

---

## STUDIO SCIENTIFICO PER L'APPLICAZIONE DELLE NANOTECNOLOGIE E LA STABILIZZAZIONE DELLA NAVE DI EPOCA ROMANA DI MARAUSA - MUSEO LILIBEO

---

GRUPPOARTE16

SABRINA ZUCCALÀ – 4WARD360

Studio e applicazione delle NANOTECNOLOGIE - 4Ward360- Heritage Preservation Lab

### L'impiego di nanotecnologie per il recupero e la conservazione dei beni archeologici sommersi

La moderna conservazione ha sentito negli ultimi anni la necessità di affidarsi in maniera sempre più importante alla scienza per ottenere un migliore risultato nell'ambito della ricerca per la stabilizzazione dei beni culturali. Le inondazioni che hanno devastato Firenze nel 1966 hanno infatti evidenziato la necessità di trovare nuove metodologie per ripristinare e conservare l'immenso patrimonio culturale fortemente danneggiato dall'alluvione: dalla caratterizzazione analitica dei materiali che costituiscono le opere e le tecniche utilizzate dagli artisti, alle reazioni chimiche coinvolte nel loro degrado e, pertanto, la necessità di nuovi metodi scientifici da applicare alla conservazione e stabilizzazione dei materiali. Nello studio scientifico dei materiali protettivi da applicare in ambito conservativo le nanotecnologie hanno fornito metodi affidabili per una durevole conservazione, reversibile e biocompatibile.

Il legno, materia al centro di questa nostra analisi, è un materiale organico che mantiene molte delle sue caratteristiche anche quando questo viene lavorato. La sua durata è strettamente legata alle condizioni ambientali in cui viene mantenuto: si gonfia con l'umidità e il calore, mentre con il freddo si ritira producendo delle crepe. Situazioni avverse possono inoltre favorire l'attacco di funghi, muffe o insetti e portare ad un deterioramento che comprometterebbe non solo l'aspetto estetico ma anche la sopravvivenza del materiale. Questi aspetti sono ancora più delicati quando ci troviamo davanti a reperti archeologici provenienti dai fondali marini che hanno già subito lo stress del passaggio dall'ambiente in cui sono giaciuti per centinaia di anni ad un ambiente completamente diverso.

Le fasi di studio eseguite da un team di esperti qualificati prima del trattamento con i nanomateriali sono servite proprio a comprendere lo stato fisico e chimico della struttura lignea.

Ogni legno ha delle caratteristiche organiche diverse (per compattezza, peso specifico, comportamento nel tempo o nelle diverse condizioni climatiche) e anche la velocità con cui si manifesta il degrado è differente per le diverse tipologie di legno, ma l'elemento comune di ogni materiale al processo di degrado è l'umidità, la quale crea i meccanismi di decadimento del materiale (fessurazioni e spaccature, oltre all'infradimento della struttura lignea).

La nanotecnologia applicata al legno assolve un compito indispensabile in quanto crea una nanostruttura di particelle, un reticolo protettivo invisibile il quale impedisce che umidità, le polveri sottili ed altri elementi inquinanti presenti nell'ambiente riescano a penetrare nel materiale. Ciò

---

4Ward360 Srl

Sede Operativa - Via Pontida 1d, Legnano (MI) - Sede Legale - Via Roma, 24 - San Vittore Olona (MI)

Tel: +39 0331 108 0634 - [www.4ward360.com](http://www.4ward360.com) - [info@4ward360.com](mailto:info@4ward360.com)

Part. IVA. e Cod. Fisc. - n. 09399200964 - REA MI-2087532 4W

permetterebbe al manufatto ligneo di essere esposto in un ambiente fruito da migliaia di persone, con una notevole contaminazione all'aria, senza che il materiale possa assorbire gli inquinanti.

Pensiamo alle muffe, microparticelle che si muovono in ogni ambiente e si attivano in circostanze favorevoli, o alle spore dei funghi che possono essere trasportate dagli abiti dei visitatori provenienti dall'ambiente esterno. I nanomateriali svolgono l'attività di protettivi delle superfici lignee senza essere filmogeni o alterare le caratteristiche del manufatto, l'aspetto o la traspirabilità, elemento fondamentale. Le loro proprietà idrorepellenti e oleorepellenti, creano una protezione invisibile in scala nanometrica che agisce respingendo i contaminanti e impedendo loro di entrare in contatto con la struttura lignea trattata.

