

Geología de los materiales de construcción de la Iglesia de Santa Maria degli Angeli de Alì Superiore (Sicilia nororiental, Italia)

Geology of the construction materials of the church of Santa Maria degli Angeli in Alì Superiore (NE Sicily, Italy)

G. Cultrone ⁽¹⁾, C.F. López Rodríguez ⁽¹⁾, S. Gambuzza ⁽²⁾ y E. Sebastián ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departamento de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. Avda. Fuentenueva s/n, 18002 Granada. cultrone@ugr.es; cflopro@correo.ugr.es; rolando@ugr.es

⁽²⁾ Provincia Regionale di Catania. Via Nuovaluce 67a, 95030 Tremestieri Etneo (Catania, Italia). gambuzzasalvo@tiscali.it

ABSTRACT

This study deals with the petrographic analysis of a great variety of construction materials used to build a 16th century church in NE Sicily. X-ray diffraction and optical microscopy techniques were useful to establish the composition and the texture of natural stones (phyllites, schists, marbles and volcanic scoriae) and artificial materials (mortars and bricks). The quarry areas of natural stones are located around the church where they can be correlated to geological formations. Information about mortars and brick production is provided.

Key words: mineralogy, texture, building materials, Architectural Heritage, Sicily

Geogaceta, 43 (2007), 55-58
ISSN: 0213683X

Introducción

La alteración del Patrimonio Arquitectónico es un fenómeno muy común, puede ser más o menos acentuado pero es continuo en el tiempo y es la causa de pérdidas, casi siempre irreversibles, de los monumentos (Winkler, 1987). En muchos casos la durabilidad de los materiales de construcción no es fácil de prever por la cantidad de variables que pueden entrar en juego (Price, 1996). Una correcta caracterización petrográfica de los materiales pétreos utilizados en las edificaciones monumentales así como la determinación de su procedencia geográfica y/o geológica es, sin duda, una de las primeras fases a acometer cuando se quiere intervenir y rehabilitar un edificio histórico fuertemente deteriorado como es el caso que se recoge en este trabajo.

La Iglesia de Santa Maria degli Angeli (Fig. 1) se encuentra ubicada en Alì Superiore, pueblo de la provincia de Messina (Sicilia nororiental, Italia). Geológicamente, el sector nororiental de la isla de Sicilia está compuesto por materiales metamórficos (Cadena Kabilo-Calabride) recubiertos en parte por sedimentos mesozoico-terciarios (Ferla, 2000). Las rocas metamórficas son el producto de la deformación del antiguo margen de la corteza continental europea de edad Hercínica (Atzori y Vezzani, 1974) que han permitido el desarrollo de los

Montes Peloritani. Las unidades estructuralmente más altas están caracterizadas por rocas de grado metamórfico más alto. Superiormente y en trasgresión con la Cedena Kabilo-Calabride y sobre las unidades más internas de la Cadena Apenínico-Magrebide se han depositado las areniscas del Flysch de Capo de Orlando de edad Chattiense inferior-Aquitaniense.

En la zona de situación de la iglesia afloran parte de las Unidades Kabilo-Calabrides, estando representadas por la Unidad del Aspromonte y la Unidad de Alì. De la primera Unidad afloran únicamente metafemitas (anfíbolitas s.l., metahornblenditas, mataperidotitas y escasas granulitas) intercaladas con pragneises. Pertenecientes la Unidad de Alì afloran metasisiltitas y metarenarias gris oscuras del Devónico-Carbonífero inferior; metarenarias y metasisiltitas rojo-amarillentas en facies de tipo "Verrucano" del Triásico superior-Hettangiano; filitas, metarenitas, cuarcitas, metabasitas y porfiríodes; mármoles grises oscuros en gruesos bancos.

Construida en 1574, la Iglesia de Santa Maria degli Angeli tiene adosado un convento de la orden de los capuchinos. Ambos edificios fueron ampliados en 1589. La iglesia fue intervenida en una restauración llevada a cabo en 1835.

