido con funciones diversas respecto a las descritas anteriormente. En este caso, parece claro el intento de monumentalizar el acceso al descenso mayor. El *cunicolo* C1 es de planta rectangular con bóveda de cañón, con perfil a todo sexto, en el caso específico, no rampante pero horizontal (US6). Los tabiques de arranque fueron realizados a *opus latericium* (US16a-b-c-d). El paramento, en curso regular de mampostería, resulta bien anclada en el núcleo cementado (US2) en aumento progresivo con chorros alternos de piedra y mortero. En el *cunicolo* C2a el paramento a obra mixta con uso de la obra incierta US35 que

5. Emissario Fucense, Cunicoli di Claudio, interior del Cunicolo Mayor.

6. Emissario Fucense, Cunicoli di Claudio, porción mural del Cunicolo Mayor a espejo en mampostería.





<sup>231</sup> VENANZI C., *Caratteri costruttivi dei monumenti*, Roma 1953, p. 175; LUGLI, op. cit., p. 516. "Otro ejemplo se encuentra en el acceso del emisorio del lago Fucino; el vano, de que parte el cunicolo, tiene la parte inferior de las paredes construida en obra de mampostería con singulares jambas de ladrillos a una cierta altura y sobre la zonas de la retícula, alternadas con bandas de ladrillos: la retícula fue, en época posterior, sustituida en buena parte con obra incierta de factura irregular".

<sup>24</sup> LUGLI, op. cit., pp. 436-439; VAN DEMAN, op. cit., pp. 414-421.

<sup>25</sup> Solo con Settimio Severo el módulo baja a 22 cm, pero las características del mortero y de los núcleos internos son de menor calidad.

<sup>26</sup> BLOCH H., *I bolli laterizi e la storia edilizia romana; la Villa di Adriano a Tivoli* in *Bullettino Commissione Archeologica Comunale di Roma* 1937 65 p. 113-181.

<sup>27</sup> LUGLI, op. cit., p. 517.

<sup>28</sup> VENANZI, op. cit., p. 51.

<sup>29</sup> LUGLI, op. cit., p. 612, vol. II, Tav. CLXIX.

sustituye la reticulada previamente descrita. El paramento presenta elementos pétreos (piedra calcárea local) no colocados en cursos isométricos, de forma poliédrica y simplemente rebajados a la cabeza e inclusiones de mampostería. La técnica constructiva y los materiales empleados, que tienden a alinearse o a uniformarse a los paramentos a espejo reticular, parecen unidos a una fase de reestructuración con reconstrucción de las cortinas de los núcleos murales preexistentes. Por lo que respecta al *opus reticulatum* canónicamente considerado como una técnica que perfecciona aquella más antigua del *incertum*, han sido documentados casos de restauración en obra incierta sobre estructuras en obra reticular<sup>23</sup>. Las partes en mampuesto (US16e-f-h), por consecuencia, se unen a las precedentes con características técnicas distintas: los ladrillos triangulares (o trapezoidales) de 3.0 cm de espesor con módulo de 20.0 cm, fueron desgastados o rectificadas sobre la cara aparente con *martellina* y terminados mediante cepillado. La arcilla es de color amarillo a veces tendiente al rosáceo, visible en la sección del sándwich, con uniones verticales casi inexistentes y juntas horizontales de 1.0 cm; el mortero de cama presenta características hidráulicas con un buen grado de compactación. El *opus caementicium* de los núcleos US2 e US25, conectado en unión con el paramento, está realizado con mortero y material de mampostería de desecho en chorros alternados perfectamente acomodados y compactados. Las características físicas y mecánicas del mortero, notables por su alta cohesión y dureza, la compactación y homogeneidad de los núcleos cementados en conexión con los paramentos nos hablan del periodo de Trajano o Adriano<sup>24</sup>; la técnica de puesta en obra encontrada en los paramentos de mampostería no parece ser sucesiva a la época de Adriano<sup>25</sup>. Con este propósito Bloch<sup>26</sup> escribe "*algunas de las obras principales del periodo tardo Adriano han producido ladrillos especialmente sutiles: 3.0/3.2 cm*"; Lugli<sup>27</sup> habla de "*espesor diminuto del ladrillo Adriano*", y en este periodo se encuentran ejemplos en los cuales el módulo tiende a descender incluso bajo los 24.0 cm por primera vez después de la edad augusta<sup>28</sup>, hasta 21.0 cm, como lo encontrado en el corredor anular del Mausoleo de Adriano<sup>29</sup>. A nuestra advertencia, a pesar de la variante tipológica de la técnica constructiva, respecto a la tradición comúnmente aceptada, la restauración puede ser de los años en los que Adriano, retomó el proyecto de Claudio, *Fucinum lacum emisit*.

7. Emissario Fucense, Cunicoli di Claudio, particular de las distintas zonas a espejo al interior del Cunicolo Mayor.

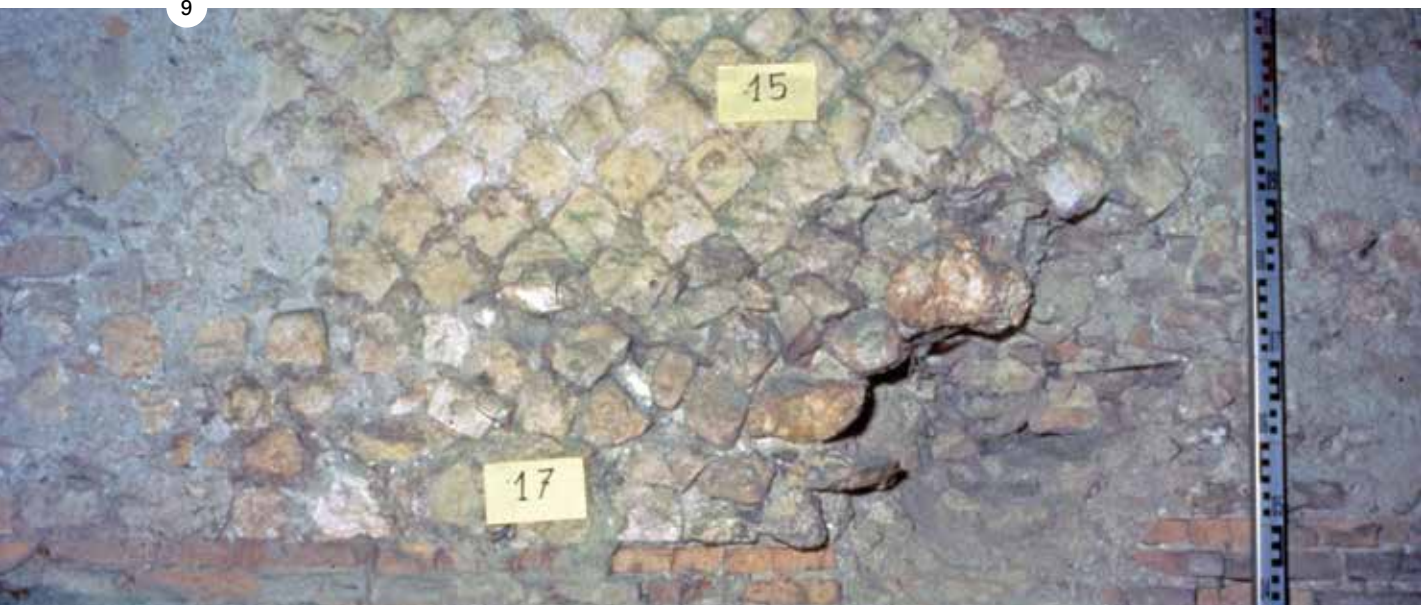
8. Emissario Fucense, Cunicoli di Claudio, interior del Cunicolo Mayor, particular de las distintas técnicas murales.

9. Emissario Fucense, Cunicoli di Claudio, interior del Cunicolo Mayor, particular de las intervenciones de restauración e integración.

**III.** La tercera fase de repristino es la que respecta al cunicolo inferior de los paramentos en obra de mampostería US4 y US30 colocados en el núcleo US3, con el trazo de bóveda US8, en el cunicolo intermedio C2a con modestas mejoras en el paramento US11a-b, en el C2b con la US38, finalmente en el C2c con la US86. La tipología del ladrillo rectangular (28.0 x 14.0 x 3.0 cm) con módulo de 22.0 cm, excluye realización directa o referencias cronológicas con la era romana y, contemporáneamente, homogeneidad y precisión de ejecución excluirían contextos históricos medievales. Como emerge de la secuencia estratigráfica, esta intervención de repristino se realiza en un momento precedente a la fase IV.

