

## La datación dendrocronológica en el estudio de los edificios históricos

Mauro Bernabei, Nicola Macchioni\*



1. Detalle de la estructura de madera de la basílica de la Natividad de Belén

**Palabras clave:** madera, datación, dendrocronología, especies, estadística, anillos de crecimiento

El presente artículo aborda la disciplina de la dendrocronología y, en especial, uno de sus aspectos más útiles para el estudio, restauración y puesta en valor del patrimonio arquitectónico: la datación. En sus páginas se trata del origen, fundamentos y principios de esta técnica, los requisitos para su aplicación, las diversas formas de obtener muestras, el concurso de la estadística y las diferentes dificultades, limitaciones y facetas de la datación. Por último, se trata el campo de la dendroproveniencia, esto es, la técnica empleada para averiguar el origen geográfico de la madera, a través de ejemplos concretos realizados por los autores, como la Basílica de la Natividad de Belén en Palestina.

*Keywords:* wood, dating, dendrochronology, species, statistics, growth rings

*Dendrochronological dating for the study of historical buildings.* This article addresses the discipline of dendrochronology and, especially, one of its most useful aspects for the study, restoration and appreciation of architectonic heritage: dating. In its pages it deals with the origin, foundations and principles of this technique, the requisites for its application, the different ways of obtaining samples, the use of statistics and the various difficulties, limitations and aspects of dating. Finally, it touches upon the field of dendroprovenance, that is, the technique used to discover the geographic origin of timber by means of concrete examples of works performed by the authors, such as the Church of the Nativity in Bethlehem, Palestine.

\*Mauro Bernabei y Nicola Macchioni son investigadores del Consiglio Nazionale delle Ricerche – IVALSA, Trees and Timber Institute, Italy

## DEFINICIÓN Y PRINCIPIOS

La dendrocronología es la ciencia que estudia los anillos de crecimiento de los árboles en relación con el tiempo. Se basa en el principio de que la anchura del anillo anual está muy influenciada por las condiciones en las cuales la planta ha crecido, particularmente por el clima.

Aunque las bases teóricas ya habían sido establecidas por Leonardo da Vinci (Tratado sobre la Pintura, libro VI: “De los árboles y de los vegetales”), la ciencia en sí fue codificada por el astrónomo americano Andrew Ellicott Douglass en las primeras décadas del siglo pasado.

Desde entonces, la ciencia se ha subdividido en numerosas sub-disciplinas, según el campo de aplicación, entre las cuales las más importantes son: la *dendrocronología* que estudia los ecosistemas forestales y las dinámicas vegetales; la *dendroclimatología* que tiene un papel fundamental en la reconstrucción del clima pasado y la *dendroproveniencia* que se ocupa de establecer el origen geográfico más probable de la madera. La lista podría seguir (*dendroglaciología*, *dendropirocronología*, *dendroquímica*,...), a la vista de la gran cantidad de campos de aplicación. Basta pensar que la dendrocronolo-

gía se ha utilizado también para analizar desde la dinámica económica y social (Gil Montero y Villalba, 2005) y los períodos de hambre y peste hasta el estudio de la cualidad de las cosechas de los vinos del pasado (Bourquin-Mignot y Girardclos, 2001). La datación dendrocronológica, que en los países anglosajones se conoce también como *dendroarqueología*, es solo una de las facetas de la dendrocronología. Cada una de las sub-disciplinas ha desarrollado métodos y procedimientos muy especializados. Las líneas que seguirán tratarán exclusivamente de la datación dendrocronológica, con alguna referencia a los análisis de dendroproveniencia. La datación dendrocronológica es la técnica que permite datar una pieza de madera, con un margen de precisión de un año o incluso menos. En Italia, las normas a seguir para la datación dendrocronológica se encuentran en la Norma UNI 11141, de 2004.

