

Autor
Ing Pasquale Crisci
Ing. Gennaro Di Lauro
Ing. Gianfranco Laezza



De la fase cognoscitiva al modelado a los elementos finalizados para el análisis estructural de edificios de mampostería

Introducción

Para preparar el análisis estructural de un edificio existente y el proyecto de intervención:

- _ Conocimiento de la obra,
- _ Modelado numérico del sistema resistente



Conocimiento del edificio

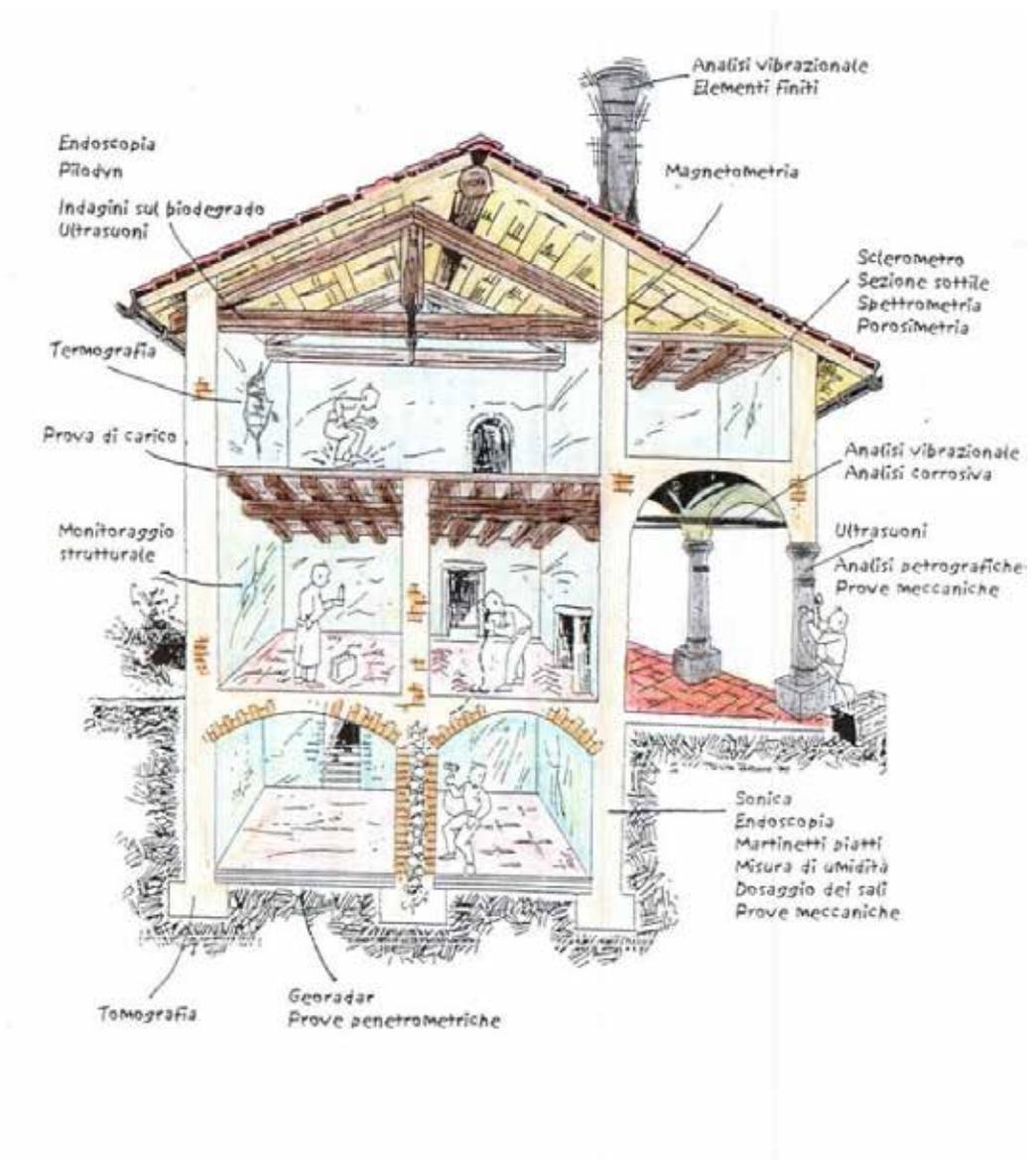
La fase del análisis diagnóstico-cognoscitivo asume un rol indispensable para la definición de las sucesivas operaciones de modelado, análisis y proyectación de las intervenciones.

