



iila

Instituto Italo-Latinoamericano

ARQUEOLOGÍA EN AGUA Y CONSERVACIÓN

Compiladores

CLAUDIO MOCCHEGIANI CARPANO
COSTANTINO MEUCCI



En el curso de las últimas décadas se ha desarrollado una reflexión internacional que ha llevado a una evolución del concepto de Patrimonio Cultural, entendido como componente integrante del desarrollo sostenible. A la base de este proceso se encuentra el conocimiento de la importancia estratégica que tienen la tutela y la valorización del Patrimonio para los fines del desarrollo económico y social de un país, que le exaltan su identidad cultural y le centran la atención sobre la capacidad operativa de los actores que actúan en el sector.

Siendo reconocida a nivel internacional la relevante experiencia italiana en el manejo de su imponente patrimonio, el Gobierno italiano ha asumido un rol activo en la elaboración de iniciativas para la transferencia de conocimientos y tecnologías en este campo sirviéndose, para América Latina, del IILA, el cual, en su calidad de organismo internacional, enumera entre sus finalidades la realización de programas para la formación de recursos humanos en todos los niveles y de proyectos-piloto en sectores de excelencia. Por lo tanto, en septiembre del año 2000, la Dirección General para la Cooperación al Desarrollo del Ministerio de Asuntos Exteriores de Italia suscribió con el IILA un Acuerdo para la constitución de un Trust Fund destinado a la "Valorización y Tutela del Patrimonio cultural como recurso de desarrollo y promoción de las relaciones en este campo entre Italia y los países latinoamericanos".

El memorandum que sella este Acuerdo de Cooperación afirma:

"Las intervenciones serán dedicadas a los sectores capaces de generar fenómenos de desarrollo sostenible, de promover el derecho a la cultura así como también el diálogo intercultural hasta con metodologías de vecinamiento integrado."

El programa individúa en la formación de recursos humanos el instrumento principal para salvaguardar y valorizar el Patrimonio Cultural, definiendo como ulteriores objetivos estratégicos los que siguen a continuación:

- ◊ la creación de nuevos empleos,
- ◊ el mejoramiento de las capacidades operativas autónomas tanto a nivel técnico-científico como gerencial,
- ◊ la descentralización institucional y el apoyo a las autonomías operativas locales,
- ◊ la creación de distritos culturales y la tutela de los antiguos oficios,
- ◊ la valorización de las expresiones del patrimonio intangible.

A partir del Acuerdo antes citado y a continuación del gran interés manifestado por todos los países miembros, el IILA desarrolla una amplia gama de actividades en el sector del Patrimonio Cultural, para el fortalecimiento institucional de los gobiernos latinoamericanos – a través de la formación y el intercambio de experiencias – y fomentando contemporáneamente la cooperación y la integración regional. Estas iniciativas se hacen posibles gracias a la incorporación y la colaboración con otros Organismos Internacionales y la principales instituciones italianas del sector, como el Ministero per i Beni e le Attività Culturali (MIBAC), el Comando Carabinieri per la Tutela del Patrimonio Culturale (CCTPC), las Universidades y laboratorios de artesanía y restauración.

ARQUEOLOGÍA EN AGUA Y CONSERVACIÓN

COMPILADORES

CLAUDIO MOCHEGANI CARPANO, COSTANTINO MEUCCI

AUTORES DE LOS TEXTOS

Arqueología en agua

CLAUDIO MOCHEGANI CARPANO

Materiales y metodologías para la conservación en arqueología subacuática

COSTANTINO MEUCCI

El patrimonio cultural subacuático en Chile

CLAUDIA PRADO, PAULINA ACUÑA, RODRIGO RIVEROS

ISBN 978-88-907481-1-0

© IILA, julio de 2012

INDICE

PRESENTACIÓN	11
INTRODUCCIÓN	
La arqueología de agua	13
La conservación de los sitios y de los materiales	16
ARQUEOLOGÍA EN AGUA	
1. HISTORIA DE LOS EQUIPOS SUBACUÁTICOS	21
2. INTODUCCION A LA ARQUEOLOGIA EN AGUA	37
3. EL ARQUEOLOGO BUZO	45
3.1. Formación de los cuadros	47
3.2. El laboratorio subacuático de Prócida - Vivara	48
3.2.1. Problemática de la investigación	
3.2.2. Organización del campo base	
3.2.3. Programación de las actividades	
3.2.4. Los equipos personales	
Pizarra para levantamiento	
Brújula de objetivo	
Cinta métrica	
Metro plegable	
Plomada	
Nivel de burbuja	
Martillo	
Material vario	
3.3. Ejercicios	59
3.3.1. El reconocimiento	
3.3.1.1. Reconocimiento visual	
3.3.1.2. Vehículos eléctricos	

3.3.1.3. Ala subacuática	
3.3.2. Posicionamiento	
3.3.2.1. GPS y Objetivos	
3.3.3. Levantamiento planimétrico	
3.3.3.1. La trilateración	
3.3.3.2. Las coordenadas ortogonales	
3.3.3.3. Las coordenadas polares	
3.3.4. Levantamiento rápido	
3.3.4.1. La Poligonal	
3.3.4.2. Irradiación	
3.3.5. Levantamiento altimétrico	
3.3.5.1. Profundímetro	
3.3.5.2. Objetivo subacuático	
3.3.5.3. Nivel de aire	
3.3.5.4. Levantamiento directo de niveles	
3.3.5.5. Levantamiento con Eclímetro	
3.4. El enrejado	70
4. EL ENSAYO DE EXCAVACION EN EL GOLFO DE GENITO	74
4.1. Resultados preliminares	74
4.2. La obra de excavación	75
4.2.1. La lanza de agua	
4.2.2. La Sorbona, aspirador de aire	
4.2.3. La Sorbona de agua, hidroaspirador o aspirador de agua El globo elevador	
5. NAVES PARA LA INVESTIGACION SUBMARINA	81
5.1. Colaboración con la Marina Militar	81
5.2. Levantamientos con sistemas Side Scan Sonar	81
5.3. Investigaciones visuales mediante sistemas ROV	84
6. EL TIBER Y LOS PUERTOS FLUVIALES EN LA ANTIGUA ROMA	86
7. EL TIBER CONTENEDOR DE HALLAZGOS ARQUEOLOGICOS	103

MATERIALES Y METODOLOGÍAS PARA LA CONSERVACIÓN EN ARQUEOLOGÍA SUBACUÁTICA

INTRODUCCIÓN	117
1. LOS MATERIALES OBJETO DE INTERVENCIÓN	121
2. EL AMBIENTE DEL YACIMIENTO	123
2.1. La Temperatura	124
Los pueblos neolíticos del Lago de Varese	
2.2. La Concentración del oxígeno	131
Los hallazgos metálicos del asentamiento del Lavagnone	
Los clavos de los restos árabe-normando de Marsala	
2.3. La concentración de dióxido de carbono CO ₂	135
Los restos de Santa Caterina en Nardò	
2.4. La salinidad	137
El Sático de Mazara del Vallo	
2.5. La luminosidad	140
2.6. El grado de acidez (pH)	141
Las estatuas de mármol de la gruta azul de Capri	
Los bronceos de Punta del Serrone en Brindisi	
2.7. La presencia de especies biológicas	146
Los restos de Torre Flavia en Ladispoli	
2.8. La profundidad del sitio	149
2.9. El movimiento ondoso y la velocidad de las corrientes	149
El lugar palafítico de Bodio Keller en el lago de Varese	
Las obras de muelle del río Tíber en la localidad	
Nuevo Puente Sublicio (Roma)	
El ancla de hierro en la localidad de Cala Sintias (Cagliari)	
2.10. Las características del fondo	154
El naufragio de las antefijas de Cala Sintias	
3. LOS SITIOS DE YACIMIENTO	159
3.1. Ríos	159
Las piraguas del Río Bacchiglione	
3.2. Lagos	162
El pueblo neolítico de “La Marmota” en el lago de Bracciano	
3.3. Turberas	164