### Descrizione dell'intervento

Si tratta di un "progetto pilota" voluto dall'assessore Sebastiano Tusa in seguito all'incontro con Sabrina Zuccalà, Amministratore dell'azienda 4ward360, laboratorio di produzione di nanoformulati.



L'incontro avvenne durante un evento dedicato alla conservazione delle superfici lignee con la nanotecnologia, organizzato a Torino con la partecipazione di ricercatori ed università.

L'incontro ha permesso la collaborazione tra il GruppoArte16, la Regione Sicilia e il laboratorio di nanotecnologia, per la conservazione di un reperto archeologico ligneo con i nanomateriali, primo intervento applicativo eseguito in Italia .

Il campione trattato ha le dimensioni di circa 60cm di lunghezza e 30cm di diametro) sul fasciame di reperti archeologici di una nave romana del IV sec. d.C. rinvenuta a Marausa (TP) ed oggi conservata presso il Museo Baglio Anselmi di Marsala (TP). Per il trattamento in oggetto si è voluto costituire un comitato di esperti per quanto riguarda la conservazione.

### Proprietà dei prodotti per la conservazione

Affinché un trattamento di consolidamento e/o protezione, oltre che efficiente, risulti anche adeguato, affidabile e stabile nel tempo è di fondamentale importanza che i prodotti consolidanti e protettivi presentino una serie di criteri e proprietà specifiche, correlate sia alla fase di applicazione, sia al successivo comportamento dell'agente consolidante e/o protettivo nel tempo.

In linea generica, durante gli interventi è fondamentale utilizzare dei prodotti che mantengano inalterate le caratteristiche del manufatto da trattare, e che siano reversibili, al fine di salvaguardare la funzione originaria dell'opera.

Con tale intento, la NorMal 20/85 ("Interventi conservativi, valutazione preventiva"), indica i principali requisiti:

- compatibilità tra il materiale originale e il prodotto;
- impermeabilità all'acqua liquida (idrorepellenza);
- permeabilità all'acqua in fase di vapore;
- assenza di influenza sulle proprietà ottiche del materiale;
- facile applicabilità e facilità di penetrazione nel sistema capillare del materiale;
- reversibilità o rimovibilità, quando il prodotto ha perduto la sua efficacia;
- stabilità agli agenti chimici; in particolare nei riguardi degli inquinanti acidi dell'atmosfera;
- stabilità chimica all'invecchiamento; in particolare alle radiazioni luminose (intesa come stabilità intrinseca del prodotto e non in relazione alle capacità di reagire con il substrato);
- durata del potere protettivo e l'idrofobicità;
- capacità di impregnazione; buone capacità adesive e capacità di aderire al supporto;

Grazie alle sue eccellenti proprietà del formulato 4wd-wood, abbiamo potuto comprendere la elevata, diremmo totale, capacità di respingere acqua e contaminanti esterni (sporco, oli, grasso, polvere) di fatto impedendo loro di aderire alla fibra di cellulosa.

Constatato l'alto valore protettivo, altro dato fondamentale, e visto che non modifica l'aspetto e la consistenza del legno, che resiste alle alte temperature e, quindi, risulta essere stabile ai raggi U.V. ed I.R., si è passati alla fase applicativa che si è eseguita con un nebulizzatore e delle maschere protettive per gli operatori che hanno proceduto al rilascio delle nanotecnologie. L'applicazione è risultata essere estremamente semplice e con tempi di asciugatura molto veloce.

Eseguita la fase del test applicativo si è valutata la reversibilità, che avviene in modo semplice e senza l'utilizzo di sostanze corrosive o di mezzi meccanici abrasivi. Per rimuovere il trattamento basta applicare a pennello una soluzione a base di etanolo e dopo una breve attesa di qualche minuto si è potuto rimuovere la sostanza chimica integrata in quanto l'etanolo ha la funzione di scollegare le particelle che compongono i formulati nanotecnologici.