Por lo tanto, resultan muy importantes los resultados suministrados por las distintas técnicas de análisis.

Los distintos métodos prueba permiten conocer con un grado de confianza suficientemente elevado las características mecánicas de los materiales in situ suministrando los parámetros indispensables para la formulación de un modelo de funcionamiento de la estructura en su totalidad.

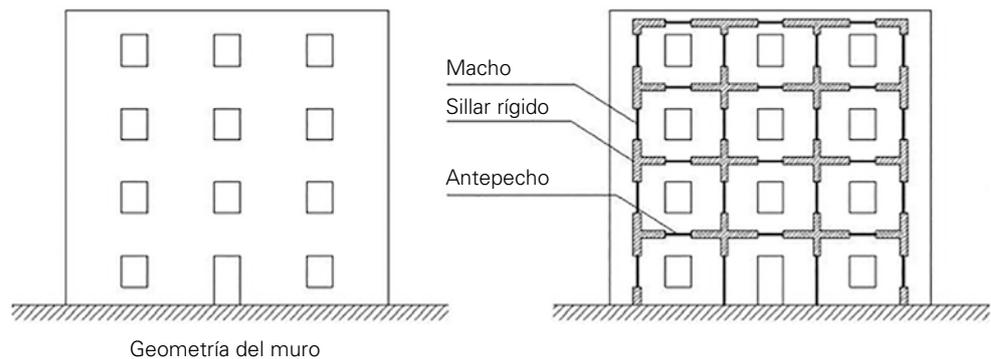
El estudio de las intervenciones a implementar en los edificios existentes es una operación muy delicada, ya sea por la naturaleza particular del problema mismo, que por la incerteza que acompaña el conocimiento de los materiales y la confianza de los resultados de los análisis y de los procedimientos de cálculo.

Es necesario entonces que los datos recolectados con los estudios sean, por calidad y cantidad, completamente representativos de las características de la obra.