3.4	La turbera de Fiavé	
	Pozos y cisternas	166
	Los materiales bizantinos de Crecchio	
3.5	Mar	168
	Los despojos del Mar Negro	
4.	TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN Y DEGRADACIÓN DE LOS MATERIALES	171
4.1.	Cerámicas y vidrio	
4.1.1.	Las arcillas y los minerales de las arcillas	171
4.1.2.	Los materiales cerámicos	
	Composición química	
	La tecnología de producción	
	Las técnicas de cocción	
	Deterioro en ambiente subacuático	
4.1.3.	Los materiales vítreos	
	Origen e historia del vidrio en el mundo antiguo	
	El naufragio de Ulu Burun en Kas (Turquía)	
	Degradación del vidrio	
4.2.	Materiales lapídeos	185
4.2.1.	Los materiales lapídeos naturales	
	Los sarcófagos de Torre Sgarrata en Taranto	
	Degradación de los materiales lapídeos naturales	
	La Cueva de la Básura	
4.2.2.	Los materiales lapídeos artificiales	
	El puerto neroniano de Anzio (Roma)	
	Degradación de los materiales lapídeos artificiales	
	Los morteros de las estructuras subterráneas de San Clemente en Roma	
4.3.	Materiales metálicos	198
4.3.1.	Objetos de oro y de plata	
4.3.2.	Objetos de cobre y sus aleaciones	
	Degradación de los objetos de cobre y bronce	
4.3.3.	Objetos de hierro	
	Degradación de los objetos de hierro	
	El bajío de las anclas (Castiadas - Cagliari)	
4.3.4.	Objetos de plomo	
	Las anclas de Maratea	

	Degradación de las manufacturas de plombo	
	El ancla de Punta Is Cappuccinus (Cala Sintias - Cagliari)	
4.4.	Materiales orgánicos con particular referencia a la madera	213
4.4.1.	La madera	
	Degradación de los objetos demadera	
	La nave de Valle Ponti (Comacchio – Ferrara)	
5.	MATERIALES Y MÉTODOS PARA LA PROTECCIÓN	
	Y LA CONSERVACIÓN TEMPORAL <i>IN SITU</i>	222
5.1.	El recubrimiento con arena	222
5.2.	Protección con chapa de zinc	223
5.3.	Protección con sacos de arena	224
5.4.	Protección con silicona	225
5.5.	Protección encofrada con metal	228
5.6.	Protección con placas de metal o de cemento	229
6.	MATERIALES Y MÉTODOS PARA LA CONSERVACIÓN	
	TEMPORÁNEA <i>IN SITU</i>	230
6.1.	Protección catódica de estructuras metálicas	230
6.2.	Consolidación de estructuras arquitectónicas	232
6.3.	Limpieza de la superficie expuesta de los objetos	233
6.4.	Consolidación <i>in situ</i> de materiales arqueológicos	234
7.	MÉTODOS PARA LA RECUPERACIÓN DE LOS MATERIALES EN	
	VISTA DE SU RESTAURACIÓN	237
7.1.	El rescate de los hallazgos	240
7.1.1.	La técnica de la recuperación con “caparazón cerrada”	
	Introducción	
	La caparazón rígida	
	La instalaciones de servicio	
	Las soluciones de tratamiento	
	La dinámica de intercambio	
	La eficacia del método	
	Los soportes de exposición	
	Conclusiones	
8.	METODOLOGÍAS DE PRIMERA INTERVENCIÓN	
	CONSERVATIVA	260

	Material cerámico	
	Vidrio	
	Materiales metálicos	
	Objetos de hierro	
	Objetos de cobre y aleaciones de cobre	
	Objetos de plomo	
	Materiales orgánicos	
8.1.	Materiales y métodos para el almacenamiento temporáneo en espera de la restauración.	264
	Hallazgos de cerámica y de vidrio	
	Hallazgos metálicos	
	Hallazgos orgánicos	
9.	MATERIALES Y MÉTODOS PARA LA RESTAURACIÓN CONSERVATIVA	269
9.1.	Materiales y métodos para el tratamiento conservativo de materiales metálicos	269
	La experiencia del naufragio árabe-normando de Marsala	
	Operaciones de rápida intervención y conservación	
	Fichas conservativas de los restos	
	Clavos de hierro de los relictos A y B	
	Balde de cobre (inv. exc. 26.86)	
	Los cañones del naufragio español de Villasimius (Cerdeña)	
	Los metales del casco de Ladispoli (Roma).	
	La grapa del dolium	
	La lámina	
	La caldera	
9.2.	Materiales y métodos para el tratamiento de conservación de materiales cerámicos.	279
	Los materiales cerámicos del naufragio árabe-normando de Marsala	
9.3.	Materiales y métodos para el tratamiento conservador de materiales lapídeos	284
	Las Estatuas del Lido de las Sirenas (Anzio)	
9.4.	Materiales y métodos para el tratamiento conservativo de materiales orgánicos	286
	Impregnación con melamina	
	Desecación para la liofilización	

10. EPÍLOGO	289
--------------------	------------

EL PATRIMONIO CULTURAL SUBACUÁTICO EN CHILE

Introducción	295
--------------	------------

Marco Legal	295
-------------	------------

Investigación en arqueología subacuática en Chile	298
---	------------

El PCS en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)	301
--	------------

Proyectos de investigación y puesta en valor del PCS con participación del CMN	302
--	------------

Formación en arqueología subacuática en Chile	304
---	------------

Problemáticas en la protección del PCS en Chile	307
---	------------

Conclusiones	309
--------------	------------

Bibliografía	311
--------------	------------

PRESENTACIÓN

En el 2007 el Consejo de Monumentos Nacionales de Chile solicitó al IILA la realización de una actividad de formación en el sector de la Arqueología Subacuática, destinada a funcionarios públicos y estudiantes de arqueología del País. Tal solicitud nacía de la exigencia de formar arqueólogos buzos en Chile para poder proteger el enorme patrimonio subacuático del País - principalmente constituido por relictos de embarcaciones del período entre los siglos XVI y XIX y del período pre-hispánico.

Así fue que se realizó en el 2008 en Santiago y Valparaíso el “Curso de formación en Arqueología Subacuática”, el cual incluía una parte práctica con inmersiones en un taller subacuático y ejercitaciones de conservación y catalogación de los hallazgos. El IILA realizó dicha iniciativa, conjuntamente con el Consejo de Monumentos Nacionales de Chile, gracias a la contribución financiera de la Cooperación Italiana y a la expertise del Ministerio para los Bienes y Actividades Culturales de Italia y de los técnicos del Centro de Coordinación de las Prospecciones Arqueológicas Subacuáticas de Roma; en Chile, gracias a la colaboración con otras instituciones como la Armada de Chile, la Universidad de Chile, la Universidad Andrés Bello y la organización Arka Consultores. Es en ocasión de dicha actividad que surgió la idea de realizar el presente manual, en respuesta a la limitada disponibilidad en América Latina de publicaciones científicas, en idioma castellano, sobre la arqueología subacuática y sobre técnicas de conservación y restauración de los materiales. El presente trabajo pretende por lo tanto recoger las experiencias internacionales en el sector de la investigación y de la conservación de los restos y sitios arqueológicos, ofreciendo elementos de estudio y de profundización a los arqueólogos y técnicos comprometidos con investigaciones arqueológicas subacuáticas.

Compiladores del volumen son los mismos profesores italianos que han dictado el Curso en Chile: Claudio Mocchegiani Carpano, docente de arqueología subacuática en la Universidad de los Estudios de Nápoles “Suor Orsola Benincasa” y Costantino Meucci, docente de química de los materiales en la Universidad de los Estudios de Roma “La Sapienza”. El trabajo está organizado en tres partes: en la primera, el Prof. Mocchegiani Carpano trata la historia de la investigación subacuática, desde su origen hasta hoy, ilustrando la conducción de los talleres y los principales métodos para la documentación gráfica y fotográfica. En la segunda parte, el Prof. Meucci analiza las problemáticas de la restauración de los materiales sumergidos y las relativas técnicas de rápida intervención conservativa. La tercera parte, ofrece una panorámica de la arqueología subacuática en Chile, a través de las más recientes experiencias de investigación y de capacitación realizadas en el País. Autores de esta última parte del volumen, han sido tres arqueólogos chilenos: Claudia Prado, Encargada de la Comisión del Patrimonio Arqueológico del Consejo de Monumentos Nacionales y los investigadores Paulina Acuña y Rodrigo Riveros.

Giorgio Malfatti di Monte Tretto
Secretario General IILA

INTRODUCCIÓN

La arqueología de agua

En las últimas décadas el desarrollo de la tecnología ha permitido que el hombre pueda investigar más y con mayor precisión en el agua y en las profundidades marinas; por este motivo, el patrimonio arqueológico subacuático se ha manifestado con toda su riqueza y complejidad.

De hecho, en el pasado, debido a la falta de conocimiento de los bienes sumergidos así como de adecuados equipos de buceo, el problema de la arqueología subacuática era considerado un tema secundario y en general el resultado casual de recuperación de hallazgos, como por ejemplo aquéllos efectuados en el mar, o también de restos de naves, testimonios de las antiguas rutas comerciales; un ejemplo válido para todos los casos es el descubrimiento de los Bronces de Riace en la costa de Calabria en el sur de Italia.