Si è potuto constatare altresì che, malgrado il formulato nanotecnologico applicato abbia un eccellente effetto idrorepellente, ha la capacità di non modificare la traspirabilità del materiale organico trattato. Inoltre non si sono riscontrate modifiche estetiche del manufatto che si presentava opaco e senza quegli spessori che di solito creano le sovrapposizioni protettive tradizionali. Accertate le proprietà sopra descritte e verificate le qualità delle integrazioni nanotecnologiche che svolgono un importante ruolo nella protezione dall'aggressione biologica (muffe, funghi e altri agenti biologici), si potrà fare affidamento sui nanomateriali anche per quei processi di variazione cromatica del legno, che sono la conseguenza di una esplosione prolungata alla luce naturale.

La scheda del prodotto fornita dalla 4Ward360 garantisce la durata di 25 anni.

Le nostre analisi ottiche hanno potuto verificare la struttura protettiva creata sulla superficie lignea che, una volta trattata, è stata sottoposta ad un ciclo di studi e test approfonditi, rispondendo positivamente a tutte le aspettative.



---

**4Ward360 Srl**

Sede Operativa - Via Pontida 1d, Legnano (MI) - Sede Legale - Via Roma, 24 - San Vittore Olona (MI)

Tel: +39 0331 108 0634 - [www.4ward360.com](http://www.4ward360.com) - [info@4ward360.com](mailto:info@4ward360.com)

Part. IVA. e Cod. Fisc. - n. 09399200964 - REA MI-2087532 4W

## STUDIO SCIENTIFICO DELLA MORFOLOGIA E DEI DEPOSITI SUL FASCIAME DELLA NAVE DI EPOCA TARDO ROMANO DI MARAUSA

### Relitto nave di Marausa

Risale al IV secolo dopo Cristo il relitto navale, ritrovato nei fondali di Marausa.



La Nave romana di Marausa è il relitto di una nave oneraria romana del III secolo d.C. recuperato a 150 metri dalla costa del Trapanese, appunto Marausa. Il relitto della nave romana del III/IV secolo d.C., naufragata in un fondale di poco più di due metri, nei pressi dell'estuario del fiume Birgi, una frazione del comune di Trapani. Il reperto sottomarino rappresenta uno dei reperti navali più interessanti dell'epoca in quanto si presenta in quasi tutta la

sua totalità. L'operazione di recupero è stata completata nel 2011 dalla Soprintendenza del Mare della Regione siciliana che affidò il restauro alla società "Legni e Segni della Memoria" di Salerno. Si tratta di una nave da carico ben conservata, lunga circa 27 metri e larga 9 metri, ed è il più grande relitto dell'epoca mai tirato fuori nei nostri mari, affondato nei bassi fondali, probabilmente durante una manovra di ingresso sbagliata che ne causò l'affondamento.

Sono stati portati alla luce il doppio paramezzale centrale, l'aggancio dei madieri e si è potuta ipotizzare la struttura del pagliolato, costituito da tavole sfalsate a gradino. Le ordinate in legno di frassino erano, pertanto, inframmezzate tra il fasciame esterno in abete e il pagliolato. Nel 2019 sono state completate le fasi di assemblaggio della nave romana i cui 600 pezzi rinvenuti da Tony Di Bono e Dario D'Amico sono oggi apprezzabili presso il Museo Baglio Anselmi di Marsala, dove oggi viene illustrata, oltre alla storia nautica della nave da guerra punica, la storia nautica e commerciale delle navi romane che hanno solcato il Mediterraneo.