La iglesia presenta planta rectangular y una única nave de 23 m de longitud por 7,80 m de ancho y 9 m de altura. El ábside en forma

de "tribuna", típico del siglo XIV, se separa de la nave mediante un imponente arco de medio punto. En el área absidal una estrecha escalera en piedra conduce a la subyacente cripta de forma rectangular.

Para acceder a la iglesia se debe previamente cruzar un atrio, antiguamente cubierto por una bóveda en arista. Un portal en piedra con arco en dintel une el atrio con la nave.

En la fecha del muestreo (diciembre 2004) la iglesia se encontraba en un estado de conservación pésimo, con parte de los muros muy deteriorados y las cubiertas caídas (Fig. 2a). Solo en algunas zonas quedaban restos de revocos. Clasificando las formas de deterioro macroscópico observadas

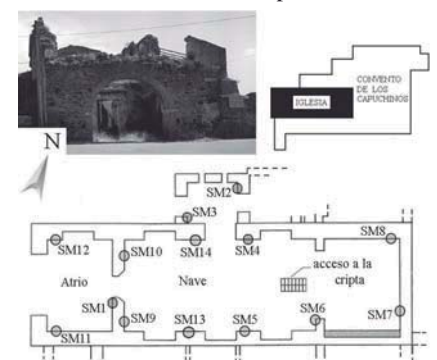


Fig. 1.- Aspecto general la iglesia de Santa Maria degli Angeli, planta y situación de las muestras SM 1 a SM 14.

Fig. 1.- General view of Santa Maria degli Angeli church, map and location of SM1 to SM 14 samples.

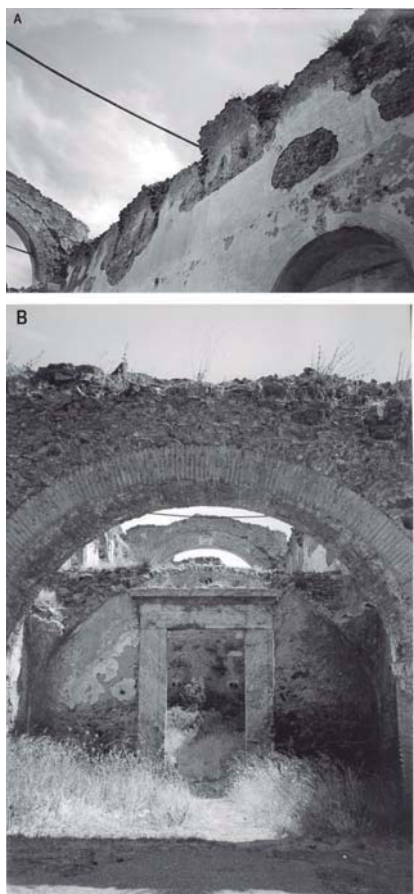


Fig. 2.- Ejemplos de deterioro de la iglesia: a) desprendimiento de las bóvedas; quedan únicamente los puntos de arranque; b) presencia de plantas superiores en el interior y en las paredes de la iglesia.

Fig. 2.- Examples of deterioration forms in the church: a) vaults detachments; only the starting points remain; b) vegetation in the interior and walls on the church.

en la iglesia según la normativa NORMAL 1/88 (1988), la más extensa es el desarrollo de vegetación tanto en las paredes como en el pavimento de la iglesia (Fig. 2b). No menos importantes son la presencia de fisuras y fracturas que disminuyen la estabilidad de los restos de la estructura.

El examen detallado ha revelado la gran variedad de materiales utilizados (rocas magmáticas, rocas metamórficas, ladrillos y morteros) en la construcción de este edificio religioso. El estudio tiene como objetivo la caracterización petrográfica de los diferentes materiales de construcción de la Iglesia de Santa Maria degli Angeli, con el fin de establecer, para la piedra natural empleada, la ubicación de posibles zonas de extracción de estos materiales en base a la cartografía geológica de la zona, y para los materiales artificiales, las técnicas de elaboración, lo cual tiene interés para futuras intervenciones de restauración.