Fue solamente en los años siguientes al segundo conflicto mundial que el desarrollo de la tecnología y la difusión de los equipos individuales de buceo incrementaron la posibilidad de investigar más atentamente el fondo del mar y al mismo tiempo permitieron a los buzos deportivos descubrir sitios costeros y antiguos naufragios.

Las primeras informaciones estaban relacionadas con el descubrimiento de antiguos naufragios cuya presencia fue denunciada por la identificación de la carga, que en la mayoría de los casos estaba constituida por ánforas, pero también de mármoles y de otras mercancías transportadas. La profundidad de los sitios identificados y notificados dependía de la tecnología del momento pero, en muy poco tiempo, la ejecución de obras tecnológicamente avanzadas, como el tendido de cables y tuberías o también la investigación geológica, dio la oportunidad de documentar la presencia de millares de naufragios, incluso aquéllos situados a gran profundidad. Es interesante observar que a veces las condiciones ambientales eran tan buenas que algunos de los barcos presentaban un excelente estado de conservación.

Durante estos primeros años de actividad, la arqueología “oficial” no podía intervenir directamente con técnicos especializados adecuadamente preparados y, por lo tanto, confió la recuperación de los hallazgos a grupos de voluntarios involucrados en el proyecto, con la asistencia técnica de los buzos pertenecientes a los grupos de las Fuerzas del Orden (carabineros, financieros, bomberos, etc.).

La curiosidad de los buzos extendió la actividad de investigación en los lagos y en éstos fueron casualmente identificados sitios de palafitos incontaminados que rápidamente restituyeron restos de pueblos, cerámicas íntegras, objetos de hierro y de bronce, piraguas monóxilos. En este particular tipo de sitios, las intervenciones de investigación y de excavación debían ser desarrolladas en presencia de arqueólogos buzos para asegurar la correcta conducción de la excavación.

Al mismo tiempo, a pesar de las dificultades de buceo, se empezaron a investigar los ríos; estos antiguos caminos de comunicación sobre agua comenzaron a restituir restos que documentaban la existencia de puertos fluviales y comprobaban la actitud de las poblaciones a la navegación.

En contextos urbanos, además, los ríos son muy interesantes “contenedores” de objetos.

La necesidad de desarrollar en los sitios arqueológicos subacuáticos una intervención científica para hacer el estudio, la excavación, la documentación, la recuperación y la conservación, impusieron la necesidad de comenzar con la formación de operadores técnicos y científicos capaces de intervenir en el agua para desarrollar todas actividades, siguiendo la misma práctica de las obras arqueológicas de tierra.

En efecto, la intervención sobre un sitio arqueológico prevé la presencia de diferentes profesionales directamente involucrados en la dirección y organización de la obra; debido a que las intervenciones arqueológicas en agua necesitan la misma atención, la moderna actividad arqueológica en agua requiere la presencia contemporánea de arqueólogos, diseñadores, fotógrafos, restauradores, así como de geólogos y otros profesionales científicos. Todos los operadores deben ser habilitados al buceo y al trabajo en las obras arqueológicas subacuáticas a través de específicos cursos de especialización.

Con el fin de satisfacer las necesidades de investigación científica del taller arqueológico subacuático y para implementar la formación de los operadores, muchas universidades italianas han desarrollado cursos específicos de arqueología subacuática, a veces con actividades de formación en el agua. En años pasados, la Universidad de los Estudios “Suor Orsola Benincasa” de Nápoles organizó en la isla de Procida, un taller escuela para los estudiantes con patente de buceo deportivo; durante el tiempo de los trabajos prácticos, los estudiantes aprendieron las técnicas de preparación de la obra subacuática y las metodologías del dibujo y de la documentación en agua.

En los años 90, el Ministerio para los Bienes y las Actividades Culturales (MiBAC) de Italia organizó, a través del Servicio Técnico para la Arqueología Subacuática (STAS), cursos para su propio personal científico y técnico con el fin de especializarlos en los diferentes sectores de trabajo en las obras arqueológicas subacuáticas. Muchos de estos técnicos hacen actualmente parte de los grupos de buceo que operan en las Superintendencias Italianas con el apoyo y la colaboración de los buzos de Carabineros, Financieros, Bomberos y de la Marina de Guerra.

Al mismo tiempo, se evidenció la necesidad de organizar cursos de formación arqueológica para los buzos de las estructuras militares que habían colaborado con el MiBAC - en todas las situaciones de intervenciones de urgencia, con el fin de cancelar y bloquear las excavaciones clandestinas, desarrollar una vigilancia activa de las costas y de los sitios y, por último, colaborar en las actividades de excavación en agua. Citamos como ejemplo el curso para buzos Financieros que se desarrolló en 2003 en las aguas de Gaeta y el curso para los buzos de Carabineros realizado en el año 2000 en la isla de Procida.

En este sentido, es importante destacar que el Grupo de Carabineros para la Protección del Patrimonio Cultural, una estructura que depende directamente del MiBAC., ha colaborado desde su fundación con las Superintendencias en el ámbito de todas actividades de arqueología subacuática, con sus operadores especializados a través de cursos específicos.

Otro problema directamente relacionado con la protección de los sitios sumergidos es el conocimiento de los sitios y de sus ubicaciones de manera que las fuerzas del orden involucradas puedan efectuar eficazmente, obras de vigilancia y de prevención. Por este motivo, el MiBAC ha financiado el proyecto ARCHEOMAR para obtener el censo de los sitios arqueológicos sumergidos mediante el buceo de arqueólogos e inspecciones de vehículos submarinos; hasta ahora, el proyecto incluyó las costas de las regiones más activas en este sector (especialmente, Toscana, Lazio, Campania, Basilicata, Calabria y Puglia).

Por lo tanto, parece necesario que las técnicas y las metodologías de intervención en los sitios arqueológicos sean uniformadas a nivel internacional; sin embargo, es evidente la necesidad de aplicar en agua las mismas metodologías de las investigaciones en tierra, pero siempre con la consciencia de las peculiaridades del medio ambiente acuático y la necesidad de utilizar arqueólogos y técnicos especializados. En caso de recuperación de una pieza de madera saturada de agua, por ejemplo, es fundamental la presencia de un restaurador buzo, ya que la conservación del objeto requiere que las primeras intervenciones de restauración sean realizadas directamente en el sitio y, en el mismo tiempo, que en la base operativa de tierra se predispongan todos los equipos y los medios necesarios con el fin de garantizar la correcta conservación de los hallazgos.

De otra parte, el mismo uso de la sorbona, el aspirador de agua que es el único equipo que se puede utilizar para hacer excavaciones estratigráficas en los sitios subacuáticos, tiene que ser realizado por arqueólogos, ya que estos profesionales tienen los conocimientos necesarios para identificar los diferentes estratos y, por consiguiente, para regular correctamente la potencia de succión de la sorbona.

Por eso, fue muy importante la organización del curso taller desarrollado en Chile en el año 2008, gracias al apoyo económico y organizativo del IILA, que a continuación de la solicitud del Consejo de Monumentos Nacionales de Chile, involucró en la gestión del curso el MiBAC con el fin de garantizar la formación de arqueólogos y operadores técnicos buzos para la excavación de los sitios subacuáticos y la conservación de los materiales arqueológicos saturados de agua.

Claudio Mocchegiani Carpano

La conservación de los sitios y de los materiales

La práctica de la conservación en arqueología subacuática es una actividad relativamente nueva que sienta sus bases en la conciencia de la inestabilidad de los materiales que constituyen los hallazgos, una vez extraídos del agua, o bien, expuestos a las variaciones del medio ambiente. Por lo tanto, aprovechar el problema conservativo de manera correcta, implica un conocimiento preliminar del sitio y del yacimiento arqueológico así como de los procesos de degradación de los materiales involucrados, debido al medio ambiente.

La organización del curso “curso de arqueología subacuática y de conservación de los materiales” dio la oportunidad de reorganizar y sistematizar el material didáctico producido durante los últimos veinticinco años a través de clases de especialización dentro del curso de restauración de materiales arqueológicos del Instituto Central de la Restauración de Roma y de la Universidad “La Sapienza” de Roma y de los cursos teórico-prácticos de Operador Técnico de Arqueología Subacuática (OTAS) desarrollados por el MiBAC y también por buzos deportivos en el ámbito de las actividades de especialización de buceo técnico de la Federación Italiana Pesca Deportiva y Actividades Subacuáticas (FIPSAS) de acuerdo con los programas de formación de buzos científicos de la CMAS.