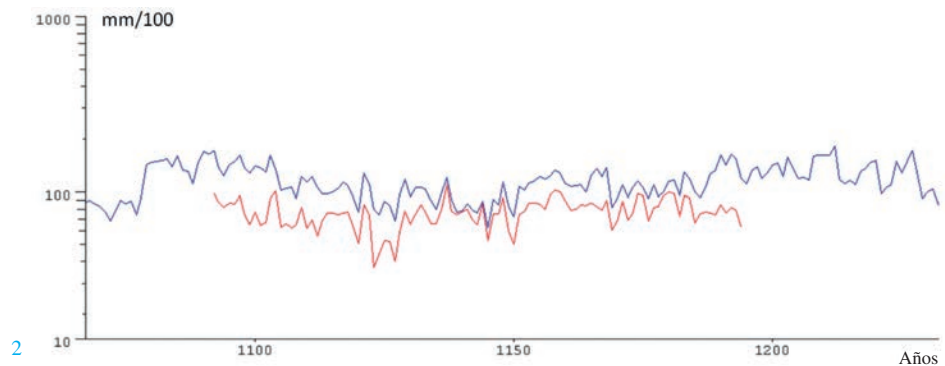
La técnica se basa en las leyes que regulan la formación de los anillos de crecimiento. En climas templados, la alternancia de las estaciones determina en los árboles los períodos intensos de crecimiento intercalados con períodos de crecimiento reducido, que se concluyen normalmente

con el éxtasis vegetativo. Esta alternancia provoca que todos los anillos de los árboles, estén constituidos por dos tejidos leñosos ligeramente diferentes entre ellos: la madera temprana, que se forma en la estación más favorable para el crecimiento (en primavera y parte del verano) y la madera tardía, que se genera antes de la estación invernal.

La alternancia de los tejidos nos permite distinguir un anillo de otro ya que, por lo general, la parte clara del anillo es la madera temprana, mientras que la parte oscura es la madera tardía.

La anchura de cada anillo depende de las condiciones ambientales, y del clima en particular, en los que la planta ha vivido. Si estas condiciones actúan sobre una región más grande, los crecimientos de muchas de las plantas se sincronizarán (Fritts, 1976).

En la práctica, la datación de una pieza se efectúa midiendo la anchura de un número suficientemente elevado de anillos consecutivos, desarrollando así una “serie dendrocronológica” que se confronta después con las largas series de referencia, llamadas *chronologie master*, válido para una misma especie y una misma área geográfica (fig. 2). Gracias



2

a la comparación de las series anulares (cross-dating), a realizar tanto visualmente a través de test estadísticos, las cronologías se sincronizan, es decir, el objeto en cuestión se ubica en una zona de referencia donde la analogía en términos de crecimiento de los anillos son más evidentes. Una vez efectuada la sincronización se puede determinar el año correspondiente al último anillo medido sobre la pieza, que no coincide necesariamente con el año de realización del mismo, como se verá a continuación.

Evidentemente, la construcción de largas cronologías de referencia constituye una premisa esencial en la datación dendrocronológica. Deben ser lo más largas y fiables posible y representan el término de confrontación para la datación de series realizadas sobre objetos de madera individuales. Para algunas especies y regiones geográficas la cronología construida en los diversos laboratorios internacionales consienten hoy ir hacia atrás en el tiempo por miles de años. Para el roble irlandés más de 9.000 años (Brown y Baillie, 1992), mientras que para el roble y el pino alemán se podrían superar los 12.000 (Friedrich et al., 2004). Estas largas cronologías están demostradas fundamentalmente, entre otras cosas, por la calibración de los análisis de radiocarbono.

La elección de la correcta cronología de referencia representa un momento crucial para el éxito de la datación. Idealmente,

las cronologías de referencia deberían ser suficientemente largas, referidas a la misma especie y zona geográfica de la madera a datar y ser suficientemente reproducible, es decir, constituida por un elevado número de muestras, a fin de garantizar una vasta aplicabilidad. Cuando no se tienen a disposición cronologías de la misma especie se puede recurrir a especies diferentes de la misma zona, siempre que la analogía de los crecimientos entre las dos especies esté demostrada. Esta comparación se llama heteroconexión. Al contrario, cuando la especie es la misma, pero la zona geográfica de referencia cambia, en este caso se habla de teleconexión. En este caso, sin embargo, la relación entre las series debe demostrarse.