Dal 12 al 26 giugno del 2018, dopo un laborioso e lungo recupero da parte dei laboratori di Salerno, esperti in recuperi archeologici sottomarini, per la prima volta su alcuni reperti costituiti dal fasciame della nave romana, sono state applicate, come per la nave punica, una serie di indagini esplorative al fine di comprendere bene la struttura interna, la morfologia, la lavorazione delle mortase, se all'interno dell'anima del fasciame vi fossero incubati residui rilasciati dallo stazionamento in mare per un periodo lungo 1700 anni e infine comprendere bene le tecniche di lavorazione di tutte quelle parti non visibili e, una volta acquisite tutte le informazioni necessarie, sottoporre ad alcuni test con nanotecnologie, sviluppate dai laboratori della 4Ward360 di Legnano, un campione del fasciame della nave che è stato analizzato. La formulazione, appositamente studiata per il relitto di Marausa completamente bio in nanotecnologia, come sveleremo più dettagliatamente in seguito, sono delle soluzioni innovative utili a stabilizzare il reperto archeologico nel tempo. Così come spiegato nel capitolo introduttivo prederete queste operazioni non sono in competizione con l'immane lavoro portato avanti dai laboratori di Salerno ed hanno la facoltà di raccogliere una serie di informazioni da trasmettere agli esperti e studiosi.

### Analisi reperti lignei Nave Romana

4Ward360 Srl

Sede Operativa - Via Pontida 1d, Legnano (MI) - Sede Legale - Via Roma, 24 - San Vittore Olona (MI)

Tel: +39 0331 108 0634 - [www.4ward360.com](http://www.4ward360.com) - [info@4ward360.com](mailto:info@4ward360.com)  
Part. IVA. e Cod. Fisc. - n. 09399200964 - REA MI-2087532 4W

Le scansioni TC sui reperti è stata eseguita mediante tomografo computerizzato Somatom Definition As+ (Siemens Healthcare, The Netherlands) a 128 strati. Parametri di Scansione: Kv: 120 mA. 330. Spessore di strato: 0,6 mm Pitch: 1. Matrice: 512x512 pixel. FOV: 30x30 cm. Acquisizione Sono state effettuate ricostruzioni MPR, MIP e VR.

Per tutti i reperti l'orientamento dei piani è stato assegnato, arbitrariamente, in base al verso di acquisizione degli strati.

### Reperto N°1 (Fig. 1)

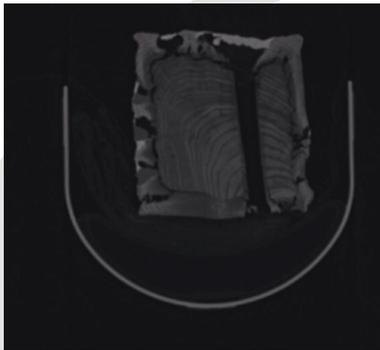


Fig. 1

Reperto ligneo delle dimensioni massime di H 160 cm, L 13 cm, P 15 cm.

Il reperto appare composto da una trave, dov'è possibile riconoscibile la stratificazione lignea che dimostra come sia stato ottenuto dal midollo e da una porzione di durame di un unico tronco.

Si rilevano, maggiormente evidenti ai due estremi, multiple e radiali interruzioni della struttura lignea come da verosimile slargamento dei raggi midollari. Sono riconoscibili lungo l'intera estensione del reperto 10 fori cilindrici del DT di 2 cm, che lo attraversano per l'intero spessore; all'interno di alcuni di essi sono presenti delle formazioni cilindriche,

delle dimensioni massime di 14 mm, e di medesima densità del legno circostante, riferibili a tasselli di legno.

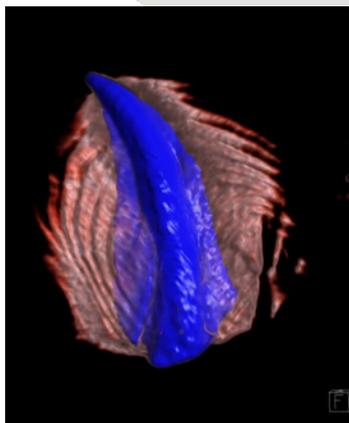
Sono riconoscibili tre formazioni a densità metallica, riferibili a chiodi, a base ovalare (21 x 19 mm) e corpo affusolato (lunghezza di 10 cm) con decorso lievemente incurvato, il cui aspetto complessivo ricorda grossolanamente quello di una lama ricurva (Fig. 2).

Il legno circostante tali chiodi appare a densità aumentata (300 H.U.), in parte a causa della presenza di artefatti di indurimento del fascio fotonico, e in parte a causa di fenomeni di mineralizzazione dovuti alla dispersione di ossido di ferro.