El curso, por consiguiente, se desarrolló en dos fases: un primer periodo de clases teóricas sobre los procesos de degradación de los materiales arqueológicos en el medio ambiente acuático y una parte práctica basada en la aplicación subacuática de algunas técnicas para la protección de los sitios y para la recuperación de los hallazgos. Las experiencias prácticas se concluyeron con la organización de un pequeño taller de restauración en la base operativa de Quintay de la Universidad Andrés Bello donde se aplicaron metodologías de conservación y de almacenamiento de los hallazgos recuperados en el sitio. Todas actividades se desarrollaron paralelamente a la formación arqueológica como si fueran la evolución de un verdadero taller de excavación subacuática.

Los conceptos tratados en la parte teórica del curso constituyen el primer núcleo del presente volumen, mientras que la segunda parte trata de las metodologías necesarias para el tratamiento conservativo de los hallazgos, una vez extraídos del agua, así como de la técnicas que se pueden aplicar para la protección temporal de los sitios subacuáticos, durante y después de la excavación. A partir de un programa muy articulado, se observó que los participantes al curso práctico implementaran gradualmente su capacidad de trabajo subacuático, hasta realizar el molde de una pequeña sección del barco sobre el cual se había instalado el taller subacuático. Una técnica que utiliza materiales especiales como goma de silicona y resina epoxica y que necesita de una elevada capacidad de buceo para ser correctamente realizada. La recuperación de grupos de objetos de cerámica y vidrio con la técnica del molde de yeso, puso también graves problemas de coordinación de los componentes del equipo, causados por la escasa visibilidad en el fondo y por el tiempo de fraguado del yeso que es muy corto en el agua.

Todas las actividades de tratamiento conservativo de los objetos recuperados se desarrollaron en el laboratorio de restauración organizado en la Universidad de Quintay con el criterio de simular una actividad de campo: los materiales y los equipos de tratamiento fueron elegidos con base en las metodologías necesarias para garantizar la conservación de los hallazgos y su correcto almacenamiento. La primera actividad fue la documentación fotográfica y la preparación de fechas descriptivas, después se pasó a la limpieza, utilizando diferentes metodologías con base en la consistencia y composición de los depósitos que recubrían los objetos. En la secuencia de las actividades se tuvo cuidado en desarrollar las fases necesarias para garantizar la buena conservación de los diferentes materiales; en particular, la extracción del agua fue realizada utilizando diferentes soluciones de alcohol y de acetona de acuerdo con la composición y el estado de degradación de los materiales. Sobre todo se tuvo cuidado en los tratamientos de secado que son necesarios para detener los procesos de degradación de los metales y del vidrio. Se realizó, por consiguiente, un equipo de secado en corriente de aire frío (que fue utilizado por cerámicas y vidrios) y otro con aire caliente para secar los metales. Todos los equipos y materiales de restauración son parte integrante del patrimonio material del grupo de intervención subacuática del Ministerio de Cultura, donde se conservan también todos los objetos recuperados. A pesar de los buenos resultados obtenidos, en la conclusión del curso se evidenció la necesidad de implementar el tiempo de la formación práctica, sobre todo teniendo en cuenta que la temperatura del agua y las actividades de conservación en el taller reducen el número diario de buceos si no se quiere hacer un esfuerzo demasiado para los operadores. Sin embargo, la línea elegida se demostró suficientemente flexible y funcional para garantizar que los estudiantes alcancen un buen nivel de preparación.

Costantino Meucci





ARQUEOLOGÍA EN AGUA

CLAUDIO MOCHEGANI CARPANO

1. HISTORIA DE LOS EQUIPOS SUBACUÁTICOS

La Técnica de la inmersión subacuática a cuerpo desnudo tiene lejanos orígenes ya que era practicada desde la antigüedad, como lo testimonian las fuentes iconográficas, literarias y los restos arqueológicos.

Al 4.500 a.C. se remontan algunos objetos decorados en perla y madreperla, encontrados en Mesopotamia, que testimonian la existencia de personas en capacidad de bajar al fondo del mar.

La imagen más antigua consiste, en dos bajorrelieves en dos Asirios del 900 a.C. conservados en el British Museum, en los cuales se ven algunos “nadadores” con un odre amarrado al pecho por el cual respiran a través de un tubo.



Fig. 1:
Londres, British
Museum. Relieve
del Palacio de
Ashurmasirpal II
(883-859 a.C.) en
Nimrud
(de F. Maniscalco,
Mare Nostrum,
Massa, Nápoles
1999, pag. 11).

También en la *Iliada* y en la *Odisea*¹, aunque indirectamente, se habla de hombres hábiles para nadar bajo la superficie marina. En efecto, en Grecia era ampliamente difundida la pesca de las esponjas, mientras que en Delo la de los múrices de los cuales se extraía la púrpura.

Algunos autores antiguos relatan las empresas de un mítico hombre rana, Scyllia di Scione Pausania² cuenta que Scyllia, junto a la hija Cyana, cortó los amarres de las naves enemigas de Serse, ancoradas detrás del monte de Pelio, dejándolas a merced de la tempestad.

Tucidide³ más tarde, en el siglo V a.C. (414 a.C.) cuenta sobre buzos atenienses empleados para fines militares, los cuales cortaron los pilotes plantados en el fondo, para defender el puerto de Siracusa.

1. Omero, *Iliada* XII, 385, XVI, 750; *Odisea* XII, 913.

2. Pausania, *Periegesi de la Grecia*, X, 19, 1.

3. Tucídide, *Historia*, VII, 25.

Debemos llegar a Aristóteles (384-322 a.C.) para tener un testimonio escrito de una inmersión. De hecho, es el primero en hablar de un “instrumento” que permitía al hombre respirar debajo del agua; el más complejo era la campana neumática, mientras que un aparato más sencillo estaba constituido por una especie de narguile: un tubo hueco de bambú o madera, comparada por Aristóteles a la trompa del elefante⁴.

Además, el mismo Aristóteles describe algunos expedientes utilizados por los buzos para evitar la ruptura del tímpano, que consistían en pegarse esponjas entorno a las orejas, echarse aceite dentro del⁵ o en las orejas y narices⁶.

También Alejandro Magno (Siglo IV a.C.) disponía, entre las filas de su ejército, de grupos adiestrados al combate subacuático, llamados “utricularios”. Y el mismo Alejandro, según diversas fuentes, fue protagonista, en el 332 a.C., de una inmersión en las profundidades marinas por medio de una campana de vidrio.

Al 170 a.C. se remonta la noticia reportada por Tito Livio⁸ según la cual, bajo el reinado de Perseo, existían buzos destinados a la recuperación tesoros sumergidos.

Existía, inclusive, una ley, entre aquéllas de Rodi, que preveía el reconocimiento de una compensación, proporcional al riesgo y a la profundidad alcanzada, en favor del buzo que hubiese efectuado la recuperación de mercancías botadas al mar durante la tempestad o perdidas en caso de naufragio.

En los romanos, durante el principado de Claudio, eran conocidos los urinatores , nadadores subacuáticos especializados, provenientes en su mayoría de Asia Menor que, presentes establemente entre la tripulación de la nave, realizaban diversas tareas para soltar las áncoras encalladas, a la inspección de los botes para llegar a nado a la costa. Los urinatores a menudo eran empleados en trabajos ingratos, fatigosos y a veces también peligrosos, como por ejemplo la limpieza de los pozos de las cisternas y de las cloacas. En Roma, estaban reunidos en asociaciones profesionales, llamadas corpora, como es recordado en un epígrafe encontrado a poca distancia del templo de Portunus, en el Portus Tiberius, que lleva la inscripción: *piscinarium et urinatorum totius alvei Tiberis*⁹. Su sede estaba ubicada probablemente en proximidad del puerto fluvial de Roma y de la isla tiberina. Su actividad estaba directamente relacionada con el tráfico comercial a lo largo del Tíber. De hecho, se encargaban de remover eventuales obstáculos creados por las crecientes del río, o de recuperar las mercancías caídas durante las operaciones carga y descarga.

Otra corporación de urinatores está testimoniada también en Ostia por una inscripción dedicada al emperador Antonino Pio y fechada en el 150-151 d.C.¹⁰. Mientras que una nota epígrafe funeral, fechada al final del siglo I d.C., con inscripción: *Aurelia Nais, piscatrix de Horreis Galbae*, da testimonio de la

presencia de mujeres buzos¹¹.

Cosa que no nos debe sorprender, ya que en Japón, dos siglos antes de Cristo, existían algunas mujeres buzos, llamadas Ama, especializadas en la recolección de ostras perliíferas, moluscos y algas, las cuales, dotadas de redcilla, anteojos (que podían ser compensados por medio de dos bombitas laterales) y de un lastre estaban en capacidad de bajar hasta 35 metros.