La amplia utilización de la madera en las estructuras del pasado, la presencia de elementos estructurales de gran sección, tan a menudo presentes en los anillos de crecimiento y la utilización de especies adaptadas a la datación dendrocronológica han dado lugar a una serie de condiciones favorecedoras que han hecho que en el campo de los edificios históricos las aplicaciones de la datación dendrocronológica sean numerosas. Desde el nacimiento de la dendrocronología misma (Judd, 1930), han sido numerosas las dataciones de los elementos estructurales, las identificaciones de las fases constructivas, de restauración, re-uso, alteración, por lo que es difícil la referencia

2. Relación entre la serie que se tiene que fechar (roja) y la cronología de referencia (azul). En el eje de abscisas se representan los años (AD), mientras que en el eje de ordenadas el grosor de los anillos en escala logarítmica.

bibliográfica dada la vastedad del material. Cabe destacar cómo, a través de los análisis de las estructuras arquitectónicas se ha sido capaz de arrojar luz sobre una entera civilización, los nativos de Norteamérica conocidos como Anasazi (Dean, 1988 y muchos otros); también el análisis de las maderas en algunos edificios de la ciudad de Lübeck (Eckstein, 2007), ofrece un ejemplo de la cantidad de información retráctil de este tipo de estudios, que no se limitan únicamente a la datación sino que contempla también información sobre la cantidad de madera utilizada, la identificación de la cuenca forestal usada para el suministro, el origen del material, la práctica forestal utilizada en la antigüedad y mucho más.

### Requisitos para la aplicación de la datación dendrocronológica

La datación dendrocronológica resulta fiable, precisa y eficaz siempre y cuando se tengan en consideración determinados requisitos. Para garantizar que los posibles usuarios no pierdan la fe en esta importante metodología de datación es fundamental que sean respetados de manera rigurosa.

Estos requisitos son (Bernabei, 2010):

Requisito 1: La pieza a datar debe mostrar un número adecuado de anillos visibles y mesurables. La dendrocronología es una ciencia que se basa en las correlaciones estadísticas: a mayor número de datos

comparados, mayor es la fiabilidad de los resultados. Aunque no se tenga un valor mínimo universalmente reconocido se tiende a considerar fiable las series construidas a través de la lectura de al menos 60 anillos;

Requisito 2: La pieza debe estar constituida por una especie apta para la datación. Las de ribera (álamos, sauces, alisos,...) o las sometidas a un fuerte disturbio antrópico (frutales, castaños, nogales,...) no son aptas a una datación dendrocronológica lógica (Bernabei et al., 2007) porque sus modalidades de crecimiento no vienen marcadas por el tiempo;

Requisito 3: Deben existir cronologías de referencia adaptadas a la especie y a la zona geográfica considerada.

A la luz de estas observaciones, es evidente que existen casos en los cuales la datación dendrocronológica encuentra grandes dificultades o resulta casi imposible. Por ejemplo, el 98% de las pinturas sobre lienzo del Renacimiento italiano (Fioravanti, 1994) se realizan sobre lienzos de madera de álamo (requisito 2: especie no adecuada), que presentan a menudo pocos anillos muy amplios (requisito 1) y finalmente no tienen a disposición cronologías de referencia fiables (requisito 3).

En el campo de los edificios de interés histórico y arquitectónico, estas construcciones son respetadas muy a menudo: las especies son las más adaptadas (roble, alerce, abeto, pino,...); el número de ani-

llos medibles a través de una muestra (ver más abajo) es a menudo suficiente y, algo muy importante, existen hoy numerosas cronologías de referencia fiables, que cubren varios periodos históricos de muchas zonas y de muchas especies, en particular en Europa. Una referencia importante en ese sentido es proporcionada por la Base de datos Internacional, consultable en la página web del gubernativo americano <http://www7.ncdc.noaa.gov>, que pone a disposición un gran número de cronologías fiables y datadas de todo el mundo. Solo en España se cuenta con más de 60.

### El muestreo

El muestreo dendrocronológico consiste en medir la anchura de los anillos de crecimiento en dirección radial, o la que va desde la médula hasta la corteza. Esto es posible tanto sobre la sección transversal, por ejemplo la cabeza de una viga, como por la longitudinal radial.

La técnica de datación dendrocronológica ofrece la posibilidad de poder calibrar la muestra en base a las exigencias específicas y por lo tanto dependiendo de las condiciones de trabajo, de la importancia de la pieza, etc. Podemos distinguir métodos de muestreo no invasivos o invasivos y aquellos destructivos, semi-destructivos y no destructivos<sup>1</sup>.