**IV.** La última gran fase de repristino retoma la obra incierta con recursos de mampostería con la clara voluntad de retomar estilísticamente la estructura original. El núcleo cementado US32 retoma el preexistente US25, realizado a bolsa con escamas de piedra, incluidos con mampostería y mortero menos consistente que los precedentes. En este momento la obra incierta, realizada con el uso de elementos pétreos calcáreos locales, de forma poliédrica, contado y puesto por cabeza, se diferencia de la precedente por el crecimiento de sus cursos isométricos y por la presencia difusa de pedacería de material pétreo y grupos de desperdicio. Los elementos pétreos son de diversas dimensiones: para la reconstrucción de los núcleos cementados preexistentes se utilizaban, como parámetro, elementos de menores dimensiones (US13), en los casos de construcción *ex novo*, con relación directa entre núcleo y parámetro, se utilizaban elementos pétreos de dimensiones mayores (US50) en unión al núcleo cementado (US32). Los recursos en obra de mampostería US14 y US15, aun encontrándose en continuidad con los precedentes, se maestra niveles de cambio de orientación con un direccionamiento bastante irregular y ladrillos de mayor espesor (4.5 cm), de factura de mala calidad y con módulo superior a los 30.0 cm; los espacios del mortero son menos consistentes con visibles lagunas intersticiales. Las US50 y US51 deben reunirse a una reestructuración, que cierra con una cadena de mampostería el *cunicolo* intermedio, en fase con los trazos de las bóvedas US21, US23, US24; procesos similares de reestructuración se encontraron en el *cunicolo* superior C3. La calidad de las intervenciones de esta fase no puede compararse con los niveles de homogeneidad y precisión observados y documentados en las fases previas. La intervención final documentada puede unirse directamente a los últimos trabajos de repristino conducidos por el abate Lolli en 1791, cuando "se restauraron las fábricas del Gran Cunicolo a las faldas del Salviano en la zona que mira al lago". Finalmente se atribuye a los Torlonia el alargamiento de las paredes del sustrato US0 mediante injertos de cargas explosivas en las perforaciones, aun legibles en el corte rocoso, y el abajamiento del plano de calpestio, particularmente visible en el cunicolo inferior con trazos de los cimientos a vista. Estas últimas intervenciones pueden ser explicadas como adecuación a las nuevas exigencias de maniobra de las máquinas de tracción de materiales en los Trabajos de repristino dirigidos por Brisse y De Rotrou.

9



Autor  
Mariano Cristellotti

**Cristellotti & Maffei s.r.l.**  
RESTAURO - DIAGNOSTICA - ARCHEOLOGIA

m.cristellotti@libero.it  
www.cristellottimaffei.it

# Análisis y estudio estratigráfico en los muros, enlucidos, y acabados de la superficie

<sup>1)</sup> Este argumento fue presentado en el convenio "Diagnosis for the conservation and valorization of cultural heritage" sostenido en Nápoles el 12-13 diciembre 2014. Con el título: sinergia entre determinaciones analíticas y documentación histórica en la restauración de la catedral de San Donato, Mondovì (Cuneo, Italia.)  
Walter Canavesio, Emanuele Costa, Mariano Cristellotti, Maria Elena Moschella.

Con el término de "análisis estratigráfico" se define una operación nada simple que prevé, a través de la remoción de superposiciones de colores y/o enlucidos presentes sobre una superficie mural, la individualización secuencial de eventuales estratos que se encuentren debajo del que se puede ver.

El análisis resulta sustancial para la comprensión de las transformaciones que un edificio puede haber sufrido en el tiempo. Lo que permite, junto a la documentación histórica y a los estudios diagnósticos sobre materiales, dirigir en las varias fases proyectuales las elecciones más oportunas para la recuperación estética y filológica de un bien histórico-artístico<sup>1</sup>.

Análogamente a los enlucidos y estratos de color, los análisis estratigráficos pueden ser ejecutados sobre elementos escultóricos policromos, no solo sobre pinturas de caballete o sobre tabla.



1



2



3

1. Casale (TO), duomo de Sant'Evasio siglo XII, levantamiento de la estratigrafía mural

2. Ivrea (TO), campanarios de la Catedral, siglo XII

3. Mondovì (CN), iglesia de la Misión, siglo XVII

4. Mondovì (CN), Duomo, frescos del corredor, siglo XV

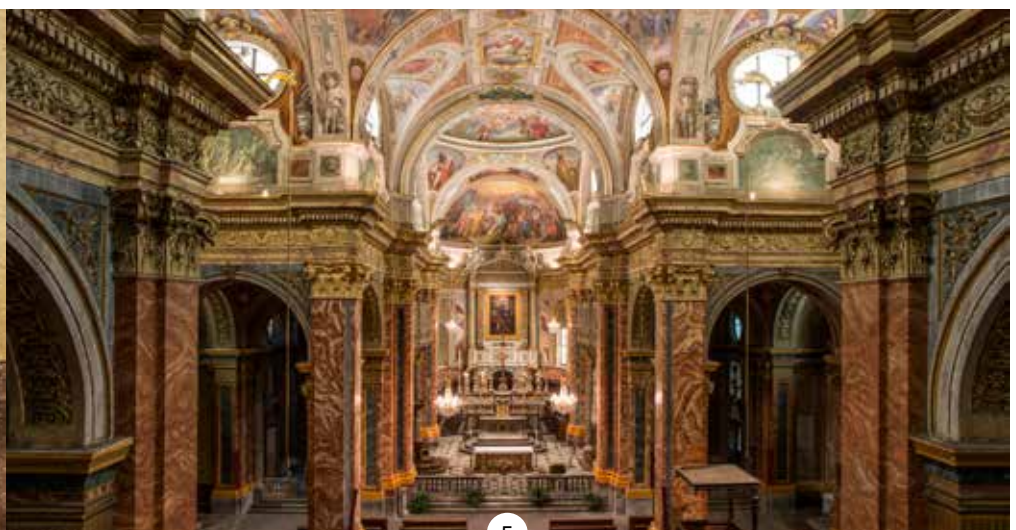
5. Mondovì (CN), hombre de San Donato, siglo XVIII

Las operaciones de análisis sobre la estratificación de un enlucido y sobre los acabados se realizan de manera manual, removiendo los estratos mediante delaminación empleando instrumentos de precisión como bisturís quirúrgicos, o en el caso de enlucidos con el uso de micro escarpelos. Las operaciones de delaminación pueden ser favorables mediante el empleo de solventes químicos aplicados con el auxilio de soportantes neutros como la pasta de celulosa o materiales más innovadores como los geles rígidos obtenidos del agar-agar, más conocido por los japoneses con el nombre de kanten. Este es un polisacárido usado como gelificante natural y se obtiene de algas rojas. En casos particulares, donde la remoción de los estratos se vuelva demasiado difícil por la presencia en las capas más externas de formaciones de patinas de consistencia vidriosa debida a la cristalización de sales, puede emplearse micro limpieza con arenas de precisión utilizando óxidos de aluminio ( $Al_2O_3$ ) con una dureza en escala Mohs: 9, o micro esferas de vidrio ( $SiO_2$ ) con dureza escala Mohs: 6,8.

Como soporte de los análisis estratigráficos se emplea un microscopio digital 60-200X a luz polarizada, dotado de una micro cámara y unido a un PC. La observación con microscopio digital permite una visión detallada de los estratos individuados y su documentación fotográfica. El análisis a microscopio puede ser compartido en tiempo real con observadores a distancia.



4



5



6. Saluzzo (CN),  
claustro de San  
Giovanni, siglo XV

El análisis estratigráfico es una operación que requiere de gran habilidad manual y experiencia porque los estratos, que normalmente resultan alto grado de cohesión, pueden presentarse con espesores de pocas decenas de micrón y frecuentemente de difícil separación. Resulta compleja también la individualización de las zonas significativas donde debe efectuarse el análisis, en particular cuando éstas deben ser efectuadas sobre superficies amplias, las cuales, a lo largo del tiempo pueden haber sufrido transformaciones parciales, y por ello, brindarnos indicaciones de difícil relación con los resultados de las varias secuencias estratigráficas realizadas.

En el caso de análisis que deben ser efectuados sobre más superficies pertenecientes a un único edificio, se establece un protocolo operativo que permita relacionar las varias estratificaciones de colores o decoraciones, las cuales puedan presentarse en secuencias estratigráficas diferentes pero que pertenezcan a la misma fase ejecutiva.

La lectura razonada de los estratos individuados se presenta en tablas de levantamiento crítico, y permite trazar la secuencia ideal de cómo el edificio, en su aspecto material y cromático superficial, se ha transformado durante las diversas épocas.

El análisis estratigráfico, además de permitir la individualización de los acabados de superficies sucesivas en los varios periodos históricos, caracterizadas de cambios de estilo o doctrinas religiosas, se hace en muchos casos fundamental para la individualización y para la sucesiva recuperación de enteros ciclos pictóricos de los cuales se había perdido completamente la memoria.