Materiales y métodos

Se han recogido 14 muestras de materiales procedentes de las zonas internas de los muros de la Iglesia (Fig. 1), todas ellas a una altura de aproximadamente 1,5 m; una parte corresponden a piedra natural (SM 1, SM 3, SM 4, SM 8, SM 11 y SM 13 son rocas metamórficas y SM 14 es una roca magmática), otra parte son materiales de construcción artificiales, ladrillos macizos (SM 5, SM 6, SM 7, SM 9 y SM 12).

La caracterización petrográfica de las muestras se ha estudiado mediante microscopía óptica de polarización (MOP) con un equipo Olympus BX-60 equipado con una fotocámara digital Olympus DP-10 con control manual de sensibilidad. La difracción de rayos X (DRX) ha corroborado y complementado la información obtenida con el microscopio petrográfico permitiendo conocer la composición mineralógica de los materiales de construcción; para ello se ha utilizado un difractómetro Philips PW 1710 equipado con rendija automática. La interpretación de los datos se ha llevado a cabo mediante programas informáticos (Martín Ramos, 2004). Para el análisis semicuantitativo de las fases minerales se ha utilizado el poder reflectante de cada fase, de acuerdo con los métodos propuestos por Culliti (1956) y Rodríguez Gallego *et al.* (1968).

Resultados

Petrografía de los materiales de construcción

Piedra natural

Las piedras naturales muestreadas en la iglesia son rocas metamórficas y magmáticas. Entre las rocas metamórficas se reconocen tres litologías: filitas (SM 13), esquistos de muy bajo grado (SM 3, SM 4, SM 8 y SM 11) y mármoles (SM 1). La muestra SM 13 es una roca de color gris oscuro, marcada esquistosidad, tamaño de grano muy fino y contiene pátinas de óxidos. Además de la foliación se observa un plegamiento muy suave. El análisis al microscopio ha revelado un bandeo alternante de filosilicatos (moscovita y clorita) y de grafito y cristales de cuarzo de tamaño muy pequeño (Fig. 3a). En algunos puntos se observan pliegues.

Las muestras SM 3, SM 4, SM 8 y SM 11 tienen una marcada esquistosidad, a favor de la cual se desarrollan sistemas de microfracturas, algunas de ellas rellenas con cuarzo de tamaño de grano medio y otras sin relleno (Fig. 3b). En cuanto a la mineralogía, mayoritariamente se componen de filosilicatos con hábito laminar

(clorita y, sobre todo, moscovita) y cristales de cuarzo de tamaño muy pequeño. Ocasionalmente se observan menas metálicas y óxidos de hierro (probablemente hematitas). Estas rocas presentan grados de deformación diferentes ya que la muestra SM 8 no presenta líneas evidentes de deformación; la muestra SM 4 sólo presenta una marcada foliación y tamaño de cristales muy fino; la muestra SM 11, además de la foliación del caso anterior, presenta pliegues apretados tipo "chevron"; la muestra SM 3 muestra dos etapas de deformación, la primera que genera la foliación y la segunda, perpendicular a esta, que genera su plegamiento, generando estructuras sigmoidales.

Entre los mármoles se ha identificado la muestra SM 1. Se trata de una roca de color gris oscuro, textura sacaroidea y sin orientación preferente. Presenta grietas rellenas de calcita de color crema (carbonato secundario). Microscópicamente, la roca se compone mayoritariamente por cristales de calcita de tamaño inferior a 500 μ m. Ocasionalmente se observan cristales de cuarzo de aspecto redondeado y extinción ondulante (Fig. 3c). Se encuentra también una matriz oscura en algunas de las fisuras, difícilmente identificable debido a su escasez y tamaño de cristal muy pequeño.

En cuanto a las rocas magmáticas, una de las muestras estudiadas pertenece a este grupo, la SM 14. Se trata de una escoria volcánica de color negro fuertemente vacuolar. Al microscopio se reconocen fenocristales de plagioclasas maclados albita y ocasionalmente zonados, y menores cantidades de clinopiroxeno (Fig. 3d). Los poros tienen morfología redonda o alargada. La matriz contiene una elevada cantidad de vidrio y la textura es porfídica seriada.