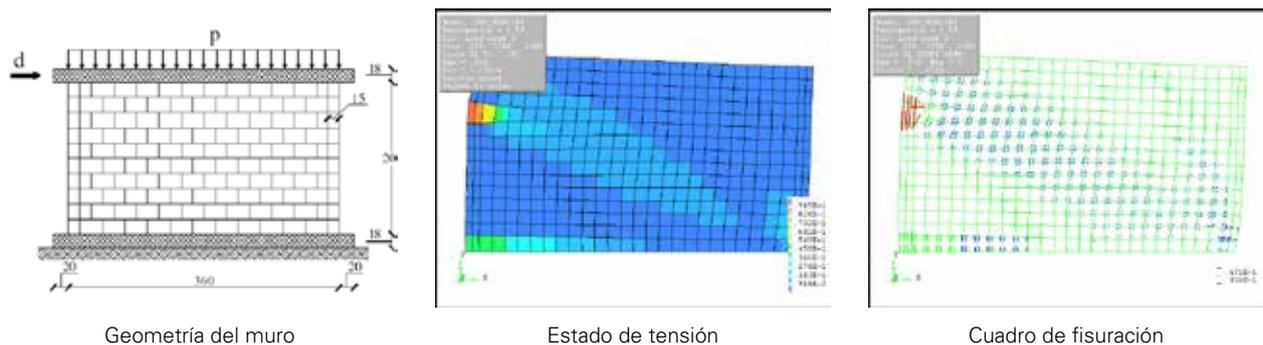


Modelado numérico

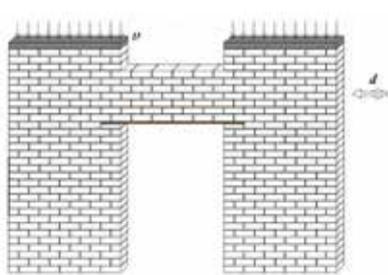
Análogamente, el procedimiento de modelado y de análisis de las estructuras es sumamente delicado. En base a los datos recolectados con los estudios (características geométricas, de materiales y de detalles constructivos) se nos presenta el objetivo de simular de la forma más realística posible el comportamiento estructural en comparación con las cargas verticales y con las acciones horizontales de los sismos. Muy diversos son los procedimientos de modelado que pueden encontrarse en la literatura. Seguramente aquellos más utilizados para el análisis de mecanismos locales de colapso y aquellos globales, se basan en modelos simplificados de tipo a macroelementos los cuales, reduciendo el número de grados de libertad del problema, simplifican el proceso de input y el del output con relativa interpretación de los resultados. Pertenecen a esta categoría, por ejemplo, aquellos métodos que se basan en la esquematización del muro de mampostería como un bastidor equivalente en el cual puntales y travesaños se constituyen respectivamente de paneles machos y vigas de antepecho. Los elementos machos y los elementos de antepecho vienen modelados como elementos viga dotados de rigidez axial, de flexión y de corte. Los nodos de intersección entre machos y antepechos se consideran infinitamente rígidos y resistentes. La crisis de un muro de mampostería por efecto de las acciones horizontales es causada generalmente por la rotura de los paneles que se vuelven más vulnerables por la progresiva pérdida de fuerza de los antepechos.



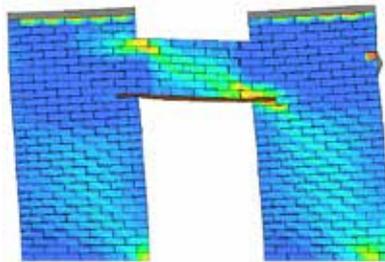
Se pueden también utilizar métodos a elementos finales más sofisticados que requieren el uso de estrategias de macro-modelado y micro-modelado. En el ámbito del macro-modelado el muro de mampostería generalmente se esquematiza a través de elementos finales (bidimensionales o tridimensionales) que describen el comportamiento mecánico de la mampostería como un material continuo, homogéneo e isótropo.



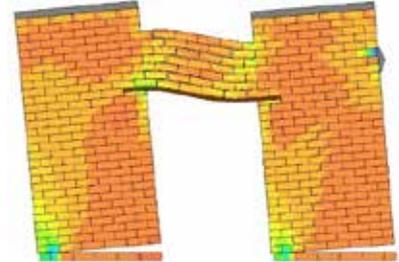
Los procedimientos de micro-modelado de detalle, se basan en el modelado de componentes individuales que conforman el total de mampostería; en particular vienen modelados los ladrillos y los morteros con elementos continuos. El comportamiento del elemento total viene después regulado por elementos específicos con un comportamiento no lineal que describen las propiedades mecánicas de la interfaz mortero-ladrillo.



Geometría del muro



Estado de tensión



Cuadro de fisuración

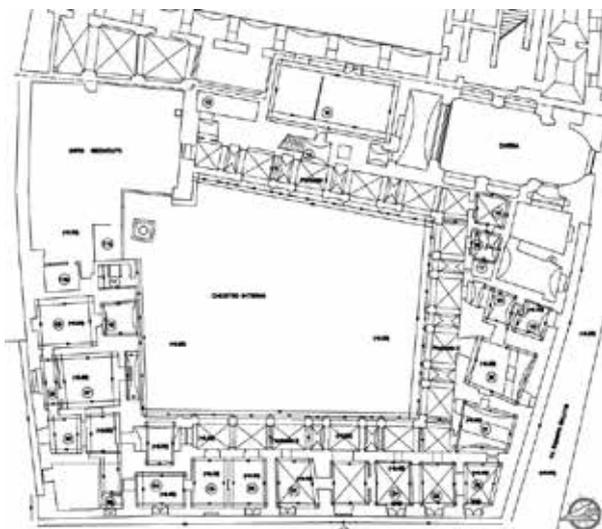
Complejo del Espíritu Santo Aversa (CE) - Italia

La campaña de estudios y análisis del comportamiento estructural se llevó a cabo en el ámbito del proyecto de adecuación funcional del un ex convento a destinarse como residencia universitaria.

ANÁLISIS HISTÓRICO-CRÍTICO

El complejo del Espíritu Santo está ubicado en el corazón de la ciudad normanda de Aversa, en la ampliación del siglo XII entre el primer y el segundo anillo radial, en proximidad de la Catedral y del complejo de obispos, sede de las Clarisas de S. Francisco establecidas en Aversa por vez primera en 1562.