7. Saluzzo (CN),  
iglesia de Santa  
María della Stella,  
siglo XVII

8. Trento, Palazzo  
Firmian, siglo XVI

9. Torino, Palazzo  
Madama, sala del  
Voltone, excavación  
y restauración de  
las estructuras  
arqueológicas

Análogamente a los análisis estratigráficos sobre las superficies de acabados que describe principalmente las transformaciones unidas al gusto estético que se modifica y adecua a las modas, también para los muros se pueden individuar fases que describen principalmente las transformaciones que un edificio pudo haber sufrido en el tiempo, sobre todo a causa de adecuaciones estilísticas, funcionales o de uso. El análisis sobre aparatos murales está definido como “estudio estratigráfico” y la superficie mural a estudiar normalmente se encuentra ya sin un enlucido, aspecto que permite la inmediata visión total del elemento.

El estudio estratigráfico sobre los muros se basa fundamentalmente en las observaciones de la deshogeneidad estilística o material que un paramento mural puede presentar. Esta falta de homogeneidad material puede deberse a la diferencia de los materiales utilizados en las distintas fases de transformación estilísticas o funcionales.

El estudio puede ser soportado por análisis diagnósticos sobre los materiales presentes (como la termoluminiscencia en el caso que el paramento estudiado sea realizado con mampostería), o de análisis químico-estratigráficos sobre los morteros o de análisis dendrocronológicos cuando se encuentren elementos de madera de suficiente dimensión.



7



8



9

Autor  
Maria Elena Moschella

# Química de materiales, introducción a las técnicas de análisis químico físico in situ y en laboratorio

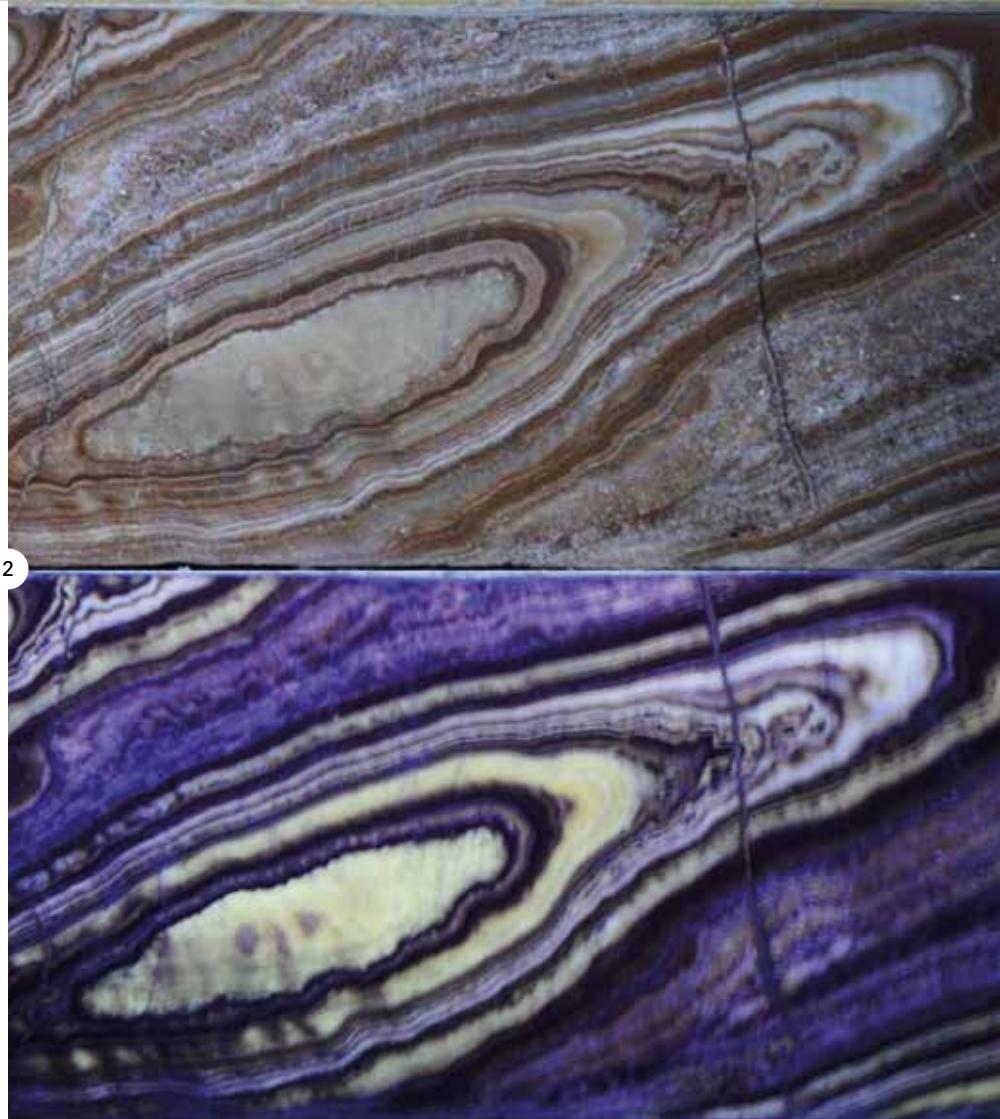
El análisis diagnóstico aplicado a bienes culturales, es una ciencia compleja bajo distintos puntos de vista: desde el punto de vista técnico se encuentra frente a problemáticas siempre diferentes, además de que difícilmente las técnicas artísticas son "estandarizadas", ya que la inspiración y la fantasía de los artistas encuentran en la pintura, y en modo particular en la mural, un amplio espacio de creatividad y experimentación. La consecuencia es que los materiales utilizados son de lo más variados, y por ello, también lo son sus condiciones de conservación y sus productos de degradación. Pero el análisis diagnóstico es complejo también desde el punto de vista

1. Pintura mural -Duomo de Mondovì- Observación con micro cámara DinoLite a cerca 20 ampliaciones.

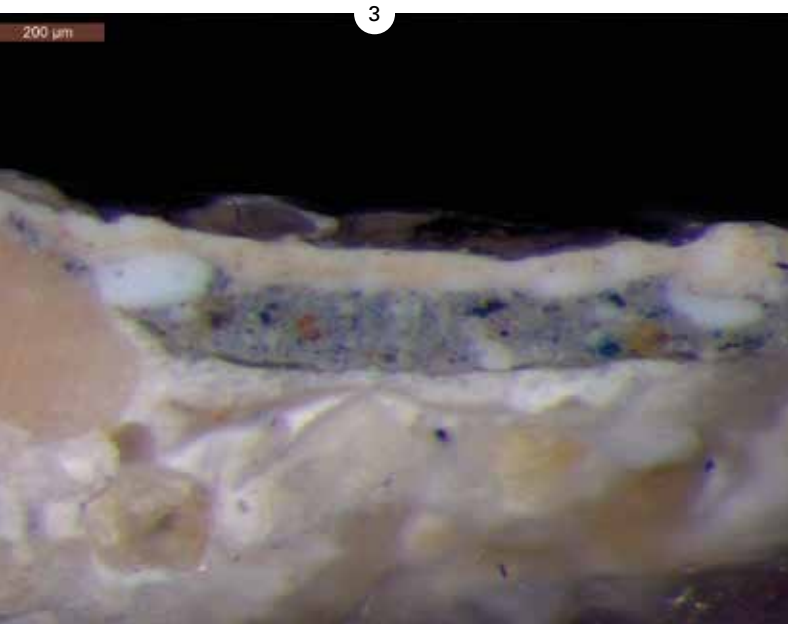




2. Fotografía de una losa de alabastro de Busca adquirida a luz visible y luz ultravioleta (onda larga).



ético, porque cuando se vuelve “material” la obra de los artistas se corre el riesgo de disminuir la importancia artística y su simbología. La diagnóstica aplicada a los bienes culturales debe entonces respetar siempre esta naturaleza estética, y abstracta, del bien. La ciencia de la conservación solicita, de hecho, una interacción y colaboración profunda entre diversos especialistas que operan en el sector de los bienes culturales, como arqueólogos, conservadores, arquitectos, restauradores, históricos del arte, etc. Actualmente, la conservación de los bienes histórico-artísticos no puede prescindir de un profundo conocimiento químico-físico de los materiales, con el fin de conocer las técnicas ejecutivas de realización de las obras (y por ende su pasado), estudiar y analizar los cambios que han sufrido en el tiempo y los han llevado a las condiciones actuales (presente) y proyectar las intervenciones a realizar para detener o ralentizar los procesos de degradación y alteraciones eventualmente en curso (futuro), y por lo tanto indicar a los restauradores las metodologías más adecuadas para el préstamo y la conservación. La comprensión de los aspectos materiales y de eventuales fenómenos de degradación presentes en la obra, permite a los restauradores, en las diversas fases de intervención, poner a punto las mejores técnicas operativas, monitoreando además la eficacia de los materiales utilizados. Subestimar la importancia del conocimiento preciso de la materia sobre la cual se debe trabajar puede traer consigo, en las intervenciones de restauración, a decisiones poco adecuadas de métodos o materiales frecuentemente estandarizadas, que usualmente se emplean en las distintas fases operativas, pero que no siempre resultan aptas.