En realidad, sólo a partir del siglo XIV-XV se realizan los esfuerzos mayores en el proyecto y experimentación de equipos que permitieron al hombre trabajar debajo del agua. Fueron numerosas las invenciones, como lo testimonian los documentos y los proyectos, algunas de las cuales se quedaron sólo a nivel de ideas fantasiosas y no tuvieron aplicación práctica, otras, en cambio, fueron realmente puestas en práctica, favoreciendo el desarrollo técnico.

Al siglo XV se remontan los dibujos de Mariano di Iacopo, llamado el “Taccola” (1382-1458), y de Francesco di Giorgio (1439-1501), ambos proyectaron una de las primeras caretas con aireador de superficie.



Fig. 2:

Izquierda: 1460. Dibujo de Francesco di Giorgio. (de D. Cedrone, inmersión. Los siglos del descubrimiento, *The Historical Diving Society Italia*, Museo Nacional de las Actividades Subacuáticas. Ravenna, 1998, pag. 15). Derecha: 1450. Bosquejo realizado por Taccola

4. Aristóteles, De partibus animalium II, 16.

5. Aristóteles, Problemata Physica XXXII, 11; XXXII, 3.

6. Aristóteles, Probl. Phys. XXXII, 5.

7. Tito Livio, XLIV, 10, 3.

8. Varrone (De lengua Latina V, 126) y Cicerón (Academicis lib II) entienden los verbos i urinor e urino con el significado de “sumergirse” o “nadar debajo del agua”.

9. C.I.L., VI, 1872. Con el término piscinarium debe entenderse, no los pescadores propiamente dichos, los llamados piscicapi, sino más bien una variante técnica similar y aralela a aquella de los urinatores. Además una nota epígrafe (C.I.L. VI, 9801), fechada al final del siglo I d.C. recuerda a una cierta Aurelia Nais, piscatrix de Horreis Galbae, sitrataria, probablemente, del primer testimonio de una mujer buzo. .

10. [Imp(eratori) Caes(ari) T(ito) Aelio Hadriano Ant[onin[o] Au[g(usto) Pio pontef(ici) max(imo) trib(inizia) pot(estate) XIII co(n)s(uli) III p(atr) p(atr)iae corpus urinatores Ostiensium s(ua) p(pecunia) p(osuit). Trad: “Al Emperador Cesare Tito Elio Adriano Augusto Pio, Pontífice Máximo, investido de la potestad tribunizia por la vigésima cuarta vez, cónsul por cuarta vez, Padre de la Patria, la corporación de los buzos ostienses por cuenta propis hizo esta dedicación”. (C.I.L., VI, 1872).

11. C.I.L. VI, 9801.

También Leonardo Da Vinci (1452-1519), en su Codex Atlanticus, dedicado a las “máquinas, artes secretas y otras cosas” proyectó y diseñó una serie de implementos para la inmersión: se trata de caretas, aletas, lastre (constituida por bolsitas de arena) y tanques de aire.

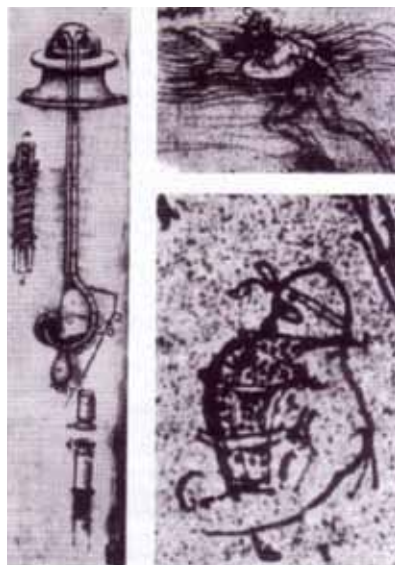


Fig. 3:

Milán. Museo de las Ciencias y de la Técnica. Bosquejos de Leonardo da Vinci. A la izquierda: aparato respiratorio subacuático. Arriba a la derecha, salvavidas. Abajo a la derecha: “traje de buceo-armadura” (de F. Maniscalco, *Mare Nostrum, Massa, Nápoles, 1999, pag. 20*).

A este mismo período se remonta también el primer tentativo de recuperación de las famosas naves de Calígola, en el lago de Nemi, por parte de Leon Battista Alberti, que encargado directamente por el Cardenal Próspero Colonna, en 1664, hizo explorar el fondo del lago por expertos nadadores genoveses. Posteriormente hizo construir una enorme balsa con “muchas tinajas de vino” dotada de ganchos de hierro, para enganchar los restos y llevarlos a la superficie. En realidad logró sólo recuperar algunos fragmentos de madera del enchapado y algún objeto.

Casi un siglo después, un segundo tentativo fue emprendido por el ingeniero militar boloñés Francesco De Marchi (1490-1574), que en 1535 se sumergió personalmente en las aguas del lago con el auxilio de un instrumento, ideado por el maestro Guglielmo da Lorena. Consistía en un cilindro de madera reforzado por anillos metálicos, que dejaba los brazos y las piernas libres de movimiento. Según el relato de De Marchi este instrumento permitía permanecer sumergidos por más de una hora, pero no sabemos cómo era suministrado el aire. Tampoco los tentativos de De Marchi tuvieron resultado positivo sino que contribuyeron sólo a continuar la obra de destrucción y expoliación de los dos naufragios.



Fig. 4:

1535. Instrumento proyectado por el maestro Guglielmo da Lorena (da “*Nemi, il suo lago, le sue navi*” de Leo Leo Montecchi. Morpuro, 1929).

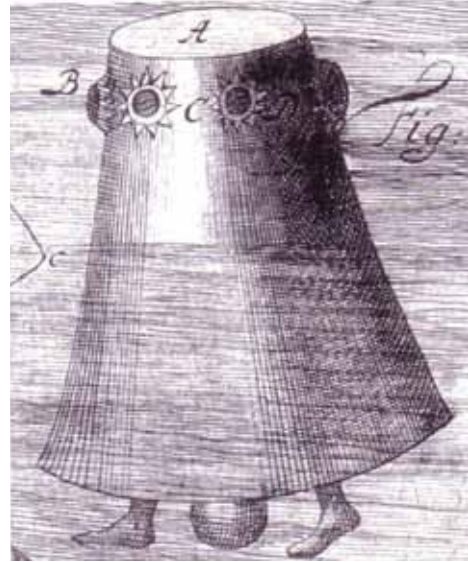


Fig. 5:

1616. Campana proyectada por Franz Kessler y citada también por Gaspar Scott en 1664 (por D.Cedrone, *Immersione. I secoli della scoperta, The Historical Diving Society Italia, Museo Nazionale delle Attività Subacquee, Ravenna 1998, pag. 20*).

Contemporáneamente a la idea de la escafandra¹², surgen las primeras señales del desarrollo de un medio de inmersión que tendrá mucho éxito: la campana. Por campana -aquella antigua- se entiende un sistema de inmersión en forma de vaso o campana invertida, con o sin ventanilla para la visión externa. Las primeras campanas, cuando terminaba la reserva de oxígeno, eran llevadas a la superficie para regenerar con aire fresco el aire interior viciado.

En el XVI siglo el famoso ingeniero, topógrafo y matemático Niccolò Fontana (1551) y el florentino Buonaiuto Lorini (1597) proyectaron algunos fantasiosos equipos para la inmersión, que se pueden asociar con las campanas neumáticas. En 1616 Frank Kessler proyectó una campana más grande que la de Lorena. Este equipo tenía una serie de orificios a lo largo del perímetro, a la altura de la cabeza, y estaba dotado de un lastre que daba al conjunto un ligero empuje

12. El termino “escafandra” fue inventada por el Abad de la Chapelle y se volvió officia en 1855 y deriva del griego σκαφε – “escafa” más el sufijo genitivo ανδρος – “hombre”.

hacia abajo. La única reserva de aire disponible era la que estaba contenida en el interior de la campana al momento de bajar.

Un primer plausible proyecto de escafandra autónoma, aunque con algunos conceptos pocos prácticos o inherentes a la realidad, fue realizado en el siglo XVII por el matemático y físico Giovanni Alfonso Borrelli.

En su tratado *De Motu Animalium*, publicado en 1680, está representado un buzo dotado de aletas, muda de cuero y de un saco, alrededor de la cabeza, con ventana circular. Borelli ideó un sistema a circuito cerrado en el cual el aire después de haber sido espirada, pasaba a una bolsa de cuero ubicada a la altura de los hombros, y continuaba, para luego entrar en un casco ubicado encima de la cabeza. La fría temperatura de la parte interna de la bolsa depuraría el aire mediante condensación. Además, el buzo tenía colgado a su lado un grande cilindro con un pistón interior accionado por una cremallera, que debía regular su equilibrio hidrostático.



Disegno inserito nel trattato del Borelli "De Motu Animalium".