Después de la unidad de Italia (1868) el complejo conventual se suprime y es destinado a un Gimnasio. Después de la segunda guerra mundial algunos locales fueron



Planta



Vista externa



1

1. Patio central y porticados internos.

2. Iglesia del Espíritu Santo

3. Prueba con martinete plano doble.

4. Análisis endoscópico

reparados, reconstruyendo las cubiertas, recuperando los muros y sustituyendo los cerramientos y pavimentos.

Con la deslocalización de las escuelas, el complejo que no tenía mantenimiento por falta de uso fue cedido de la municipalidad al ADISU que lo destinó a una residencia universitaria.

El edificio está vinculado de acuerdo al Código de Bienes Culturales italiano.

LEVANTAMIENTO GEOMÉTRICO-ESTRUCTURAL

Se procedió al levantamiento plano-altimétrico del edificio, con la sucesiva restitución gráfica de plantas, secciones y particulares constructivos.

ANÁLISIS DIAGNÓSTICO-COGNOSCITIVO.

La campaña de análisis consistió en la ejecución de pruebas enfocadas a la identificación de la tipología constructiva y a la caracterización mecánica de los materiales, además de los detalles constructivos de mampostería, bóvedas, cimentación y entresijos.

Toda esta información se fundamenta para la definición del modelo numérico de cálculo.



2



2



3



4

5. Prueba de compresión diagonal

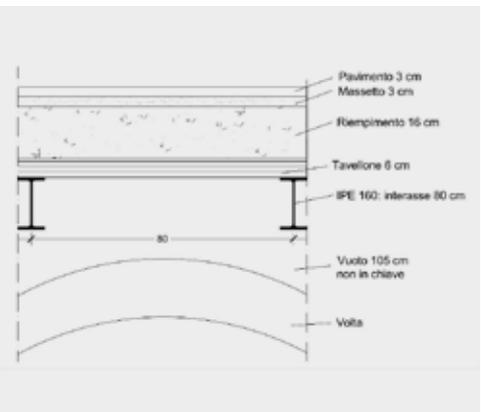
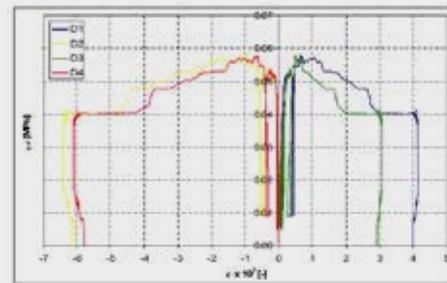
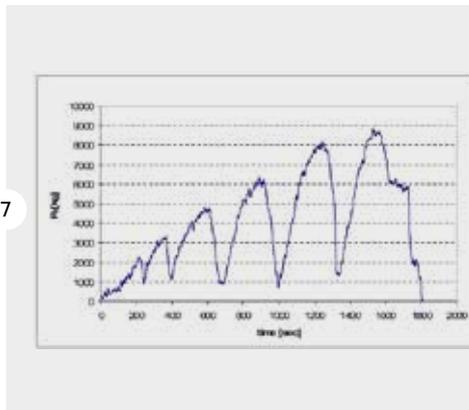
6. Corte a vista

7. Prueba de compresión diagonal: historia de carga

8. Prueba de compresión diagonal: diagrama de tensión-deformación

9. Corte a vista en un entrepiso en fierro sobre una bóveda

10. Corte a vista en cimentación



Prueba de compresión diagonal en sitio – Metodología de prueba. La prueba de compresión diagonal tiene el fin de determinar la resistencia y la rigidez al corte de los paneles de mampostería. La prueba se codifica por la norma ASTM E 519-81 y generalmente es realizada en paneles cuadrados de 120 x 120 cm de dimensión. En la versión in situ, el panel se aísla de los muros que lo rodean mediante cuatro cortes realizados con hilo diamantado o sierra circular. La prueba en sitio se diferencia de la de laboratorio por la parte inferior del panel, que se mantiene sujeta a la mampostería del muro; análisis teóricos y numéricos han indicado que tal sujeción, al menos en fase elástica tiene una influencia mínima en los resultados.

Las herramientas de prueba consisten en una serie de elementos metálicos dispuestos a dos ángulos de una de las diagonales del panel. En uno de estos dos ángulos se posiciona un martinete hidráulico que reacciona entre los dos elementos metálicos, de los cuales, el interno se apoya al ángulo del panel y el externo se une mediante barra de acero al elemento metálico colocado en el ángulo opuesto al primero. Se realiza entonces un sistema cerrado en el cual el martinete estimula al panel a lo largo de la diagonal. El panel está instrumentado con 4 transductores de desplazamiento dispuestos a lo largo de las diagonales en ambos lados, a fin de medir las deformaciones de carga.

IDENTIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA.

Características mecánicas de la mampostería	
Parámetros	valor
f_m	36,3 daN/cm ²
t_o	0,63 daN/cm ²
E	10.500 daN/cm ²
G	3.600 daN/cm ²
W	16 KN/m ³

ANÁLISIS DE CARGAS

VOLTA A BOTTE							
PESO PROPRIO - PERMANENTI STRUTTURALI							
	Peso unità di [kN/m ³]	Lunghezza [m]	Larghezza [m]	Altezza [m]	Peso [KN/m ²]	Peso [KN]	Peso [KN]
Tufo	16,0				5,10		
Riempimento 30 cm	16,0	1,00	1,00	0,30	4,80		
Rinfianco	16,0				7,00		
TOTALE					16,90	201,53	40,31
						<i>in c.t.</i>	40,35
PERMANENTI NON STRUTTURALI							
	Peso unità di [kN/m ³]	Lunghezza [m]	Larghezza [m]	Altezza [m]	Peso [KN/m ²]	Peso [KN]	Peso [KN]
Intonaco	16,00	1,00	1,00	0,02	0,32		
Massetto	15,00	1,00	1,00	0,00	0,00		
Pavimento					0,40		
TOTALE					0,72	8,59	1,72
						<i>in c.t.</i>	1,75
VARIABILI							
					[KN/m ²]	[KN/m]	
Cat. A - Alberghi / Residenze					3,00	1,50	

Modelado numérico

El elemento finito modelización necesarias para el análisis del comportamiento estructural del edificio es el cual se llevó a cabo de conformidad con la Directiva de 2011, que establece, para la evaluación de seguridad, tres diferentes niveles de aumento de la integridad.

En el caso específico, la complejidad estructural del sistema requiere el uso de los tres niveles verificación.

En particular, se llevaron a cabo los siguientes procedimientos de verificación:

- Compruebe mundial simplificado - LV1;**
- Verificación de los mecanismos locales de colapso - LV2;**
- Compruebe precisa mundial - LV3.**

NIVEL LV1

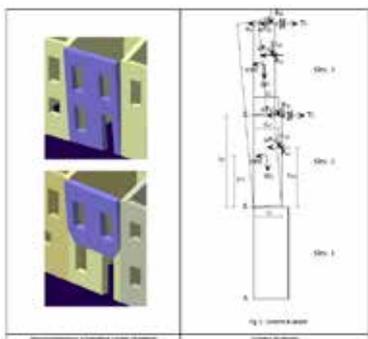
Nivel LV1

El análisis global simplificado se ejecutó para conocer el estado actual, el método simplificado "VM – Valoración de la vulnerabilidad de edificios en Mampostería". La resistencia global del edificio se evaluó para cada planta como una sumatoria de las resistencias al corte de los muros de mampostería individuales.

NIVEL LV2

Los análisis de mecanismos locales de colapso se llevaron a cabo de acuerdo al punto C8A.4 de la Circular NTC. Gracias a un análisis atento de la geometría del edificio, fue posible individual macroelementos susceptibles a inestabilidad e hipotizar los relativos mecanismos locales. En particular, se individuaron y analizaron los siguientes mecanismos de colapso: inclinación simple de muro monolítico, inclinación compuesta de cuña diagonal, rotura por flexión vertical, ecc.

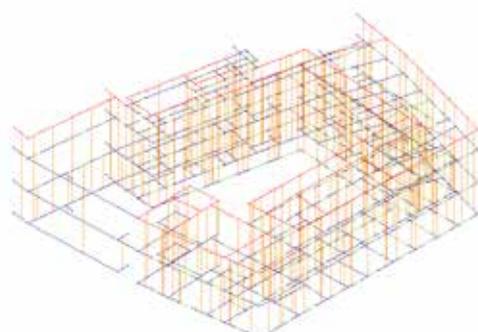
Nivel LV2 – representación esquemática de muro en inclinado y esquema de cálculo



NIVEL LV3

Los análisis numéricos globales y sus relativas verificaciones se condujeron bajo el modelo a bastidor equivalente utilizando el método de análisis estático no lineal – pushover de acuerdo al procedimiento presentado por la NTC 2008 y su relativa circular 617/2009. Particular atención se puso al hecho de que el edificio se encontrara en un complejo edilicio. Se analizaron y tomaron en cuenta todas las interferencias con las construcciones antiguas.