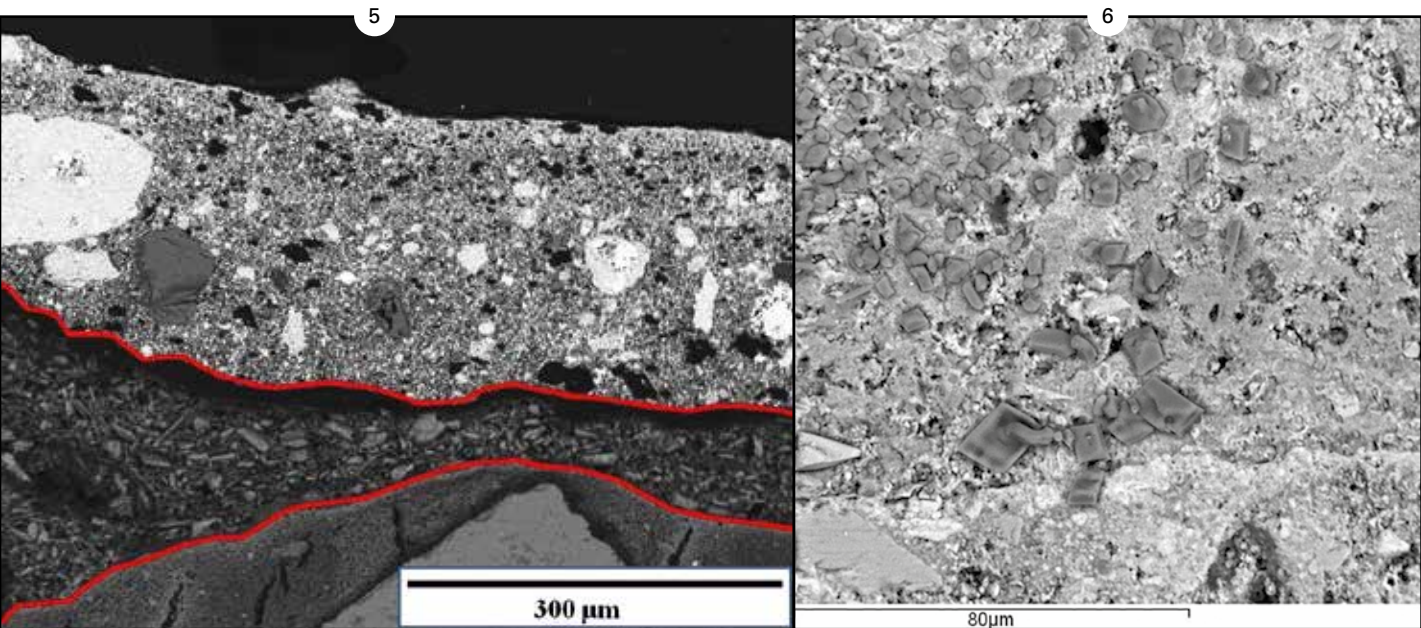
3. Pintura mural  
–Duomo de  
Mondovì- Sección  
lúcida observada a  
microscopio óptico.



4. Decoración del  
friso –Duomo de  
Mondovì- Sección  
lúcida observada  
microscopio óptico.

Quien realiza los diagnósticos de bienes culturales, el restaurador, el histórico de arte y las otras figuras profesionales en ocasiones deben enfrentarse a la toma de decisiones problemáticas, que pueden constituir la diferencia entre un buen reprimado del bien a recuperar o el posible empeoramiento del daño existente. Por este motivo, nuestro grupo, desde hace muchos años, colabora con el Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de los Estudios de Turín, que pone a nuestra disposición la instrumentación y el necesario apoyo científico con el que cuenta.

No se debe olvidar tampoco la importancia del diálogo continuo entre los profesionales que operan en este sector, por ejemplo, antes de iniciar una campaña de diagnóstico, es necesario comprender los objetivos que se quieren alcanzar: en base a estos se eligen las técnicas analíticas más útiles, las metodologías de levantamiento de muestras a analizar, y no menos importante, se procede a la valoración de los gastos y costos. Lógicamente, las técnicas analíticas a utilizar son diferentes en base a lo que se quiere estudiar y a la información que se quiere obtener. Operativamente es fundamental seguir un protocolo, constituido por diversos puntos. El primero es la observación directa de las superficies sobre las que se debe intervenir; la observación puede ser ejecutada a ojo desnudo o valiéndose de microscopios, incluso aquellos portátiles, y/o micro cámaras. Utilizando además algunas propiedades de la luz se puede obtener información importante: los estudios a luz rasante o a luz ultravioleta e infrarroja, pueden mostrar particulares que no serían visibles de otra manera. Se puede obtener información preliminar sobre materiales utilizados, la técnica ejecutiva, las alteraciones y las causas de degrado, pero dichas técnicas se pueden utilizar también para ejecutar controles durante las fases operativas sucesivas, para examinar la eficacia de las intervenciones de limpieza o de consolidación. Siempre en base a la observación directa se eligen las zonas de interés que serán objeto de posteriores análisis o muestreos. Dado que el máximo respeto del bien es fundamental, estas operaciones se encuentran entre las más delicadas: existen técnicas de análisis *in situ* que no requieren de levantamientos, pero si estas resultan insuficientes, entonces se vuelve necesario proceder a la toma de una pequeñísima porción del material. La elección del punto del levantamiento de las muestras debe ser la más adecuada y representativa posible, y es justo en esta fase donde vemos la importancia de tener una persona calificada para este trabajo, ya que él estará en



5. Pintura mural -Duomo de Mondovì- Sección lúcida. La imagen fue adquirida a microscopio electrónico: se pueden ver el estrato pictórico (en alto), un estrato de preparación y el estrato de enlucido (abajo).

6. Pintura mural -Iglesia de Santa María de la Stella en Saluzzo- Sección lúcida. La imagen se adquirió a microscopio electrónico: al interior del estrato pictórico se observan cristales romboédricos bien formados de nitrato de sodio (nitrina).

grado de valorar la posición y el método con el cual efectuar el muestreo, en base a la finalidad del estudio; de hecho, de acuerdo a lo que se desea conocer y a los tipos de análisis que se realizarán, la metodología de levantamiento puede ser diferente (en forma sólida, en polvo, o líquida). De modo particular, por lo que concierne a la pintura mural y al conocimiento de sus fases decorativas y su técnica ejecutiva, puede resultar necesario preparar secciones, que permitan normalmente englobar en resina el fragmento muestra, y someterlo a un sucesivo corte perpendicular de la superficie, obteniendo así una sección que muestra la estratigrafía de los estratos pictóricos y de soporte, sobre los cuales, singularmente, se puede proceder sucesivamente con los análisis pertinentes. Cuando es posible se puede utilizar técnicas de análisis in situ, con instrumentaciones portátiles que permiten analizar el material sin recorrer a levantamientos de fragmentos o muestras. Existen en el mercado diversos instrumentos portátiles que explotan tecnologías diversas, como la espectroscopia IR o Raman, la difracción de rayos X o la fluorescencia a rayos X.

Las técnicas analíticas aplicables al estudio de bienes culturales son muchísimas; vendrán ilustradas en el ámbito del convenio que nuestro grupo utiliza más frecuentemente y que permiten obtener la información necesaria para planificar una correcta intervención de restauración.

Fundamentalmente los análisis pueden subdividirse en tres tipologías, de acuerdo a aquello que viene estudiado:

**\_Morfológicas**, es decir que brindan información acerca de la forma y aspecto de los materiales observados. El fragmento levantado, de forma natural, o englobado en sección (lúcida o sutil) puede observarse a microscopio óptico (MO) o en microscopio electrónico a escáner (SEM), el cual permite acercamientos muy elevados. Son muy utilizadas para analizar las estratigrafías murales y pictóricas, para analizar la estructura de los materiales pétreos o de los morteros y conglomerados cementantes, y también para observar la naturaleza de un eventual ataque biológico.

**\_Moleculares**, como la espectroscopia infrarroja (FR-IR) y la espectroscopia micro Raman, que permiten obtener información acerca de grupos funcionales, y por

7. Enlucido –Duomo de Mondovi- Mapa composicional adquirido con micro sonda EDS acoplada al microscopio electrónico (SEM-EDS): los diferentes colores se relacionan a los elementos Ca, Mg y Si.