Ad una valutazione densitometrica il reperto appare costituito principalmente da legno con densità compresa tra -300 e -500 H.U.; si evidenzia una lieve ma significativa differenza di densità tra il legno interno e gli strati più superficiali del reperto (-400 Vs -150 H.U.), tale dato può essere riconducibile, a parere dello scrivente, a particolari metodiche di lavorazione del legno o

alternativamente alle condizioni di giacitura (Fig.3).

Sono riconoscibili in più punti della superficie esterna del reperto quote di materiale ad alta densità non metallico (600 H.U.), tale ritrovamento può essere riconducibile alla presenza di un rivestimento (Fig. 4).



2

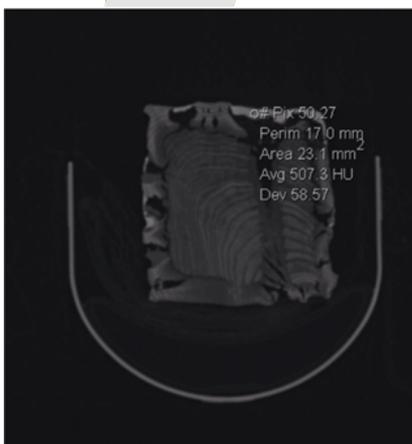


Fig. 4



Fig. 3

### Reperto N°2 (Fig. 5)

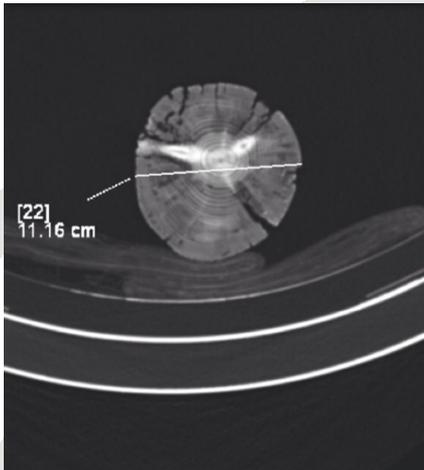


Fig. 5

Internamente sono apprezzabili alcune aree di aumentata densità come da fenomeni di mineralizzazione lignea.

### Reperto N°3 (Fig. 6)

Reperto ligneo delle dimensioni massime di H 38 cm, L 22 cm, P 13 cm circa.

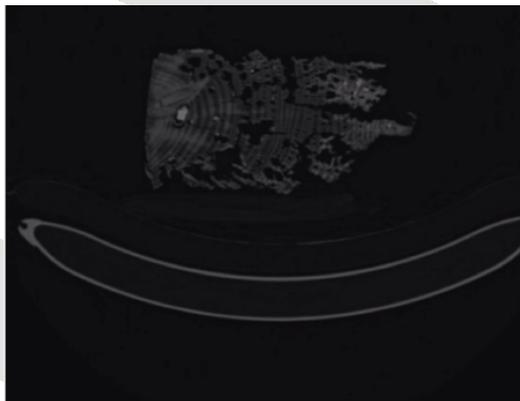


Fig. 6

chiodo a densità metallica (14 cm) e decorso evidenziabile incremento ossido di ferro.

Ad una valutazione densitometrica il reperto appare costituito principalmente da legno con densità compresa tra -300 e -500 H.U., nel contesto riconoscibili multipli

Residui a densità metallica.

Il reperto appare composto da un tronco, parzialmente squadrato nella sua parte più craniale e a morfologia ovalare nei restanti due terzi caudali, dove è possibile riconoscere la stratificazione lignea che dimostra come l'asse sia stato ottenuto dal midollo e dal durame di un unico tronco.

Ad una valutazione densitometrica il reperto appare costituito principalmente da legno con densità compresa tra -300 e -500 H.U., e nel contesto delle porzioni superficiali sono riconoscibili multipli residui a densità metallica.

Il reperto appare composto da una trave, dove è possibile riconoscere la stratificazione lignea che dimostra come sia ottenuto dal durame di un unico tronco.