En la tabla I se resumen las concentraciones de las fases minerales presentes en las muestras arriba mencionadas y determinadas por difracción de rayos X. En casi todas, el cuarzo (Qtz) es la fase mineral más abundante, además de filosilicatos como moscovita (Ms) y clorita (Chl). Estos tres minerales están ausentes únicamente en la muestra SM 14, que está constituida por plagioclasa cálcica (Pl) y piroxeno de composición augítica (Px). El cuarzo se encuentra en muy escasas proporciones también en la muestra SM 1, mayoritariamente compuesta por calcita. El grafito (Gr) ha sido detectado en las muestras SM 1 y SM 130

Morteros

Las muestras SM 2 y SM 10 tienen un aspecto poco compacto y color blanquecino. Al microscopio se ha podido averiguar que se trata de morteros de cal donde el aglomerante está compuesto por calcita y el árido por cuarzo y fragmentos de rocas

		Qtz	Cal	Dol	Ms	Chl	Gr	Fds	Geh	Gyp	Wo+Di	Pl	Px
A	SM 1	*	***	*			*						
	SM 3	***			*								
	SM 4	***			*	*							
	SM 8	***			**	*							
	SM 11	***			**	*							
	SM 13	***			**	*	*						
B	SM 14											***	*
C	SM 2	***	**		**								
	SM 10	***	**		**								
D	SM 5	***	**					**		*			
	SM 6	***						*	*		**		
	SM 7	***	**		**			*					
	SM 9	***	**		*					**			
	SM 12	***						**	*		**		

Tabla I.- Análisis semicuantitativo de las fases minerales presentes en los materiales de construcción de la iglesia de Santa María de los Ángeles. Leyenda: Qtz = cuarzo; Cal = calcita; Dol = dolomita; Ms = moscovita; Chl = clorita; Gr = grafito; Fds = feldespato; Geh = gehlenita; Gyp = yeso; Wo+Di = wollastonita + diópsido; Pl = plagioclasa; Px = piroxeno; * = muy abundante; ** = abundante; * = escaso o en trazas. A: rocas metamórficas; B: roca magmática; C: morteros; D: ladrillos.**

Table I.- Semi-quantitative analysis of the mineral phases identified in the construction materials of Santa Maria degli Angeli church: Legend: Qtz = quartz; Cal = calcite; Dol = dolomite; Ms = muscovite; Chl = chlorite; Gr = graphite; Fds = feldspar; Geh = gehlenite; Gyp = gypsum; Wo+Di = wollastonite + diopside; Pl = plagioclase; Px = pyroxene; * = very abundant; ** = abundant; * = scarce or in traces. A: metamorphic rocks; B: magmatic rock; C: mortars; D: bricks.**

metamórficas (esquistos). El tamaño medio del árido es de 1-2 mm con un centil de 3 mm y una morfología irregular (Fig. 3e). Ocasionalmente se reconocen también cristales de feldespato potásico con maclas de tipo albita-periclina. El análisis por DRX confirma la misma mineralogía detectada por microscopía óptica según el siguiente orden de abundancia: cuarzo, calcita y moscovita (Tabla I).

Ladrillos

Macroscopicamente, los ladrillos son de color rojo o amarillo y muestran un aspecto compacto. Al microscopio petrográfico, los ladrillos pueden clasificarse en dos grupos: con restos de fósiles y sin fósiles. En el primer grupo se encuentra la mayoría de los ladrillos; estos han sido cocidos a baja temperatura, como en el caso de las muestras SM 7 y SM 9 o bien a una temperatura más alta (muestras SM 6 y, sobre todo, SM 12). Si la temperatura de cocción ha sido baja, es decir inferior a 900 °C, se reconocen foraminíferos planctónicos, óxidos de hierro (presumiblemente hematites) que confieren un aspecto rojizo a la matriz, y cristales de moscovita con colores de interferencia que llegan hasta el azul de 2º orden (Fig. 3f). Cuando la temperatura de cocción ha superado los 900 °C, los carbonatos se descomponen quedando en su lugar nuevos poros cuyas morfologías responden a las de los fósiles preexistentes. Los filosilicatos modifican sus propiedades ópticas debido al fenómeno de la deshidroxilación (Rodríguez Navarro *et al.*, 2003) aunque siguen manteniendo la misma morfología. La matriz reduce sensiblemente su birrefringencia, señal de su