Fig. 6:

1680. Diseño de Giovanni Alonso Borrelli tomado de *De Motu Animalium* (por D. Cedrone, *Immersione. I secoli della scoperta, The Historical Diving Society Italia, Museo Nazionale delle Attività Subacquee, Ravenna 1998, pag. 22*).

Durante el siglo XVII, el uso de campanas neumáticas se expande cada vez más e inician a realizar la recuperación de restos sobre naufragios antiguos y modernos.

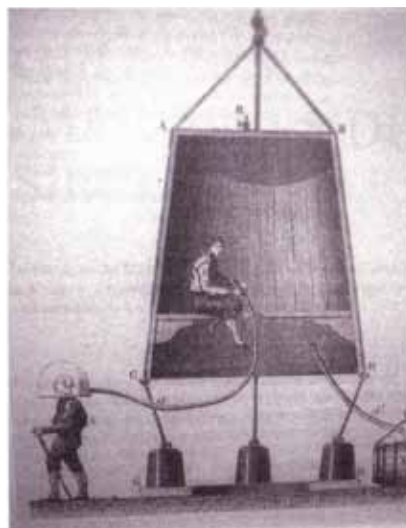
En 1664 una campana batisférica fue utilizada para la recuperación de cerca 50 cañones del naufragio del Vasa, la nave sueca yacía a 30 metros de profundidad en el puerto de Estocolmo y había naufragado en 1528 en su primer viaje.

Sólo en 1689 el francés Denis Papin (1647-1712), fue el primero en proponer abastecer las campanas con aire fresco expedido directamente de la superficie mediante bombas o fuelles.

Al siglo XVII se remonta el perfeccionamiento de la campana batiscópica por parte del físico y astrónomo inglés Edmund Halley (1656 – 1742) el cual en 1721, con otras tres personas, permaneció sumergido a 15 metros de profundidad por más de una hora cuarto. Su campana, realizada en madera, tenía la forma tronco-cónica y estaba completamente forrada en plomo con adecuadas lastres ubicadas alrededor en la base para hacerla descender verticalmente. En la parte superior había una ancha ventana de vidrio que favorecía la iluminación interna. Halley encontró el sistema de suministrar aire fresco a la campana en inmersión por medio de dos barriles reforzados y lastrados con anillos en hierro que contenían aire a presión ligeramente superior a aquélla a la cual estaba sometida la campana. Los barriles subían bajaban de la superficie y se conectaban a la campana por medio de un tubo de cuero reforzado y provisto de grifos. Algún año más tarde, Halley dotó a los buzos de un casco vítreo de manera tal que pudieran salir de la campana y respirar a través de un tubo de cuero conectado a ésta.

Fig. 7:

1721. Campana batiscópica proyectada por Halley
(por D. Bellomo F. Viale. *I viaggiatori degli abissi, storia della subacquea*, Arca, Trento 1990, pag. 36).



Después Charles Spalding proyectó en Edimburgo, en 1775, un nuevo tipo de campana que, aunque era más liviana y menos costosa que la de Halley, se parecía bastante; una diferencia notable era la posibilidad de que se podía bajar o levantaba como quisieran sus ocupantes mientras que el suministro de aire se realizaba según el proyecto de Halley.

Otra grande campana sobre el modelo de la de Halley fue utilizada en 1827 en el lago de Nemi por el cavalier Annesso Fusconi.

Otra etapa interesante se alcanza en 1715, cuando Jhon Leithbridge proyectó la primera escafandra, con la cual alcanzó la profundidad de 18 metros. Ésta estaba constituida por un cilindro de madera, largo 182 cm. y ancho 76 cm., ligeramente curvo en la parte posterior y reforzado ya sea en el interior que en el exterior con anillos de metal.

Quien lo operaba se colocaba bocabajo y los brazos salían por dos aperturas a prueba de agua, mientras la visión externa era garantizada por una grande ventana, mientras en la parte superior había dos respiraderos, en uno de los cuales era dirigida el aire por medio de un par de fuelles ubicados en la superficie; los respiraderos eran cerrados con tapas inmediatamente antes de la inmersión. Sobre el cilindro estaba fijado un cable grande con el cual la máquina era bajada al mar, mientras un cable más pequeño, llamado “señalador”, servía para indicar a las personas que estaban en la superficie lo que debían hacer.

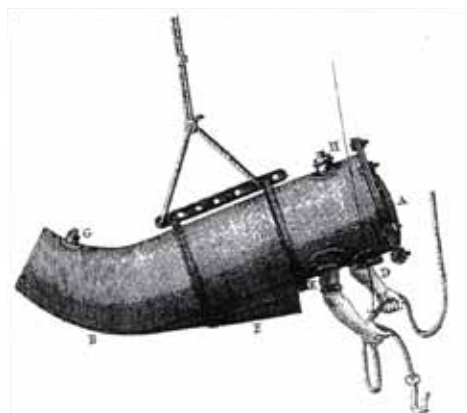


Fig. 8:

1715. Primera escafandra rígida proyectada por John Lethbridge (por G. Minguzzi, *Lo “Scafandro” di Lethbridge*, HDS Notizie n.17, Octubre 2000, pag. 15).

Es necesario llegar al final del 700 para vislumbrar la figura clásica del buzo que en 1800 operará en todos los mares del mundo. El hombre que buceaba a cuerpo desnudo era llamado cormorán, del nombre de un ave acuática. Desde la segunda mitad del 800 en nombre cormorán será sustituido con el término buzo¹³.

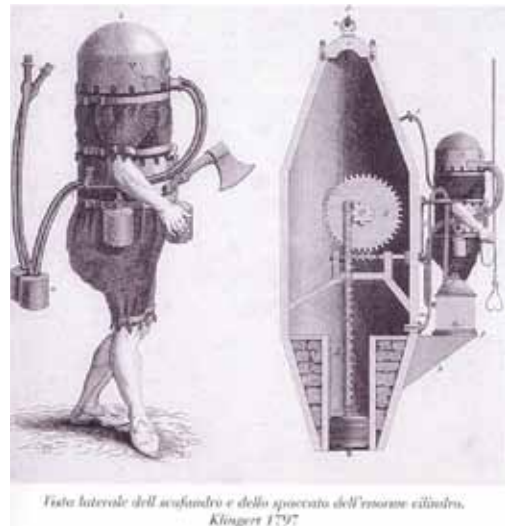
En 1797, el alemán Karl Heinrich Kleingert proyectó un complejo sistema que permitiera al hombre sumergido respirar aire a presión ambiente. El complejo consistía en un cilindro de metal que rodeaba el tórax del buzo y en un casco, también de metal, con dos pequeños agujeros para los ojos y dos tubos para

13. En el “Diario di Roma” n.41 del 11/10/1827 hace una de sus primeras apariciones la palabra “palombaro” (buzo). Fue usada por el Cavalier Fusconi con referencia al lago de Nemi

la respiración; las dos partes estaban unidas por un vestido de cuero que iba desde la cintura hasta las pantorrillas dotado en la extremidad de cordones. Algunos pesos amarrados a la cintura hacían el contrapeso. La novedad estaba en un enorme contenedor para el aire en cuyo interior estaba, además de la lastre y el espacio para el aire, un pistón que era accionado desde afuera. El contenedor, balanceándose con la presión externa, acompañaba al buzo al fondo, le suministraba aire a presión ambiente. La idea, aunque genial, era en realidad poco práctica a causa del volumen del conjunto.

Fig. 9:

1797. Vista lateral de la escafandra y del cilindro proyectado por Heinrich Klingert (por D. Cedrone, *Immersione. I secoli della scoperta, The Historical Diving Society Italia, Museo Nazionale delle Attività Subacquee, Ravenna 1998, pag. 30-31*).



Por lo que respecta a la paternidad del la moderna escafandra, ésta es todavía hoy objeto de controversias.

En 1819 un ingeniero alemán, Auguste Siebe, proyectó el primer casco “abierto” de cobre y latón que cubría la cabeza, provisto de tres ventanillas de vidrio, unido a un collar moldeado en modo de poderse adaptar al perfil de los hombros. Un tubo conectado en superficie con una bomba para alimentar la buzo mientras el aire en exceso salía del borde inferior. Inicialmente no se demostró muy funcional debido a que se inundaba a la mínima inclinación de la cabeza del buzo.

Pocos años después (1823) los hermanos Charles y Antony Deane registraron una patente para un equipo anti-incendio completamente a prueba de agua que algunos años más tarde fue adaptado para uso subacuático, con el cual recuperaron, en 1836, algunos restos del Mary Rose, una nave británica que naufragó en 1545.