Entre los métodos invasivos y destructivos tenemos la eliminación de porciones de vigas, una práctica muy común en los

casos de restauración de los elementos degradados, sobre todo en las partes de contacto entre la madera y el muro. Para el análisis dendrocronológico basta con tener a disposición una sección perpendicular de la anchura de la viga (fig. 4a), con espesor de 4-5 cm sujeto a medición directa de los anillos en el laboratorio utilizando la instrumentación apropiada.

De manera invasiva, pero no destructiva, sobre las vigas y sobre los otros elementos estructurales, se pueden efectuar perforaciones con taladros eléctricos (fig. 3a y b). Se trata de puntas realizadas a propósito para la madera en obra, que se instalan sobre un taladro eléctrico. Por lo general estos sistemas son considerados semi-destructivos, ya que causan agujeros de aproximadamente 1-2,5 cm de diámetro provocando un fuerte impacto visual. La utilización del taladro eléctrico, sin embargo puede provocar problemas por el sobrecalentamiento y la consiguiente deformación de muestras y por lo tanto a veces se prefiere la barrena con la mano. Este último instrumento (llamado también *Berbiquí de Pressler*, en inglés *increment borer*) resulta siempre invasivo, pero produciendo agujeros de solo 5 mm de diámetro no sólo se considera totalmente no destructivo, sino que también permite la extracción de barrenas muy largas (hasta 30, 40 cm). Los agujeros pueden dejarse abiertos o bien cerrados con estuco o tapas de madera que hacen la cata invisible.

Entre las técnicas no invasivas existen muestras fotográficas, utilizadas en todos los casos en los cuales los anillos son visibles a simple vista. Los problemas de paralaje o aquellos debidos a las deformaciones por efecto de la forma de las lentes han demostrado ser más teóricos que prácticos. Sin embargo, por precaución, no se debe usar la muestra fotográfica en los casos donde se pretenda

utilizar la serie dendrocronológica para otros fines como para la reconstrucción climática o ecológica. Por el contrario, si el objetivo es la datación, el levantamiento fotográfico de los crecimientos anulares es muy eficaz.

Un sistema desarrollado recientemente es aquel que une un dendrocronógrafo portátil a una cámara digital (fig. 3c). Encuentra aplicaciones óptimas en los museos donde los objetos no son fácilmente movibles (Bernabei et al., 2010), pero son también excelentes los usos sobre la madera estructural. El instrumento ofrece la ventaja de poder medir in situ los anillos de madera y verificar inmediatamente la calidad de la muestra.

Merece una mención, por último, una técnica tradicional y aun muy eficaz en su sencillez que consiste en trasladar el patrón de anillos sobre un folio de papel, trazando una raya en cada límite de la madera tardía. La distancia entre las marcas se mide en laboratorio y permite obtener una discreta serie dendrocronológica a condición de que los anillos no sean muy sutiles.

### Los test estadísticos

Los test estadísticos son fundamentales en la datación dendrocronológica. Sin embargo, cuando se utilizan de manera acrítica, presentan grandes límites. En particular, pueden causar los siguientes errores (Sander e Levanic, 1997):

- puede a veces ocurrir llegar a falsas dataciones por altos valores estadísticos casuales (error de tipo I);
- puede no ser reconocida la verdadera datación a causa de ocasionales valores bajos (error de tipo II).

Para obviar este tipo de problemas, es bueno que cada serie sea objeto de comparación visual y estadístico con más cronologías de referencia. La datación se considera fiable solo cuando el mismo

3a, 3b y 3c. Métodos de toma de muestras: a) extracción de muestras, b) levantamiento fotográfico y c) dendrocronógrafo portátil. Se debe destacar que el dendrocronógrafo mide los anillos en la tabla de un instrumento musical sin sacarlo de su urna de vidrio.



año se ha confirmado por más cronologías de referencia.

Los test más usados en la interdatación estadística son:

-  $T_{BP}$ :  $T$  de Student adaptado por Baillie e Pilcher (1973) a los análisis de las series temporales. Generalmente una situación queda considerada fielmente cuando  $T_{BP}$  es superior a 4 con los elevados valores correspondientes del Coeficiente de concordancia y de nivel de significabilidad.