La evaluación de la seguridad se condujo respetando el Cap. 8 de las "NTC", para el "Estado Límite Último – SLU (por sus siglas en italiano)", con referencia al "Estado Límite de Daño – SLD (por sus siglas en italiano)" y al "Estado Límite de Operatividad – SLO (por sus siglas en italiano)".



Nivel LV2 – representación esquemática de muro en inclinado y esquema de cálculo

Nivel LV3 – vista FEM de la estructura – Modelo a bastidor equivalente



CENTRO DE FORMACIÓN PARA
LA RESTAURACIÓN Y EL DISEÑO

Calle de Sant Ignazio, Lhabana Vieja, Cuba

PROYECTO ARQUITECTÓNICO Y DISEÑO DE INTERIORES

Adaptación funcional y de las instalaciones

AGENDA MISIÓN:
CENTRO DE FORMACIÓN PARA LA RESTAURACIÓN Y EL DISEÑO.
SAN IGNACIO 314
12 – 15 Julio 2016

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DEL PROYECTO EJECUTIVO
ESCUELA EN OBRA: ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Prot. A06_004_01CRONO_Rev.00

date: 12.07.2016

TEAM

Financiador

MISE | Ministerio de Desarrollo Económico



Ministero delle Sviluppo Economico

Actuador

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



ITALIAN TRADE AGENCY
ICE - Italian Trade Commission
Trade Promotion Office of the Italian Embassy

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

assorestauoro

Socios Operativos

FEDERLEGNOARREDO

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



PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DEL PROYECTO EJECUTIVO 12 – 15 Julio 2016

Hora	Actividad	Participantes	Lugar
Martes 12 de julio de 2016			
9:30-11:00 am	Reunión inicial de recibimiento Encuentro para la discusión y revisión del proyecto técnico ejecutivo elaborado por la parte italiana.	Unidad Presupuestada de Inversiones DCRI Empresa Restaura Escuela Taller Assorestauo	Edificio Conde Cañongo
12:00-1:30 pm	Reunión con el director de la empresa de importadora para la definición de los mecanismos de suministros: <ul style="list-style-type: none"> Borrador del contrato Lista de documentos para la acreditación en la lista de proveedores 		Edificio Empresa Importadora
3:00-5:00 pm	Continuación del encuentro para la discusión y revisión de la especialidad de arquitectura y diseño de interiores		Edificio Conde Cañongo
Miércoles 13 de julio de 2016			
10:30-12:00 am	Reunión inicial de recibimiento Encuentro para la discusión y revisión del proyecto técnico ejecutivo elaborado por la parte italiana.	Unidad Presupuestada de Inversiones DCRI Empresa Restaura Escuela Taller Assorestauo	Edificio Conde Cañongo
2:00-5:00 pm	Continuación del encuentro para la discusión y revisión de la especialidad de arquitectura y diseño de interiores		
Jueves 14 julio de 2016			
9:00-12:00 am	Encuentro para la discusión y revisión de la especialidad de electricidad, clima, sistema domótico e hidrosanitario	Unidad Presupuestada de Inversiones DCRI Empresa Restaura Escuela Taller Assorestauo	Edificio Conde Cañongo
2:00-5:00 pm	Cierre de la revisión del proyecto. Dictamen final		
Viernes 15 de julio de 2016			
9:00-12:00 am	Encuentro para la revisión de los listados de materiales y sus características	Unidad Presupuestada de Inversiones DCRI Empresa Restaura Escuela Taller Assorestauo	Edificio Conde Cañongo
2:00-5:00 pm	Reunión de Conclusiones para programar actividades, tiempos de obra y próximas misiones.		