8. Espectroscopio FT-IR modelo Alpha de Bruker. Análisis in situ de tapices del siglo XIX.

ende, acerca de la tipología de moléculas que componen los materiales analizados; estas técnicas ni siempre necesitan de muestra de micro fragmentos, ya que existen tecnologías muy avanzadas y eficaces para el análisis in situ. Estas técnicas brindan importante información, sobre todo acerca de los componentes orgánicos, y por ello, sobre las técnicas artísticas utilizadas para la ejecución de una pintura donde los pigmentos utilizados hayan sido colocados en un medio orgánico (aceites, resinas, etc.) y también para identificar muchas causas del degrado. Nuestro grupo dispone para este análisis, ya sea in situ que con muestreo, de un espectrómetro FT-IR (mod. Alpha de la marca Bruker) (imagen)

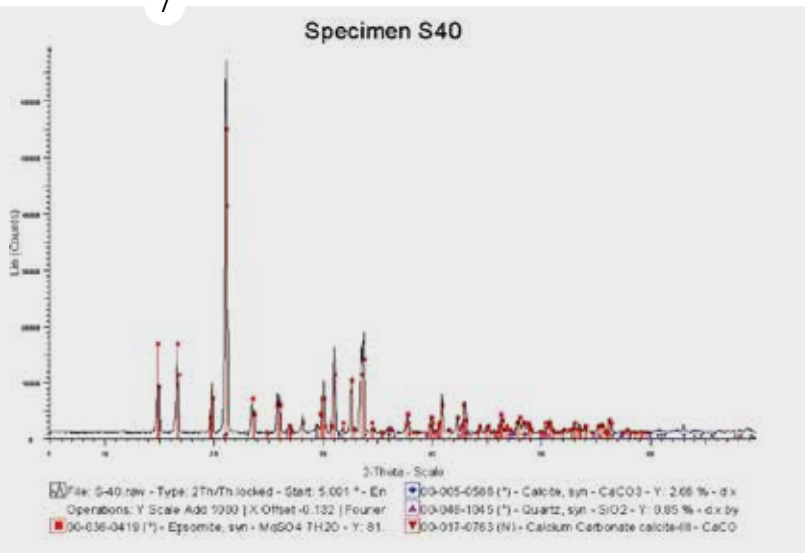
**Elementales:** son técnicas que permiten reconocer la composición química elemental de la muestra analizada; partiendo esta se puede llegar a identificar el material original, y en ocasiones, incluso su proveniencia y origen recorriendo al análisis de los elementos. Son técnicas elementales, por ejemplo, la microonda EDS aplicada al microscopio electrónico a escáner, la fluorescencia a rayos X (XRF), y el análisis mediante espectrometría óptica en emisión acoplada al plasma (ICP-OES).

**Cristalográfica:** brindan información sobre las fases cristalinas de los minerales contenidos en una muestra, y permiten distinguir polimorfos o materiales que podrían no ser discriminables solamente con técnicas elementales. Reconocer las fases cristalinas de un material puede ser fundamental para conocer la naturaliza de los muros y enlucidos, de algunos pigmentos y de eflorescencias salinas que degradan los materiales originales.

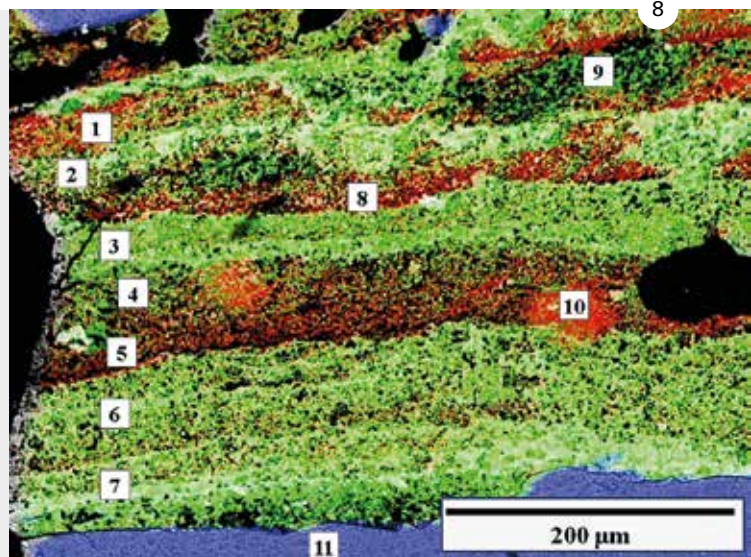
**Cromatográficos:** son un grupo de técnicas que tienen el objetivo de separar una mezcla de sus componentes para permitir el reconocimiento cualitativo y cuantitativo. Estas técnicas se basan en la distribución diferencial de varios componentes en dos fases. Son muy útiles para obtener información profundizada de los materiales constitutivos de mezclas complejas, sobre todo de aquellas de naturaleza orgánica. La gascromatografía, por ejemplo, permite analizar algunos tipos de aglutinantes pictóricos, consintiendo llegar a distinguir los distintos tipos de óleos o aceites utilizados en una pintura.

**Datación y proveniencia:** existen, finalmente, técnicas miradas a la determinación de la fecha de realización y proveniencia: análisis isotópico, datación mediante termoluminiscencia, o mediante Carbono 14.

7

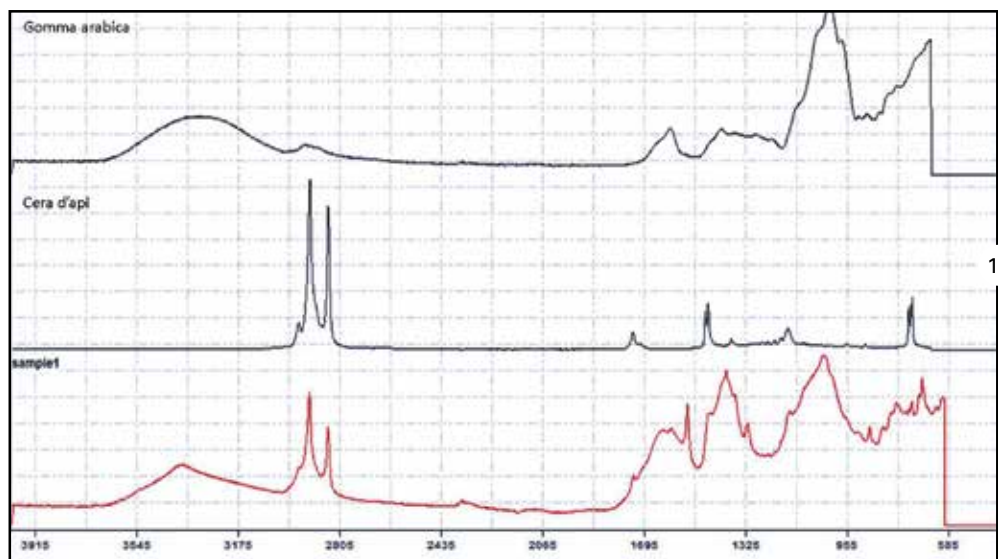


8



9. Espectro adquirido con el espectroscopio FT-IR: cera de abeja y goma arábiga.

10. Difractograma de polvo (XRPD) de una eflorescencia salina que contiene espomite (minerales minúsculos) y, en menor cantidad, sulfato de calcio y carbonato de calcio.



Como se puede notar, cada técnica brinda información diferente, y cada una puede ser funcional para exigencias cognoscitivas particulares. Un correcto protocolo analítico permite efectuar más análisis incluso con pequeñas cantidades de muestras, y obtener toda, o al menos mucha, de la información necesaria. La información obtenida permite a los restauradores elegir la técnica y los materiales más idóneos, sobre todo en las operaciones de limpieza y consolidación. En ausencia de tal información, otorgada por los análisis diagnósticos, resulta casi imposible comprender a fondo los mecanismos de degradación y proponer los métodos operativos más adecuados, teniendo siempre en cuenta el absoluto respeto del material pictórico y de soporte que se habrá de intervenir.

Autor  
Davide Bandera  
Pedro Graniela



mapei@mapei.it  
www.mapei.com

# Servicios de diagnóstico para la selección de los materiales de restauración

1. La sección estratigráfica de marmorino y del enlucido inferior observada a 1 Nicol muestra como el límite entre el marmorino (a la izquierda) y el enlucido (a la derecha) se señala aquí por la variación de las dimensiones de los agregados (más grandes en el enlucido) y por el diferente color de su matriz.

Mientras en la misma sección observada a 2 Nicols, el límite entre marmorino y enlucido se señala por la variación de la naturaleza de los agregados, que son en su mayoría carbonáticos (calcitas) en el marmorino y silicáticos en el enlucido (de cuarzo)

Podría parecer etimológicamente contradictorio asociar arte y trabajo. El Arte que es el talento, la habilidad y la maestría que exaltan la calidad del trabajo humano, no parece tener relación alguna con el sentido propio de la palabra trabajo que, del latín labor, significa cansancio, esfuerzo, afán. Sin embargo, la capacidad de unir estos dos conceptos, aparentemente distantes, es la misión que Mapei siempre ha perseguido y que ha decretado su éxito en todo el mundo.