Nella sua porzione craniale la trave si presenta con multiple erosioni, verosimilmente dovute agli agenti naturali, tra le quali si riconoscono alcune formazioni tubulariformi del DT di 1,4 cm, a decorso serpiginoso (Fig. 7), parzialmente ripiene di materiale ad alta densità (700 H.U.) di non univoca interpretazione (tarlature?).

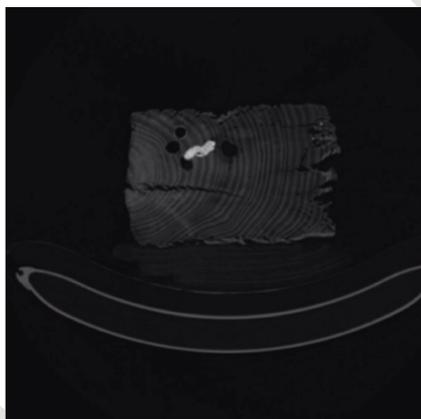


Fig. 7

Nel terzo medio è riconoscibile un chiodo a densità metallica con morfologia ovalare (DT di 2,6 cm, DL rettilineo; nel legno circostante è evidenzabile incremento ossido di ferro).

Ad una valutazione densitometrica il reperto appare costituito principalmente da legno con densità compresa tra -300 e -500 H.U., nel contesto delle porzioni superficiali sono riconoscibili multipli residui a densità metallica.

#### Reperto N°4 (Fig. 8)

Reperto ligneo delle dimensioni massime di H 22,5 cm, L 37 cm, P 3,5 cm circa.

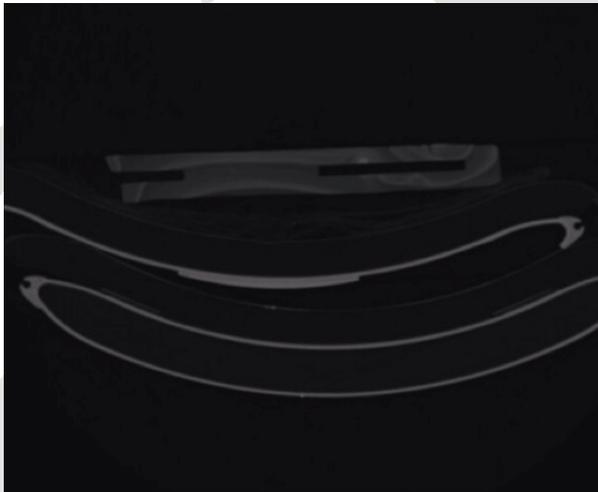


Fig. 8

Il reperto appare composto da un'asse, dove è possibile riconoscibile la stratificazione lignea che dimostra come sia stata ottenuta dal durame di un unico tronco.

Il reperto presenta multiple cavità, di natura antropica, ad aspetto rettangolare dello spessore di 8 mm, riferibili a mortase, alcune delle quali presentano alcuni fori che le attraversano trasversalmente.

Ad una valutazione densitometrica il reperto appare costituito principalmente da legno con densità compresa tra -300 e -500 H.U., nel contesto sono apprezzabili alcune aree di aumentata densità come da fenomeni di mineralizzazione lignea.

#### Reperto N°5 (Fig. 9)

Reperto ligneo delle dimensioni massime di H 158 cm, L 21 cm, P 2,8 cm.