elevada vitrificación y la mayoría de los poros asumen una morfología redonda (“estructura celular” de Tite y Maniatis, 1975). En el otro grupo de ladrillos se encuentra la muestra SM 5. Se trata de un ladrillo cocido a temperatura inferior a 900 °C y parecido a los ladrillos SM 7 y SM 9 excepto por los fragmentos de carbonatos que no son fósiles sino calizas

micríticas con morfología irregular. Común a todos los ladrillos son los fragmentos de cuarzo que constituye el desgrasante principal de estos materiales. Por desgrasante nos referimos a las partículas de tamaño mayor o igual a 2 mm ya presentes en la materia prima arcillosa o que se añaden en el amasado para disminuir la plasticidad y la retracción de las piezas cerámicas durante la fase de secado. Raramente aparecen cristales de plagioclasa maclados tipo albita. En la muestra SM 9, se ha encontrado también yeso en el borde del ladrillo; su procedencia podría estar relacionada con la de un revoco de yeso con el que estaba en contacto.

En cuanto a los resultados de DRX (Tabla I), destacar la presencia de gehlenita acompañada de wollastonita y diópsido, fases no reconocibles al microscopio debido a su pequeño tamaño, en las muestras SM 6 y SM 12 lo que sugiere su cocción a elevadas temperaturas (más de 900 °C; Cultrone *et al.*, 2001). En contraposición, la presencia de calcita y filosilicatos tipo moscovita en los difractogramas de los ladrillos SM 5, SM 7 y SM 9 indica que han sido cocidos a más baja temperatura (menos de 900 °C). A la luz de la diferente mineralogía, también el color de los ladrillos puede ayudar a establecer diferentes temperaturas de cocción. En efecto, los ladrillos cocidos a baja temperatura, SM 5, SM 7 y SM 9, son de color rojo mientras que los cocidos a elevada temperatura, SM 6 y SM

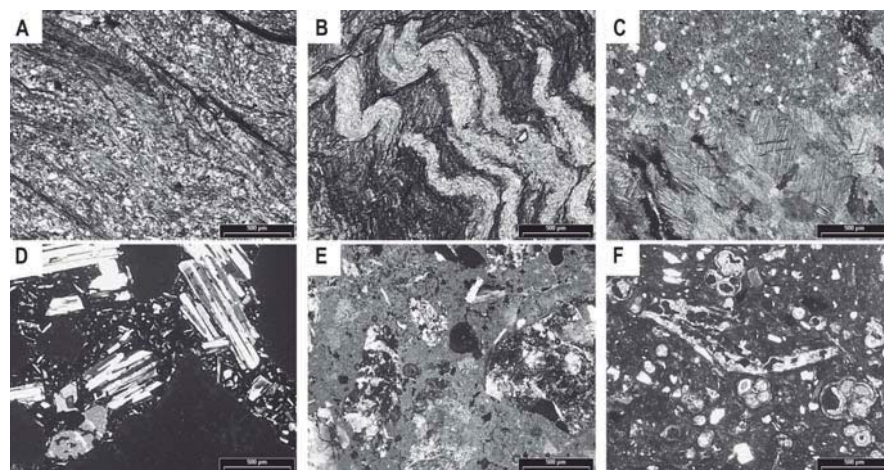


Fig. 3.- Microscopía óptica de los diferentes litotipos utilizados en la construcción de la iglesia: a) filita constituida por bandas de cuarzo y de moscovita más grafito; b) pliegue en un esquivo compuesto de cuarzo, moscovita y clorita; c) mármol calcítico en el que se reconocen cristales redondos de cuarzo; d) escoria volcánica en la que se observan fenocristales de plagioclasa y de piroxeno; e) mortero de cal calcítica y árido silíceo; f) ladrillo cocido a baja temperatura en el que el desgrasante está compuesto por cuarzo y microorganismos carbonatados.