Para tener una idea: en series por encima de los 100 anillos con un  $T_{BP}$  de 3,5, la probabilidad de tener una datación casual es una sobre mil (Baillie e Pilcher, 1973).

- Gleichläufigkeit (Glk) o coeficiente de concordancia: medida porcentual de la correspondencia entre los signos de crecimiento de dos cronologías en el paso de un anillo al sucesivo (Kaennel y Scheingruber, 1995).

- Significado estadístico de la Glk: puede ser del 95,0% del 99,0% o del 99,9% y se expresa respectivamente con \*, \*\* y \*\*\*.

- Número de anillos enfrentados, o superpuestos, a los que se refieren los test estadísticos. Como se mencionó anteriormente, de hecho, la dendrocronología es una ciencia que se basa en las correlaciones estadísticas que, cuanto mayor es el número de datos de comparación, mayor será la fiabilidad de los resultados.

A pesar de ello, la comparación visual entre las series es de gran importancia. El ojo humano posee la capacidad de coger de manera sintética las relaciones entre las cronologías, mientras el análisis estadístico por sí sólo puede inducir a errores mencionados al principio del párrafo. En consecuencia, en las operaciones de *cross-dating* siempre es bueno utilizar la comparación visual como estadística.

### ¿Qué datación?

La fecha que se obtiene con la dendrocronología es la relativa al último anillo iden-

tificado sobre la pieza. Este dato puede ser muy útil en el estudio de estructuras arquitectónicas, ofreciendo puntos de referencia cronológicos de los cuales poder partir para el análisis histórico del edificio. Estos puntos son llamados términos *post quem* o *ante quem non*. Sin embargo, se debe tener en cuenta el hecho de que la fecha identificada con la dendrocronología puede no coincidir con el año de confección de la pieza, que puede haber sido realizada en periodos totalmente diferentes. Existen eventualmente casos de reutilización, sustitución o restauración.

Por otra parte, datar el último anillo presente en la pieza significa que la planta estaba aun en pie, viva y coleando, mientras ha formado la madera. Después de la fecha, la planta ha sido cortada, la madera transportada a otro lugar, secada, reducida en varios conjuntos ( tablas, vigas, palos,...) que a menudo requieren la extracción de parte del tronco y, por tanto, la pérdida de un cierto número de información que se escinde para siempre de la fecha efectiva de uso de la madera. En estructuras de madera, en fase de construcción se utilizaba la madera fresca, abatida poco tiempo antes, por lo que el año de tala del árbol es a menudo una buena referencia, a menos que se produzcan intervenciones de reutilización o de restauración.

A veces puede verificarse que sobre la pieza esté presente el último anillo de madera de la corteza (fig. 4a). Dependiendo de la cantidad y del tipo de madera formada en el último anillo (temprana/tardía) se puede determinar la estación en la que se ha talado el árbol. La fecha así obtenida es la más precisa (por ejemplo primavera de 1942 AD), pero siempre refiriéndose solo a la madera. En esta fecha viene incluido un período para la puesta en obra que incluye la tala, la preparación y el secado, que normalmente en las estructuras de



3a

3b



3c



4a, 4b y 4c. Obtención de muestras en elementos estructurales. En la imagen a, presencia del último anillo debajo de la corteza. En la foto b, porción de albura (madera más clara). Y en la imagen c, la albura invisible.



4a



4b



4c

madera no es muy grande y oscila entre 1 y 6 años. Esta datación viene definida en términos *post quem*.

Cuando sobre la pieza existe una parte de albura (fig. 4b), se puede efectuar un estimación del año de tala; de hecho en muchas especies, como el roble o el alerce, se sabe el número medio de anillos de la albura a una cierta edad del árbol, motivo por el cual si se tiene solo una porción de éste, se puede estimar el número de anillos que faltan en la sección.

Por último, existe la posibilidad de que la pieza en cuestión carezca de referencias de la albura (fig. 4c) y los últimos años se hayan borrado durante el proceso de elaboración. En este caso se puede obtener la datación del último anillo sin que sea posible estimar el año de tala del árbol. La datación se limitará entonces a la determinación del año antes del cual la obra no puede haberse realizado. Este tipo de dataciones son llamadas con el término *ante quem non*.