ESCUELA EN OBRA: ANÁLISIS ESTRUCTURAL

13 – 14 Julio 2016

Coordinador: Alessandro Bozzetti

Miércoles 13 de julio de 2016		
9:00-9:20 am	SESIÓN DE APERTURA Nelys Garcia OHcH Alessandro Zanini Presidente Assorestauo Emanuele Orsini Presidente Assolegno - Federlegnoarredo	
9:20-9.50 am	Tatiana Fernandez de los Santos Alessandro Bozzetti	Presentación ESCUELA EN OBRA Presentación del taller y su agenda con la introducción metodológica de la senda del conocimiento
9:50-10.30 am	Pasquale Crisci Aires Ingegneria	La creación del modelo de cálculo numérico a partir del relevamiento geométrico - estructural y del análisis histórico crítico; La implementación del modelo de cálculo con los resultados de la investigación diagnóstica-cognitiva.
10.30-10.50 am	INAUGURACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DEL CENTRO Programa de formación Perla Rosales Aguirreurreta Directora general adjunta de la Oficina del Historiador de La Habana Carlo Calenda Ministro dello Sviluppo Economico Andrea Griletto Direttore Tecnico Assorestauo	Presentación del proyecto
10.50-11.00 am	CÓCTEL DE INAUGURACIÓN	
11.00-11.15 am	Visita a la obra reservada para la Directora de la OHcH y el Ministro Carlo Calenda	

11.00-12.00 am	Cristiano Russo SPC – Studio Progettazione e Controlli	<p>Pruebas en las estructuras de mampostería:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Investigaciones por videoendoscopia - Herramienta de corte específico (Martinetto de plato individual) - Herramienta de corte específico (Martinetto de platos dobles) - Prueba de corte - Pruebas sónicas - Pruebas en los tipos de morteros - Extracciones y pruebas de laboratorio - Pruebas dinámicas en las cadenas <p>Pruebas de las juntas en las estructuras:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pruebas de carga estática - Pruebas de carga dinámica y problema de vibración <p>Monitoreo estructural (estático y dinámico)</p> <p>Aplicaciones Oleodinámicas especiales</p> <ul style="list-style-type: none"> - Desmontaje, transporte y montaje de la Estela de Axum - Catedral de Noto - Anfiteatro Romano de Ancona - Palazzo Altemps - Universidad Gregoriana - Palazzo Poli
12.00-2.00 pm	Pausa para el almuerzo	
ACTIVIDADES EN OBRA		
2.00-6.00 pm	Cristiano Russo SPC – Studio Progettazione e Controlli	Prueba de carga sobre una viga "muestra" Prueba dinámica de la cadena / lazo Prueba sónica en la albañilería
6.00-6.30 pm	Discusión abierta y finalización de los trabajos	

Jueves 14 julio de 2016		
9.00-10.30 am	Riccardo De Ponti LegnoDOC s.r.l.	<p>Investigaciones sobre las estructuras de madera in situ.</p> <p>Inspección de diagnóstico</p> <ul style="list-style-type: none"> • planificación de la inspección • ejecución de la inspección <ol style="list-style-type: none"> 1. Inspección ocular 2. inspección instrumental <p>Ejemplos de aplicación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Iglesia de San Pablo (PISA) • Ex Ospedale San Agustín (Modena) • Iglesia de la Natividad (Belén) <p>Técnicas de diagnóstico complementarias para localizar estructuras de madera no visibles. Aplicaciones prácticas en las iglesias coloniales de Santiago de Cuba</p>
10:30-11.00 am	Pasquale Crisci Aires Ingegneria	Evaluaciones de la actualización del modelo de acuerdo con los resultados de las investigaciones de diagnóstico del lugar de trabajo
11.00-12.00 am	Gennaro Di Lauro Aires Ingegneria	Desde el modelado hasta el análisis del comportamiento estructural; El modelado numérico y el análisis estructural del edificio sede del "Centro de formación para la restauración y el diseño ítalo-cubano";
12.00-2.00 pm	Pausa Pranzo	
ACTIVIDADES EN OBRA		
2.00-5.00 pm	Riccardo De Ponti LegnoDOC s.r.l.	<p>Ejecución de pruebas resistográficas con equipos controlados electrónicamente: principio de funcionamiento y modo de ejecución.</p> <p>Pruebas sónicas para determinar la posible presencia y localización de cavidades / madera dentro de la mampostería.</p> <p>Pruebas termográficas para determinar la posible presencia de estructuras de madera escondidas por recubrimientos.</p>
5.00-6.00 pm	Attività presso il cantiere Aires Ingegneria Pasquale Crisci Ing. Gennaro Di Lauro	Aplicación del modelo matemático con los datos de las investigaciones - Discusión en el lugar de trabajo
6.00-6.30 pm	Discusión abierta y finalización de los trabajos	