Fue sólo en 1840 que Augustus Siebe perfeccionó el equipo, llevando a la escafandra “cerrada”, por él llamada “diving suit”. Modificó la unión del collar

con un sistema de 12 tornillos, dotó el casco de una válvula de descarga, y puso los pesos de lastre y el emplomado de los zapatos.



Fig. 10:

1830-1840. Casco proyectado por Augustus Siebe
(por D. Bellomo, F. Vitale, *I viaggiatori degli abissi, storia della subacquea, Arca, Trento 1990, pag. 45*).

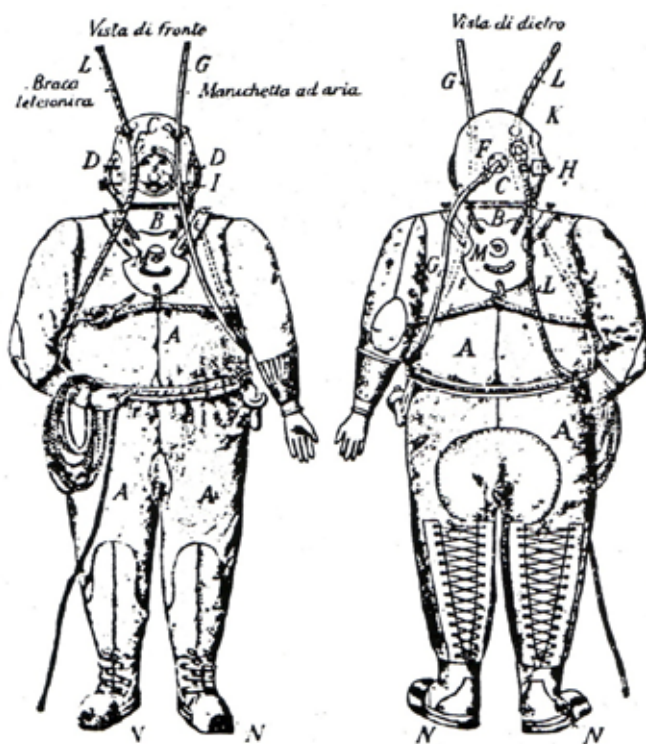
En realidad una fecha importante para la atribución de la paternidad de la escafandra cerrada es 1844 cuando el Almirante inglés pagó a Charles Deane la suma de 500 esterlinas a título de indemnización por su invención. Tal episodio fue un reconocimiento indirecto a los hermanos Deane por haber ideado la primera escafandra.

La escafandra llegó a Italia alrededor de la mitad del 800, sustituyendo el uso de la campana para el trabajo subacuático y será utilizada hasta 1970. Sus ventajas consistían en la movilidad que ésta permitía debajo del agua, en la posibilidad de protegerse del frío y de ver todo el entorno quedando sumergido cuando sumergido por horas, con un costo decididamente inferior. De hecho, en 1895, Eliseo Borghi utilizó un buzo en el lago de Nemi.

En realidad, el equipo completo de buzo está formado por diversos elementos: el vestido se compone de dos partes: una rígida (el casco) y una flexible (el vestido propiamente dicho). El casco es de cobre, tiene un volumen interno de 16 l y puede ser dotado de tres o cuatro ventanillas. El equipo con el collar está asegurado por una guarnición en cuero. El casco tiene en el externo una conexión para la manguera de su ministro de aire, mientras en el interior una válvula antirretorno para impedir la fuga de aire en caso de ruptura de la manguera. Además dispone de una válvula de sobrepresión para descarga del aire en exceso, maniobrada por el buzo a través de la cabeza y de un grifo para la descarga del aire al externo o para la aspiración de agua al interno. El vestido es en tela engomada, con refuerzos en las partes más expuestas al desgaste, como rodillas, codos y horqueta. Las mangas terminan con pulsos de caucho, y la parte superior termina en un collar

de caucho provisto de foros. Además tiene en su parte interna un saco llamado “sentina” que sirve para recoger las pequeñas infiltraciones de agua. El collar es de latón, moldeado para ser endosado sobre los hombros, provisto de pernos que son enfilados en los huecos del collar de caucho del vestido. Los zapatos son de cuero engrasado con puntal de latón y suela de plomo. Las pesas consisten en placas de plomo, de peso total de 30/35 Kg, puestas en el pecho y en la espalda. El equipo viene completado con un cuchillo fijado a la cintura, una robusta cuerda amarrada alrededor de la cintura del buzo, llamada braga que lo conecta con la superficie mientras que una bomba de mano, ubicada en la superficie, le suministra el aire necesario para respirar a través de una manguera. Los hombres encargados del trabajo debían observar una tabla que indicaba el número de giros por realizar para suministrar al buzo la justa cantidad de aire.

Fig.11:
 Vista anterior y posterior de
 un buzo común
 (por D. Bellomo, F. Vitale,
I viaggiatori degli abissi,
storia della subacquea, Arca,
Trento 1990, pag. 42).



Al inicio del siglo XX el francés Bouton comenzó a estudiar un sistema de reciclaje del aire respirado para que el buzo fuese autónomo. La tarea de suministrar aire, a una presión igual o ligeramente superior a la del ambiente en el cual el hombre estaba sumergido, había sido el problema que por

siglos, o más bien, por milenios, había ocupado las mentes de los varios inventores. Por largo tiempo la tarea había sido confiada a una bomba neumática accionada a mano. Esto conllevaba un desigual suministro de flujo, debido al movimiento alternativo, que golpeaba la cabeza del buzo con fuertes ráfagas de aire a presión que le causaban no pocos disturbios.

En 1865 el ingeniero Benoit Rouquayrol y el teniente de navío Auguste Denayrouze realizaron el primer auto-respirador de aire de concepción moderna. El *aèrophore*, un verdadero y propio antepasado de nuestros actuales tanques de oxígeno. El *aèrophore* consistía en un aparato para llevar en los hombros que tenía un pequeño tanque de aire y un regulador de presión. El aire era suministrado por una bomba de superficie y el buzo sumergido respiraba a través de un tubo que provenía del regulador de presión. El pequeño tanque debía garantizar la devolución en caso de avería o ruptura del tubo principal. Además pusieron en uso también una pequeña máscara con vidrio plano que cubría ambos ojos. Desafortunadamente, un problema se presentaba por la escasa autonomía debida al poco aire almacenado.

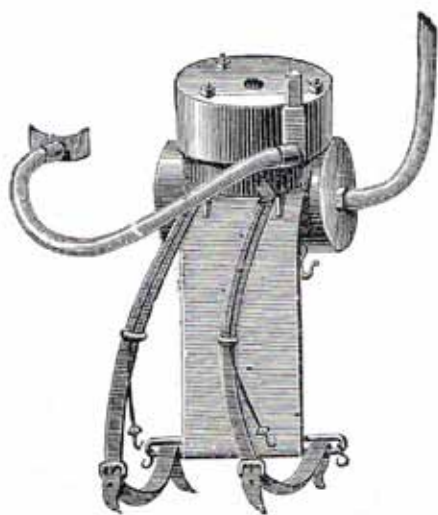
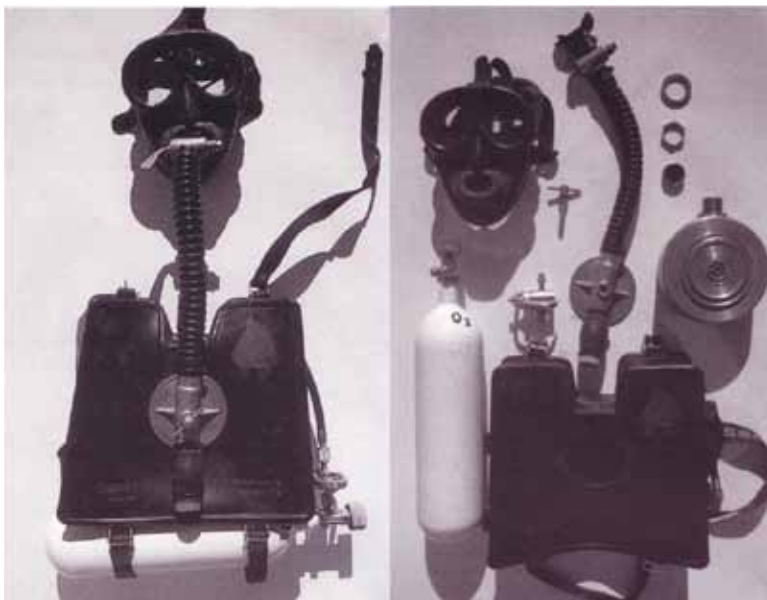


Fig. 12:
1863. El “aèrophore” proyectado por Rouquayrol e Denayrouze (por D. Cedrone, *Immersione. I secoli della scoperta, The Historical Diving Society Italia, Museo Nazionale delle Attività Subacquee, Ravenna 1998, pag. 40*).