Fig. 3.- Optical microscopy of different lithotypes used in the construction of the church: a) phyllite constituted by quartz and muscovite plus graphite layers; b) fold in a schist composed by quartz, muscovite and chlorite; c) calcitic marble in which rounded quartz crystals can be recognized; d) volcanic scoriae in which plagioclase and pyroxene phenocrysts are shown; e) lime mortar with siliceous binder; f) brick fired at low temperature in which the temper is made of quartz and carbonate microorganisms.

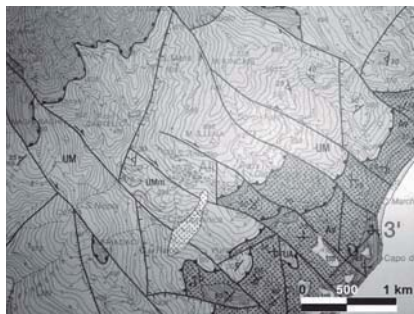


Fig. 4.- Mapa geológico del área en examen donde afloran la mayoría de los materiales empleados en la construcción de la iglesia (Lentini *et al.*, 2000).

*Fig. 4.- Geological map of the studied area where most of the materials used to build the church appear (Lentini *et al.*, 2000).*

12, son amarillos. Esta diferencia cromática se debe a que al aumentar la temperatura de cocción el hierro presente en la masa arcillosa se incorpora a los silicatos y aluminosilicatos de calcio de neoformación como la gehlenita impidiendo la formación de hematites, que es el responsable de la pigmentación rojiza de los ladrillos, y confiriendo los tonos amarillentos (Kreimeyer, 1987; Maniatis *et al.*, 1981).

Discusión y conclusiones

El estudio petrográfico realizado ha permitido establecer la procedencia de los materiales de construcción de la Iglesia de Santa Maria degli Angeli de Ali Superiore. La comparación de nuestros resultados con la geología de la zona (Lentini *et al.*, 2000) permite probar que las áreas fuentes de las piedras naturales se encuentran casi todas muy próximas a la iglesia.

Las filitas y los mármoles corresponden a las Metamorfitas Hercínicas de la Unidad de Ali. Las primeras constituyen el material sobre el que se edificó la iglesia y están clasificadas como filitas de notables dimensiones, con textura esquistosa y de diversos colores: gris-negro debido a que contienen grafito, gris-verdosas por la clorita, gris-plateadas por la sericita y gris oscuras por la biotita. Se indican con la sigla UM en el mapa geológico de figura 4.

Los mármoles afloran pocos kilómetros al este y sureste del pueblo de Ali Superiore y están indicados como UMa en el mapa geológico (Fig. 4). Se clasifican como mármoles grises oscuros, deformados y comúnmente conteniendo pequeños cristales de mica blanca y cuarzo y ocasionalmente de clorita, albita, epidota, tremolita, actinolita y flogopita.

Los esquistos de muy bajo grado están clasificados como metasiltitas y

metarenitas de color gris oscuro de edad Devoniano-Carbonífero inferior. Afloran al sur y suroeste de la iglesia y están indicados con la sigla Av en el mapa geológico (Fig. 4).

Las escorias volcánicas son las únicas que proceden de lugares un poco más lejanos, del complejo volcánico del Etna, y su utilización en las bóvedas de la iglesia no es nada casual sino todo lo contrario, ya que se trata de materiales muy ligeros y por tanto con una generación de cargas estructurales muy inferiores a las que implicaría el uso de otros tipos de rocas. En efecto, la utilización de las escorias etneas en otros edificios históricos de la zona, y conocidas localmente como "pómez" aunque este nombre no tiene nada a que ver con el término petrológico, era algo común en el sector nororiental de Sicilia (Triscari *et al.*, 2006).