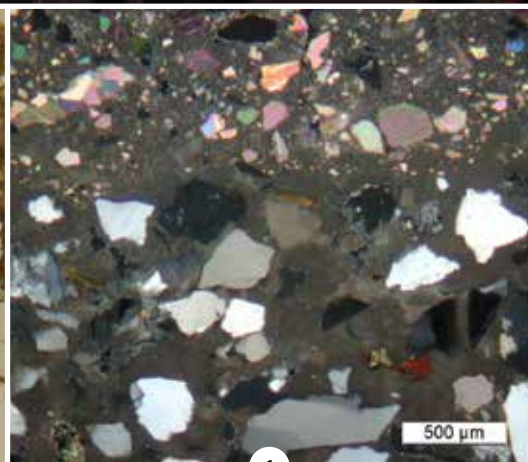
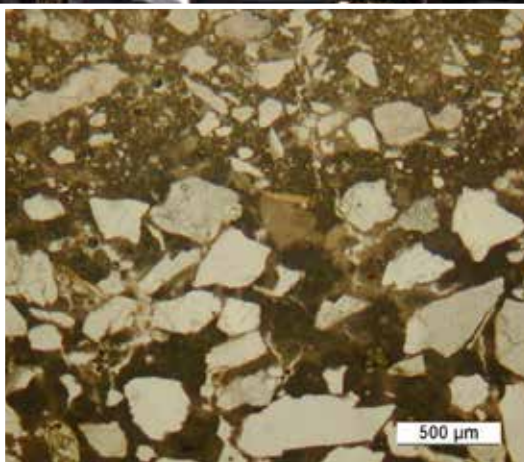
La obra de arte nace del esfuerzo y del afán de manifestar una idea, de concretizar un sueño.

El dominio de los conocimientos técnicos y el presupuesto para realizar una empresa.

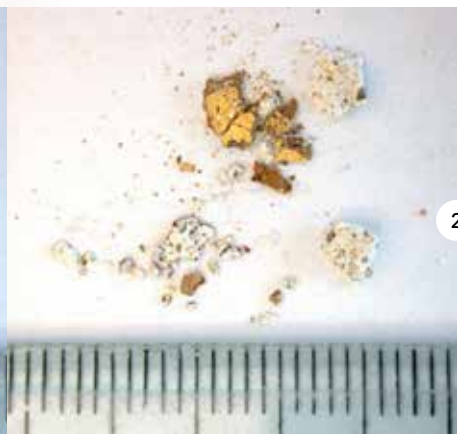
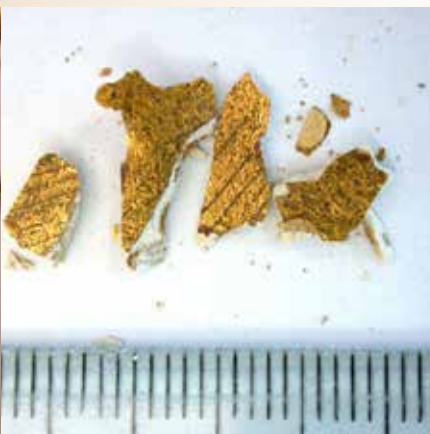
La investigación de soluciones siempre más avanzadas hace posible la explicación de la acción creativa. Así, como un verdadero artista diría que no puede haber arte sin una dura labor, Mapei siempre ha creído fuertemente que el trabajo no puede ser jamás separado del arte.

Esta arraigada convicción se ha expresado en el tiempo con una atención constante, y una maestría creciente, dirigida a las exigencias de los "lugares del arte". Se trate ya de intervenir en un gran museo o de hacer más segura una basílica medieval, las competencias y tecnologías, fruto de la investigación Mapei, han contribuido a hacer vitales y duraderos algunos de los lugares más importantes del arte y de la cultura, en nuestro País y en otros. Una actividad internacional que, sin embargo, no ha nunca alejado a Mapei de la atención particular hacia el territorio que la ha visto crecer: Milán. La restructuración y la restauración del Teatro la Scala son el prestigioso ámbito en el cual se explican, en su totalidad, las competencias, la tecnología, la investigación de Mapei. Y su gran amor por el Arte.

A continuación presentaremos la actividad diagnóstica efectuada por Mapei en el pristino y restauración conservativa del Teatro la Scala, que soportan el proceso proyectual y de intervención. En un próximo artículo, se presentará el acercamiento con el que se funda Mapei, relativo a la elección de materiales y las soluciones tecnológicamente más compatibles desde el punto de vista químico-físico y elasto-mecánico. Objetivo primario de la Restauración Conservativa del edificio actual del Teatro la Scala, derivación del original Teatro de Giuseppe Piermarini modificado en el curso de sus dos siglos de historia para adecuarlo a las nuevas necesidades derivadas del



1



2

2. La muestra del fragmento de dorado superficial relevó la presencia de un estrato más antiguo.

uso, fue el de dejar a los espacios del teatro su connotación original, conservando también las estratificaciones históricas más recientes, aun de elevado mérito y sin estridente contraste con la unidad de imagen del proyecto original de Piermarini.

Para conseguir este objetivo, fue necesario obtener toda la información de carácter histórico, la relativa a los materiales y a las técnicas constructivas utilizadas con un proceso de “levantamiento crítico” que pudiese sucesivamente orientar la restauración conservativa. Fundamental en esta operación de adquisición fueron los análisis químico-físicos conducidos por el Laboratorio Central de Análisis, uno de los emblemas de Mapei, verdadero motor de las actividades de investigación y desarrollo de nuestra sociedad, desde siempre –gracias a los más sofisticados e innovadores equipamientos de los que está dotado y que lo hacen uno de los Centros de Investigación más avanzados en el mundo- al servicio de la clientela para la resolución de las problemáticas más complejas en el sector de la restauración monumental, distinguido en la actividad de soporte de la Restauración Conservativa de los muros de Jericó, de las bóvedas de la Basílica de San Francisco en Asís, en el reprístino del Oratorio de la Pasión de la Basílica de San Ambrosio en Milán y más recientemente, la restauración de la Villa Real de Monza y la Catedral de Matera.

En el caso específico de la Restauración Conservativa del Teatro la Scala, la contribución de Mapei en la adquisición de importante información de materiales y de las técnicas constructivas relativas a las estratificaciones históricas sucedidas en el curso de los siglos de vida del Teatro ha mirado a:

- \_ El análisis de las estratificaciones de pavimentos en la zona de palcos que permitió definir los materiales y tecnologías para la recuperación de los pavimentos originales en paneles de barro cocido, última memoria de las elecciones de Piermarini;
- \_ El estudio cognoscitivo de los acabados y enlucidos de las paredes de los corredores de los palcos que permitieron individuar la naturaleza de los revestimientos más recientes de poca importancia, que definieron, entonces, las técnicas de remoción más adecuadas para traer a la luz los preciosos enlucidos antiguos de marmorino descritos en el 1865 en una “Guía para el forastero que visita aquel grandioso edificio teatral”;
- \_ El análisis de los dorados existentes en las decoraciones de los palcos que permitió datar y, por ende, distinguir los más antiguos de las intervenciones recientes, orientando, también en este caso, las técnicas de restauración conservativa.

En particular, gracias a sofisticadas técnicas de análisis como la microscopía óptica, microscopía electrónica a escaneo ambiente (ESEM-FEG), espectrometría y ter-

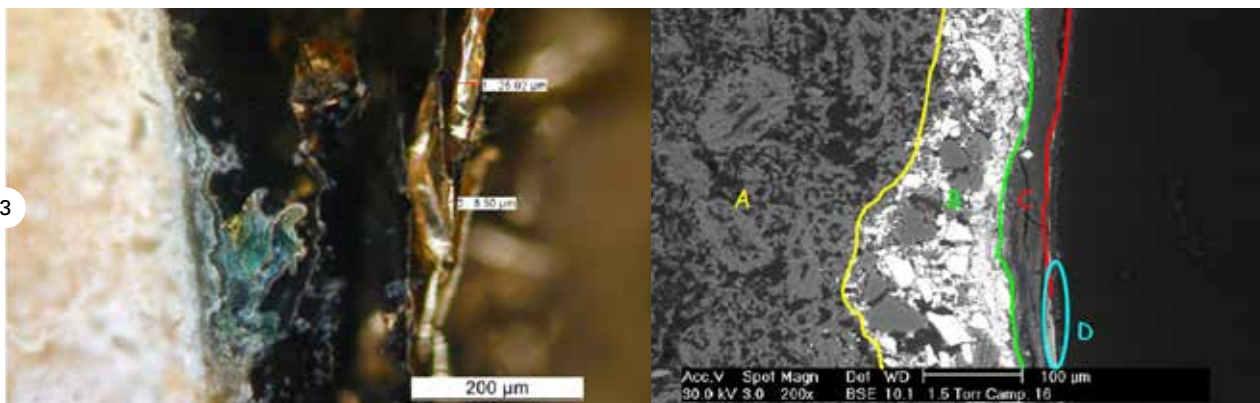


mo-gravimetría acoplada a calorimetría diferencial a escaneo (TG-DSC), fue posible individuar la naturaleza de los estratos de nivelación realizados, en superposición a los paneles originales de barro cocido, contextualmente a la reciente colocación de los pavimentos en linóleo. Los análisis evidenciaron la presencia de dos estratos de nivelación de distinta naturaleza, uno más superficial a base de Cemento Portland, y otro, a contacto con los paneles de barro cocido, a base de yeso. Los resultados del análisis permitieron definir la técnica de remoción de estos estratos designando como más adecuada una liberación de tipo mecánico para los materiales cementantes, a causa de la mayor rigidez y compactación, y una de tipo químico blando, que no representase daño al barro cocido existente, para la eliminación del estrato mecánicamente más débil constituido del suavizado a base de yeso.