### El origen de la madera

La base teórica de la dendroproveniencia (Bonde et al., 1997) se basa en la dendrocronología misma. Como se ha mencionado, la formación de los anillos de crecimiento en la madera se debe a múltiples factores ambientales, entre los cuales el clima es importantísimo, que sobre una zona más o menos grande y para una determinada especie actúan de manera suficientemente uniforme (Fritts, 1976). Esto determina el buen nivel general de *cross-matching* entre los arboles de una misma especie y de una misma área. Sobre este principio se basa la técnica de datación dendrocronológica.

Siguiendo el mismo hilo, la comparación de una cronología datada de origen desconocido con un adecuado número de cronologías de referencia, esparcidas por todo el territorio, producirá una correla-

ción mayor cuanto más similares sean los factores ambientales que han influido en el desarrollo de la madera. En teoría, por lo tanto, mayor será el acuerdo entre las series, cuanto menor será la distancia entre los lugares donde se cultivan las plantas. Por desgracia, la cuestión es un poco más complicada de cuanto se puede imaginar leyendo estas pocas líneas. De hecho, otros factores intervienen para influir el crecimiento de la planta. Por ejemplo, un factor fundamental es la altitud, por la cual series dendrocronológicas distantes pero realizadas a una misma altitud muestran más similitudes con una serie realizada sobre una misma área pero a alturas diferentes.

Estas y otras consideraciones hacen del análisis de dendroproveniencia bastante complejo. Sin embargo, la información que puede proporcionar es de excepcional importancia, permitiendo a veces reconstruir tráfico comerciales o conflictos políticos.

Ejemplar es el caso de las estructuras de madera de la Basílica de la Natividad de Belén (Bontadi y Bernabei, 2011). La iglesia (fig. 1) es una de las más antiguas de Tierra Santa y con el tiempo ha sido varias veces restaurada y remodelada. La primera construcción, realizada donde la tradición dice que Jesucristo nació, fue construida en tiempo de Constantino I en el 339. Este primer edificio fue completamente destruido por un incendio. La iglesia fue reconstruida después del 529 con Justiniano. A través de los siglos, mientras los muros se han mantenido prácticamente sin cambios, sobre las estructuras de madera se han sucedido un número notable de intervenciones de mantenimiento y restauración a manos de diferentes trabajadores, financiados y guiados por protectores diversos y guardianes de la Tierra Santa por las diversas confesiones cristianas.




Obviamente, la reconstrucción de los avatares históricos del edificio tenía una complejidad excepcional, en particular por la estructura de madera, que prevé un mantenimiento cuidadoso. La madera es más perecedera y por lo tanto tiene necesidad de una mayor cantidad de intervenciones de reconstrucción y restauración. La identificación de las especies de madera con las que fueron realizadas las estructuras de cubierta ha permitido determinar principalmente el cedro del Líbano, el roble de hoja caduca y el alerce, con unos pocos elementos dispersos de pino y ciprés. Las tres maderas principales muestran intervenciones e integraciones sucesivas en los siglos, en particular en lo que respecta al alerce y roble, que no podían ser de origen local.

El análisis dendrocronológico ha datado el último anillo identificable sobre los elementos de alerce en 1412. La serie obtenida, a lo largo de 592 años, ha mostrado valores de elevada sincronización con el *master* de los Alpes orientales, demostrando el origen de la madera en esa región. Esto ha permitido confirmar lo que aparece en algunos documentos de la época a propósito de la solicitud que los Franciscanos de Tierra Santa hicieron a la Serenísima en el 1479 de proporcionar los carpinteros y la madera para la reconstrucción de las estructuras de cubierta, con la financiación del rey de Inglaterra y del duque de Borgoña.

Al contrario, la serie media realizada sobre la encina, a lo largo de 315 años y datada en 1723, sitúa el origen de ésta en la región de Anatolia. En concreto, los anillos de crecimiento de la encina presente en la basílica de la Natividad muestran una gran similitud con los de la madera empleada para la realización de algunas estructuras de la cubierta de Santa Sofía en Estambul, lo cual permite indicar que ambas maderas proceden de un mismo bosque.