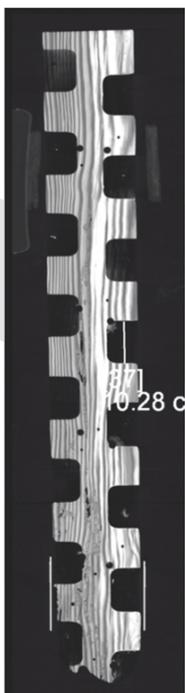


Fig. 9

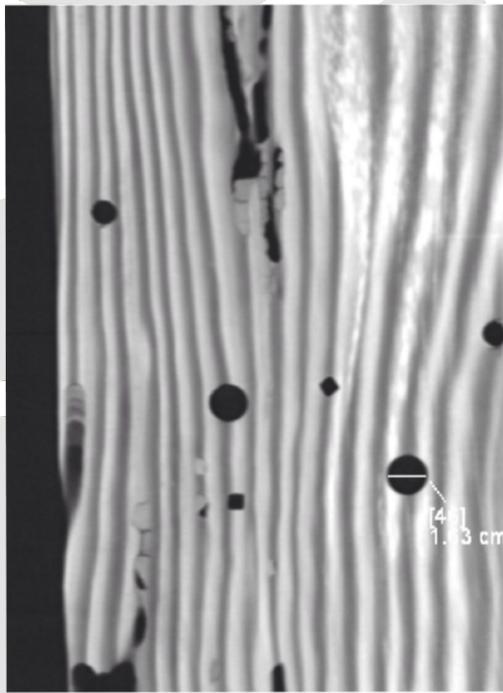


Fig. 10

Il reperto appare composta da un'asse, dov'è possibile riconoscere la stratificazione lignea che dimostra come sia stata ottenuta dal durame di un unico tronco.

Il reperto presenta sedici cavità, di natura antropica e riferibili a mortase, con aspetto rettangolare e margini arrotondati; tali cavità si presentano delle medesime dimensioni (H.

10,3 cm, L 7,7 cm, spessore di 8 mm) regolarmente disposte e distanziate in entrambi i margini del reperto. Coesistono multipli fori che attraversano l'asse in senso antero-posteriore delle dimensioni comprese tra 7 mm e 1,6 cm (Fig. 10). Ad una valutazione densitometrica il reperto appare costituito principalmente da legno con densità compresa tra -300 e -500 H.U., nel

contesto  
densità come da fenomeni di mineralizzazione lignea.

## Conclusioni

Il lavoro di indagini svolto presso la Sezione di Scienze Radiologiche del Di.Bi.Med dell'Università di Palermo, con la TCMS (Tomografia Computerizzata Multistrato), esami su reperti lignei, provenienti dal museo del Mare di Marsala, della nave romana del IV secolo a.c. e di una nave punica del III secolo a.C. Ci hanno consentito di avere dei risultati importanti per la verifica sullo stato della materia organica che dopo il ripescaggio ed il trattamento a Salerno aveva subito degli choc comprensibili per via del dislocamento e dei trattamenti.

Gli esami sono stati eseguiti dall'equipe del professore Massimo Midiri alla presenza degli esperti del GruppoArte16 coordinato da Giovanni Taormina, che ha sviluppato l'idea di approfondimento mediante la diagnostica i cui risultati sono stati illustrati analiticamente in questa relazione e il professore Franco Fazio, laureato presso l'istituto dell'ISCR di Roma e che hanno fornito dettagli fondamentali per la ricerca applicata ai reperti esaminati. Il 26 di giugno durante la fase di esplorazione con la TCMS era presente anche l'Assessore ai Beni Culturali della Regione Siciliana, Sebastiano Tusa, che ha concesso il permesso per il prelievo ed il trasporto degli elementi esaminati sotto la supervisione dell'architetto Enrico Lercara della soprintendenza del Mare.

Dichiarazione rilasciata dall'assessore Prof. Sebastiano Tusa: "il percorso di ricerca che è stato intrapreso, mirato all'individuazione di nuovi ed efficaci protocolli di conservazione di una classe di materiali di provenienza marina particolarmente delicati è un'operazione di alto valore scientifico e, pertanto, mi complimento con gli esperti del GruppoArte16 che stanno operando attraverso un percorso progettuale dal valore scientifico assoluto che si arricchisce attraverso l'apporto del dipartimento di scienze delle radiologie dell'Università degli Studi di Palermo". L'Assessore Sebastiano Tusa, si è complimentato inoltre con Sabrina Zuccalà per l'impegno del suo laboratorio nella ricerca e nello sviluppo di nuove frontiere per la conservazione dei Beni Culturali, attraverso la nanotecnologia. Questo impegno, nato con l'applicazione dei nanomateriali al relitto della Nave di Marausa, ha portato alla nascita di Heritage Preservation Lab, il dipartimento di 4Ward360 che si occupa prevalentemente della conservazione dei beni culturali.



Fig. 3