Los análisis de los revestimientos murales del corredor de palcos, además, permitió individuar la naturaleza de la pintura ejecutada en época reciente, constituida fundamentalmente de pinturas a base acrílica. El análisis, también en este caso, permitió definir la técnica de remoción de estos revestimientos de escaso interés, basada en "compresas" a acción química blanda que no produjesen ninguna alteración de los enlucidos históricos inferiores a marmorino datados como de finales del 1800. Los análisis también evidenciaron que los enlucidos estaban constituidos de un estrato de base con textura áspera, sobre los que se realizó el enlucido a marmorino mediante un mortero a base de cal aérea. La presencia de este aglutinante fue evidenciada en las zonas donde el marmorino presentaba el clásico acabado a cera que, obstaculizando el ingreso del aire, impidió parcialmente el proceso de carbonatación evidenciando la presencia de hidróxido de calcio utilizado como aglutinante original. La información deducida sobre la naturaleza de los aglutinante, de los polvos y de los agregados utilizados, ha brindado útiles indicaciones para los restauradores para definir la composición de los empastes a utilizar para el reprístino ex novo de los enlucidos en aquellas zonas donde las instalaciones estaban fuertemente comprometidas. Finalmente, el análisis cognoscitivo fue dirigido a la adquisición de información detallada sobre los dorados de las decoraciones de los palcos. Los análisis estratigráficos permitieron establecer que los dorados más antiguos, y probablemente originales, fueron realizados en oro puro o en aleación hierro/cobre; por el contrario, las intervenciones más recientes se caracterizan de aleaciones cobre/zinc (purpurina de latón). Además se individúo la calidad de las hojas de oro de acuerdo al modelo decorativo original de 1830 realizado con papel mache o, el que coincide con la reconstrucción postguerra basado fundamentalmente en calcos de yeso.

También en este caso, el análisis químico-físico fue de fundamental importancia para la definición de las técnicas más apropiadas para restituir las decoraciones a su esplendor original.

3. El análisis químico elemental de los diversos estratos fue ejecutado mediante microscopía electrónica adquiriendo los correspondientes espectros EDS en los laboratorios de R&S (Investigación y Ciencia) Mapei.



Autor  
Giuseppe Latte Bovio

 **BOVIAR**  
sistemi integrati per la diagnostica e il monitoraggio

info@boviar.com  
www.boviar.com

# Básilica Superior de San Francisco de Asis. Asis.

## *Relación de pruebas sónicas*

### INTRODUCCIÓN

Con el término pruebas sónicas se entiende un estudio en muestras muy heterogéneas y/o discontinuas de muros portantes (fundamentalmente para una definición de las condiciones estáticas de una estructura), a través del levantamiento del tiempo de transición entre dos puntos (definidos como T- Transmisor y R- Receptor), de la propagación de una onda de choque generada por un impulso mecánico.

Esta metodología operativa, definida como "Levantamiento micro sísmico mediante impulsos de ondas elásticas a baja frecuencia en muestras o estructuras murales" (definición similar a la de los ultrasonidos, de los que se diferencia solo por el campo de frecuencia: «1KHZ para la sónica, y de 24-50 KHZ para los ultrasonidos», que permite una caracterización de tipo mecánico al "grado de agregación" de los muros.

Con tal término se pretende indicar en el estado actual del arte, más cualitativamente que en términos específicos, la "consistencia" de la estructura mural, en referencia a su estado de homogeneidad/continuidad y a su capacidad portante.

El muro se entiende entonces como una unidad estructural constituida por componentes heterogéneos, pero con una fragmentación o difusión que permite una lectura, en escala oportuna, de una "homogeneidad ideal" del material. En particular, de la característica referida al grado de continuidad de densidad física del material, subdividida en "clases de mérito", se define su individualización sobre la superficie del paramento mural: a cada lectura se puede trazar un mapa del estado de agregación de la manufactura mural en los distintos niveles medidos.

Con el fin de ejecutar un análisis correcto, generalmente se inducen, al material de prueba, ondas elásticas en correspondencia con los nodos de una retícula ideal, trazada sobre una de las dos superficies del muro y efectuando la serie de lecturas correspondientes a la velocidad de cruce por transparencia, sobre una retícula idéntica trazada sobre la superficie opuesta.

Los valores de las velocidades obtenidas, punto por punto, indican la mejor o peor transparencia a la onda elástica del elemento e individualizan las zonas de diferente grado de agregación.

En el caso en estudio, el análisis tenía la finalidad de comprender el estado de salud de la unidad de los muros portantes de la bóveda, parcialmente colapsada en el terremoto, y de los enlucidos sobre los cuales había frescos medievales.



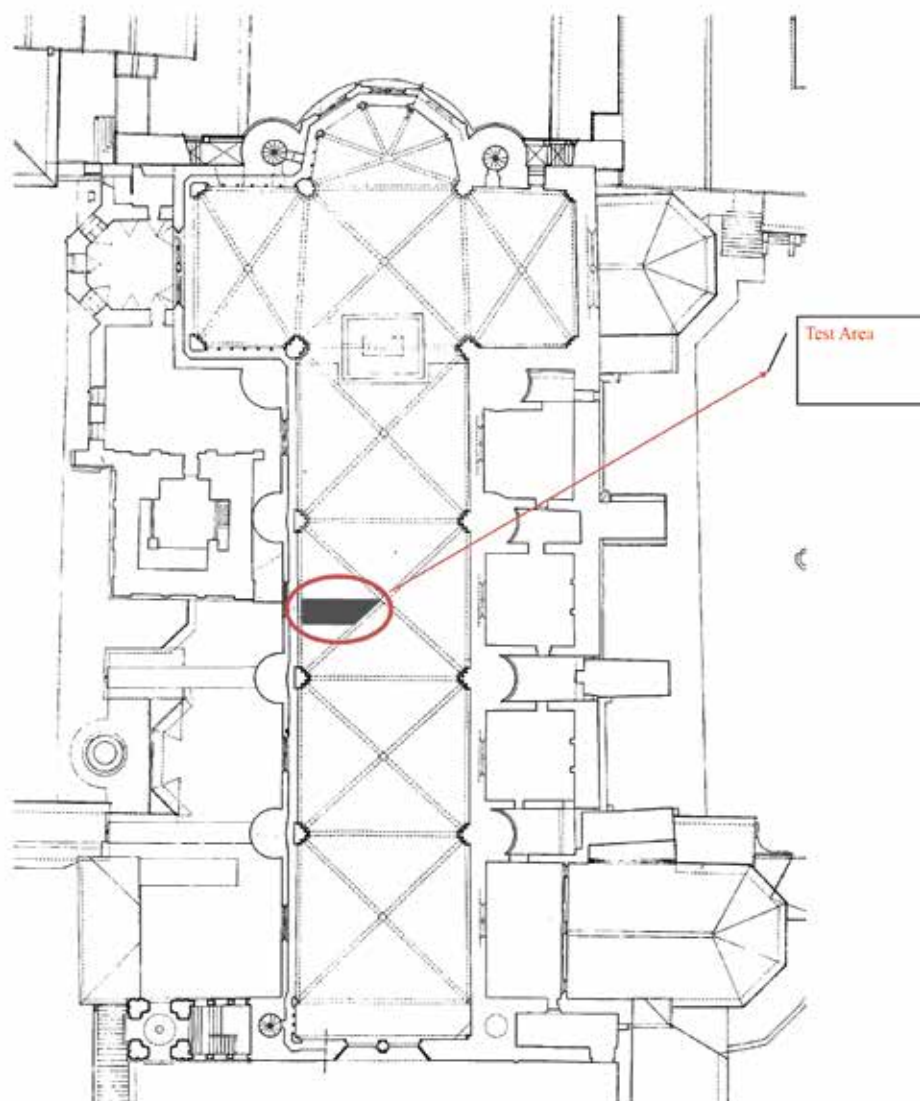
## EQUIPO E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Equipo CMS para prospección sónica a baja frecuencia de la BOVIAR SRL.