## CONCLUSIONES

La técnica de datación dendrocronológica se considera hoy entre las más importantes en el estudio de los edificios de interés histórico y arquitectónico. Además de proporcionar información acerca de la madera, esta información se demuestra a menudo la única referencia cierta, en los casos en que las marcas dejadas por la historia hacen imposible una correcta interpretación. La fuerza de la dendrocronología reside en la absoluta independencia respecto a otros criterios o disciplinas y es particularmente eficaz sobretodo en un contexto de amplia investigación, en una relación de estrecha colaboración entre investigadores de disciplinas y competencias diversas. 

## NOTAS

1. La diferencia entre invasivo y no invasivo está en función de si se hace necesario eliminar el material del producto. Con respecto a la destrucción se hace aquí una referencia a la mayor o menor pérdida funcional del elemento estudiado. En este caso, la mayor o menor pérdida de la capacidad estructural de los elementos en los que se realiza el muestreo.

## BIBLIOGRAFÍA

- BAILLIE, M. G. L.; PILCHER, J. R.: "A simple cross-dating program for tree-ring research", en *Tree-Ring Bull.*, 1973, 33: 7-14.
- BERNABEI, M.; BONTADI, J.; ROSSI ROGNONI, G.: "A dendrochronological investigation of stringed instruments from the collection of the Cherubini Conservatory in Florence, Italy", en *Journal of Archaeological Science*, 2010, 37: 192-200.
- BERNABEI, M.; QUARTA, G.; CALCAGNILE, L.; MACCHIONI, N.: "Dating and technological features of wooden panel painting attributed to Cesare da Sesto", en *Journal of Cultural Heritage*, 2007, 8: 202-208.
- BONTADI, J.; BERNABEI, M.: "The Basilica of the Nativity in Bethlehem: an historical reconstruction using dendrochronology", en *5th International Congress "Science and Technology for the Safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin"*, Is-

tanbul, Turkey, 22nd-25th November 2011.

- BOURQUIN-MIGNOT, C.; GIRARD CLOS, O.: "Construction d'une longue chronologie de hetre au pays basque. Sud Ouest Européen", 2001, pp.1-14.
- BROWN, D. M.; BAILLIE, M. G. L.: "Construction and dating of a 5000 year English bog oak tree-ring chronology", en *Tree rings and environment*, LUNDQUA report, 1992, 34: 75-5.
- DEAN, J. S.: "A model of Anasazi behavioral adaptation", en *The Anasazi in a changing environment*, Ed. by George J. Gumerman, pp. 25-44. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1988.
- ECKSTEIN, D.: "Human time in tree rings", en *Dendrochronologia*, 2007, 24: 53-60.
- FIORAVANTI, M.: "Le specie legnose dei supporti: implicazioni per la conoscenza, la conservazione ed il restauro dei dipinti su tavola", en *Conservazione dei dipinti su tavola*, de UZIELLI, L. y CASAZZA, O. Nardini Ed., Firenze, 1994, pp. 83-109.
- FRIEDRICH, M.; REMMELE, S.; KROMER, B.; HOFMANN, J.; SPURK, M.; FELIX KAISER, K.; ORCEL, C.; KÜPPERS, M.: "The 12,460-year Hohenheim oak and pine tree-ring chronology from central Europe—a unique annual record for radiocarbon calibration and paleoenvironment reconstructions", en *Radiocarbon*, 2004, 46 (3): 1111-1122.
- FRITTS, H.C.: *Tree Rings and Climate*, Academic Press, London, 1976, 576 pp.
- GIL MONTERO, R.; VILLALBA R.: "Tree rings as a surrogate for economic stress – an example from the Puna of Jujuy, Argentina in the 19th century", en *Dendrochronologia*, 2005, 22: 141-147.
- JUDD, N.M.: "Dating our prehistoric Pueblo ruins", en *Explorations and Fieldwork of the Smithsonian Institution in 1929*, Smithsonian Institution, Washington, D.C., 1930, pp. 167-176.
- KAENNEL, M.; SCHWEINGRUBER, F. H. (1995): *Multilingual Glossary of Dendrochronology*, WSL/FNP, Birmensdorf, Haupt Pub. Berne, Stuttgart, Vienna, ISBN 3-258-05259-X.
- Norma UNI 11141 (2004): *Linee guida per la datazione dendrocronologica del legno*. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.
- SANDER, C.; LEVANIC, T.: "Comparison of t-values calculated in different dendrochronological programmes", en *Dendrochronologia*, 1997, 14: pp. 269-272.