En la preparación de los morteros se utilizó siempre cal calcítica (cal grasa) y árido silíceo. En realidad, el árido empleado no se componía exclusivamente de cuarzo sino que se aprovecharon las rocas metamórficas más o menos ricas en esta fase mineral, sobre todo los esquistos, que abundaban en los alrededores de la iglesia (paragneis de la Unidad del Aspromonte). La ausencia de grietas de retracción o grumos de cal en los morteros denota su correcta elaboración por los artesanos de esa época.

En cuanto a los ladrillos, podemos suponer que se utilizaron dos tipos de materias primas arcillosas basadas en las diferencias encontradas en el desgrasante: presencia de fósiles carbonatados en un grupo y fragmentos de calizas micríticas en el otro. No se puede descartar, de todas formas, la hipótesis del uso de un único tipo de material arcilloso al que se añadió antes del amasado un tipo u otro de desgrasante. Desafortunadamente en la geología de la zona no afloran sedimentos arcillosos, calizas fosilíferas ni micríticas, por tanto no es posible establecer la procedencia de la materia prima de los ladrillos ni del desgrasante. Es evidente, además, la diferente temperatura de cocción alcanzada por los ladrillos como indican las fases minerales detectadas por difracción de rayos X y el diferente grado de vitrificación observado mediante microscopía óptica. Lo más probable es que los ladrillos fueran cocidos en el mismo horno y la posición de las piezas con respecto a la fuente de calor (el fuego) determinó el mayor o menor grado de cocción. En efecto, los ladrillos no están localizados en zonas específicas del edificio sino que se encuentran mezclados con los demás ma-

teriales de construcción, indicio de que son de la misma época constructiva. En resumen, es un debate abierto a futuras indagaciones de carácter arqueométrico más exhaustivas.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Grupo RNM179 de la Junta de Andalucía y por el Proyecto de Investigación MEC MAT2004-6804.

Referencias

- Atzori, P. y Vezzani, L. (1974). *Geologica Romana*, 13, 21-27.
- Cabrera Garrido, J.M. (1979). *Materiales de Construcción*, 174, 1-38.
- Culliti, B.D. (1956). *Elements of X-ray diffraction*. Addison-Wesley, Reading, MA, 514 p.
- Cultrone, G., Rodríguez Navarro, C., Sebastián, E., Cazalla, O. y de la Torre, M.J. (2001). *European Journal of Mineralogy*, 13, 621-634.
- Kreimeyer, R. (1987). *Applied Clay Science*, 2, 175-183.
- Ferla, P. (2000). *Memorie della Società Geologica Italiana*, 55, 87-93.
- Lentini, F., Catalano, S. y Carbone, S. (2000). *Nota illustrativa della Carta geologica della Provincia di Messina (Sicilia Nord-Orientale)*. Scala 1: 50000. S.EL.CA., Firenze 70 p.
- Maniatis, Y., Simopoulos, A. y Kostikas, A. (1981). *Journal of American Ceramic Society*, 64-5, 263-269.
- Martín Ramos, J.D. (2004). *XPowder, a software package for powder X-ray diffraction analysis*. Legal Deposit GR 1001/04.
- Normal 1/88 (1988). *Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico*. CNR-ICR, Roma, 36 p.
- Price, C.A. (1996). *Stone Conservation. An overview of current research*. Getty Conservation Institute, Santa Monica (USA), 86 p.
- Rodríguez Gallego, M., Martín Pozas, J.M. y Martín Vivaldi, J. (1968). *Anuario Real Sociedad Española de Física y Química*, 65, 25-29.
- Rodríguez Navarro, C., Cultrone, G., Sánchez Navas, A. y Sebastián, E. (2003). *American Mineralogist*, 88, 713-724.
- Tite, M.S. y Maniatis, Y. (1975). *Nature*, 257, 122-123.
- Triscari, M., Sabatino, G., Barone, G. y Ferlito, C. (2006). *Journal of Cultural Heritage*, 7, 139-142.
- Winkler, E.M. (1987). *Environmental Geology and Water Science*, 9, 85-92.