El equipo está compuesto de los siguientes elementos:

- \_ Unidad electrónica de adquisición y control de la medida.
- \_ Pocket Pc con enlace a USB y Bluetooth.
- \_ Punzón metálico instrumentado con sensor piezocerámico para el estribo.
- \_ Sonda "R" piezoresistente para el levantamiento de la onda transmitida.
- \_ Martillos con masa de 0.500 y 2000 gr.

La onda sónica se transmite al muro en estudio mediante el martillo y el punzón instrumentado y la medida del tiempo de fuga, entonces, la velocidad relativa, se calcula y visualiza por la central electrónica. Es posible analizar también la forma



Extracto  
planimétrico  
de la Basílica inferior  
con individualización  
del área estudiada

## METODOLOGÍA

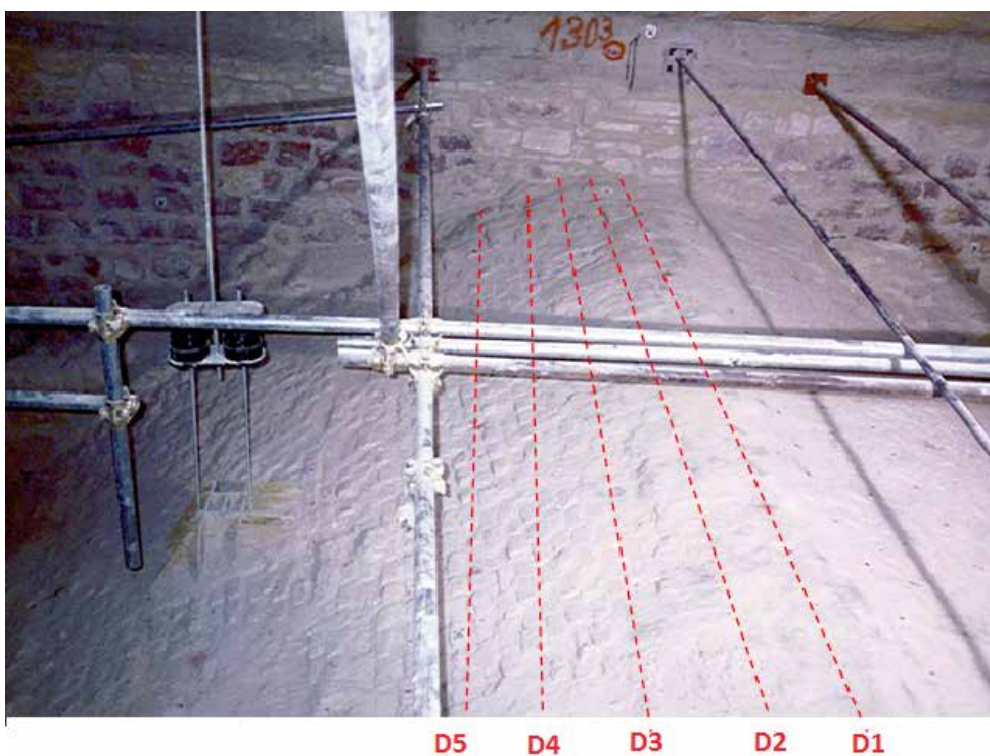
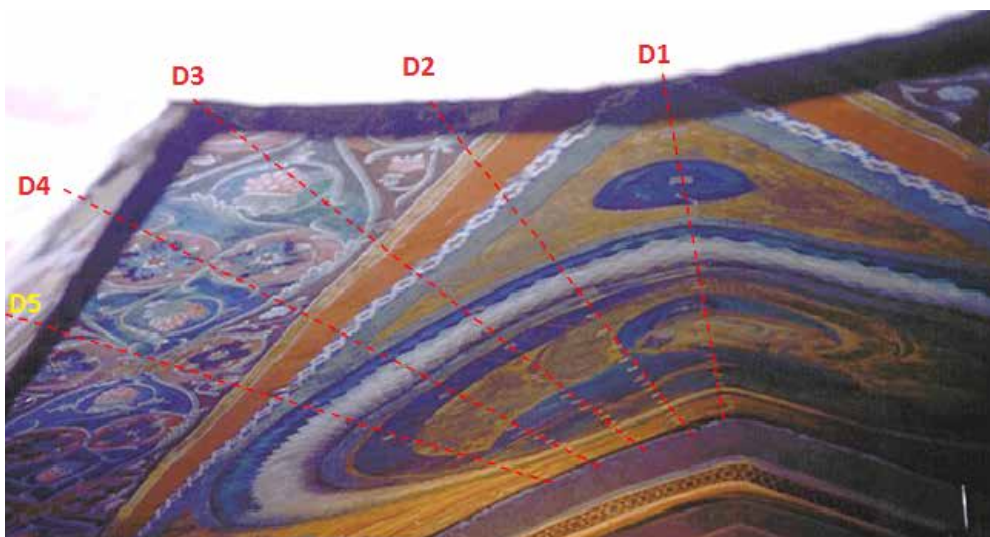
### MUESTRA DE MURO Y DEFINICIÓN DE LA RETÍCULA

Fue sujeto de prueba solamente una zona limitada del pabellón izquierdo de la tercera bóveda de la nave principal, computada a partir del ingreso principal.

La zona en estudio resulta bien individuada en los extractos planiméticos adjuntos.

La selección de esta zona fue dictada por factores contingentes como el acceso a ambas superficies (superior e inferior, que contiene frescos).

En el sector de la bóveda que se estudia se individuaron una serie de puntos (110 numerados), colocados a lo largo de cinco directrices (la primera coincide con la línea de cumbrera del pabellón y las otras colocadas a 20 cm de distancia), de forma tal que resultasen posicionadas en los vértices de una red a maya cuadrada con un lado largo de 20 cm.



## EJECUCIÓN DE LAS PRUEBAS

El método utilizado para la ejecución de las pruebas fue el de la transparencia directa. A los nodos recíprocos de las retículas se aplicó desde un lado el sensor sónico para la recepción (colocada siempre en la cara inferior enlucida y afrescada), y desde el otro (el superior) se transmitió el impulso.

El espesor de la bóveda varía entre 32 y 34 cm.

La cara inferior presentaba un sutil estrato de enlucido de espesor de alrededor de un centímetro y completamente afrescado.

La parte superior, sin enlucidos, tenía una superficie irregular; además, a lo largo de la directriz n. 1 se encontró una línea de material compuesto, utilizada para rigidizar de la bóveda misma.

Para cada "curso" (el segmento entre dos nodos recíprocos de una misma directriz), una vez establecido el espesor, se efectuaron de 4 a 7 trazados, levantando directamente, los valores de la velocidad de transmisión de la onda elástica que, después, fueron registrados y reportados en tablas adjuntas a excepción de los valores resultantes no coherentes a través del análisis de la forma de onda visualizada durante la adquisición de datos.

## RESTITUCIÓN DE RESULTADOS

Con el fin de la elaboración de datos, se tomaron en consideración solo los valores de velocidad máxima registrados para cada curso (base o nodo) asumiendo como relativos a los trayectos más breves seguidos de la onda.

La distribución de la población entera de los valores máximos levantados se representó en un diagrama de barras, agrupando los valores de la velocidad en 15 clases contiguas, de amplitud  $\pm 50$  m/s con respecto al valor central, comprendidos entre 750 y 2150 m/s.



## CONCLUSIONES

A la luz de lo anteriormente, podemos afirmar que todas las velocidades comprendidas en el intervalo 1200-1800 m/s son relativas a cursos que no presentan discontinuidad.

Valores inferiores pueden indicar la presencia de discontinuidad entre enlucido y ladrillo o, también, fracturas del mismo ladrillo. Otro factor que podría haber comportado errores en la evaluación de la velocidad, es el de no contar con un perfecto alineamiento de los vértices de las mayas (inferior y superior, diseñadas en el intradós de la bóveda); en tal caso el curso de tránsito podría haber tocado a dos ladrillos adyacentes y no a uno solo, si así fuera, el curso se alargaría y la onda atravesaría una unión de mortero que se necesitaría estudiar también.



quaderni di assorestauro

# QA stories

ENERO 2017 | CUBA02



## assorestauro®

Via Londonio 15 - 20154 Milano - Italy  
Tel/Fax +39 02-3493.0653  
segreteria@assorestauro.org  
www.assorestauro.org