Fue Robert Henry Davis, en 1911, quien inventó uno de los primeros auto-respiradores a circuito cerrado alimentados por oxígeno, llamado ARO. Ideado para fines militares, para permitir el retorno a la superficie de los marineros de los sumergibles dañados, fue posteriormente utilizado como dotación individual de los buzo durante las incursiones submarinas a través de S.L.C. (torpedo a lenta marcha). Este consistía en un saco-pulmón de caucho fijado sobre el tórax

con correas, en el cual se metía oxígeno puro, contenido en uno o dos cilindros de reducidas dimensiones amarrados debajo del saco. El buzo respiraba oxígeno por medio de un tubo corrugado que circundaba el saco. En el interior de éste se encontraba un filtro que contenía cal con soda, con el fin de purificar el aire respirado. El aparato a circuito cerrado, evitando la emisión de burbujas de descarga, se adaptada perfectamente a las exigencias bélicas, debido a que hacía difícil la localización por parte del enemigo.

Fig. 13:
ARO, Auto-respirador
de oxígeno
(por D. Bellomo, F.
Vitale, *I viaggiatori
degli abissi, storia
della subacquea,
Arca, Trento 1990,*
pag. 100, 103).



Un ulterior paso adelante fue realizado, entre 1905 y 1912, por el francés Maurice Fernez, quien inventó un aparato extremadamente liviano y sencillo, que permitía respirar en aguas poco profundas sin necesidad de endosar el pesado equipo de los buzos. El conjunto de los aparatos Fernez consistía: en un largo tubo de tela engomada, cuya extremidad inferior estaba conectada a un saco-balón inflable (en caoutchouc) colocado a la altura de los riñones del buzo, que funcionaba de reserva-tampón, a su vez conectado a través de un tubo corrugado a una boquilla en forma de T dotado de descarga con válvula pico de pato. La extremidad superior estaba conectada a una doble bomba de mano, de aquéllas utilizadas habitualmente para inflar las llantas de los automóviles que debía suministrar el aire necesario para la respiración del buzo. Además, el buzo estaba equipado con una pinza para taparse la nariz y un par de anteojos de natación. Luego proyectó un segundo aparato para inmersiones a grandes profundidades.



Fig. 14:

Aparato proyectado por Maurice Fernez (por P. Rousseau, Maurice Fernez

Dallo scafandro da palombaro al sommozzatore con narghilè e con autorespiratore,

HDS Notizie n. 31 año X, septiembre 2004, pag. 24).

Es necesario esperar hasta los años treinta para ver el nacimiento del primer auto-respirador independiente, es decir cuando en 1926, el oficial francés Yves Le Prieur perfeccionó el aparato ideado por el francés Fernez, sustituyendo la bomba de mano con un cilindro de aire comprimido Michelin de 3 litros cargado a 150 atmósferas (de aquéllas utilizadas para inflar de manera rápida los neumáticos). El cilindro, ubicado sobre los hombros del buzo, estaba conectado a un regulador de presión con dos manómetros, uno para la presión interna y uno para la presión de salida, que eran regulados a mano por el buzo para equilibrar la presión erogada con aquélla ambiental. En realidad, la complicada regulación del flujo de aire, la escasa autonomía, así como el aire que llegaba de manera continua a la boquilla, hacían poco agradable la respiración y conllevaban no pocos problemas de visión.

En 1942 el ingeniero Emile Gagnan y el comandante Jacques-Yves Cousteau inventan el primer conductor automático monofásico de aire, llamado ARA, que revolucionó la historia de la inmersión y determinó el nacimiento de la moderna arqueología subacuática.

El primer aparato estaba formado por un cilindro (con capacidad de 3 litros,

cargado a 150 atmósferas) dotado de un reductor de presión del cual salían dos tubos de caucho corrugado, unidos a un boquilla de caucho, estrecho entre los dientes. El tubo de la derecha llevaba el aire de aspirar mientras que el de la izquierda el aire expirado que fluía a través de un simple terminal de caucho en forma de “pico de pato”.

El aparato fue bautizado Mistral, para recordar el ímpetu del viento que nace en el golfo del León.

Fig. 15:

1942. Conductor monofásico
Mistral (por D. Cedrone,
*Immersione. I secoli della
scoperta, The Historical
Diving Society Italia,
Museo Nazionale delle
Attività Subacquee, Ravenna
1998, pag. 93).*



Sin embargo, la exigencia de superar los 40 metros de profundidad sin incurrir en la narcosis de nitrógeno así como de aumentar los tiempos de inmersión reduciendo aquellos de descompresión, evitando el peligro de embolia, llevó a los investigadores, alrededor de los años 50, a experimentar nuevas mezclas sintéticas. El buzo inglés Bollard alcanzó 164 metros de profundidad con una mezcla a base de helio¹⁴, mientras el joven investigador sueco Arne Zetterstrom, experimentó una nueva mezcla a base de hidrógeno y oxígeno.

En 1954 nació otro conductor de gran importancia, el Explorer Standard patentado por Alberto Novelli, producido por la Pirelli; contrariamente a los tipos Mistral, definidos monofásicos, este reducía en dos fases sucesivas la presión, a través de un pequeño fuelle que era apoyado sobre el pecho y servía de cámara de media presión.

14. La mezcla a base de helio presentaba muchos beneficios: el helio que sustituye el nitrógeno es eliminado más rápidamente por los tejidos y por lo tanto necesitaba tiempos de decomprimido más cortos; además evitaba el riesgo de la narcosis nitrogénica. Las primeras experiencias se deben a la US Navy y produjeron un equipo a circuito cerrado de manera de reciclar el aire respirado, ya que a ese tiempos el helio tenía un costo muy alto.



Fig. 16:

1954. Conductor Explorer (por D. Bellomo, F. Vitale, *I viaggiatori degli abissi, storia della subacquea, Arca, Trento 1990, pag. 118*).

Un poco más tarde, aparece el bifásico como lo conocemos hoy, con los modelos Aquilon Technisub de membrana y Scubapro de pistón. En 1970 la Cressi propuso el precursor del chaleco de disposición variable, pequeño y en forma de doble pulmón, con la características de poder ser inflado y desinflado como se quisiera por medio de un by-pass que lo conectada al ARA.

En Italia los inventos de Roberto Galeazzi abrieron, en los años 20, nuevas fronteras para la inmersión con la construcción de las torretas y de las escafandras de grande profundidad. En 1926 ideó y patentó una estructura esférica para la construcción de cascos resistentes a presión (sumergibles, escafandras, campanas, etc.). En 1929 proyectó el gran sumergible oceánico de 3.800 toneladas de dislocación y las torretas batiscópicas que permitieron la recuperación del tesoro de la nave Egypt naufragada en el canal de La Mancha en 1922. Además, fue el primero en alcanzar la profundidad de más de 200 metros con el equipo individual cuando probó su primera torreta butoscópica, en 1931.

Por lo que respecta a la arqueología subacuática la escafandra común fue usada a comienzos del 900 casi exclusivamente para la recuperación de cargas de naves antiguas (por ejemplo Anticitera 1900-1901; Madia 1908-1913; Cabo Artemiso 1926). El equipo del buzo era de hecho demasiado pesado, limitaba los movimientos y obstaculizaba las operaciones más delicadas.

Posteriormente la escafandra común fue sustituida por el auto-respirador que permitía al buzo ser independiente de la superficie; el equipo más liviano y menos voluminoso, de fácil utilización, permitía moverse libremente y realizar todas las operaciones necesarias para una excavación verdaderamente científica.

2. INTRODUCCIÓN A LA ARQUEOLOGÍA EN AGUA

La recuperación de objetos arqueológicos provenientes de las profundidades marinas desde siempre ha requerido de la fantasía de los descubridores y del interés atento de muchos. Estos acontecimientos han aparecido siempre envueltos en el misterio y recordados con relatos en los cuales la tradición oral se confundía con las deformaciones de la fantasía. A menudo la superstición, típica de la gente de mar, marcaba la suerte de los objetos que la casualidad había hecho recuperar por las redes de los pescadores.

Las primeras empresas dirigidas al descubrimiento de los restos sumergidos fueron realizadas siempre con el objetivo de recuperar, para el naciente mercado de antigüedades, nuevos y preciosos testimonios del mundo antiguo que enriquecían las colecciones de “objetos antiguos” de los nobles y de los eruditos de la época.

Así ocurre en el pequeño lago de la región Lazio, en Nemi, donde los pescadores contaban sobre la existencia de villas de emperadores romanos construidas sobre balsas flotantes, ricas y cargadas de objetos preciosos, afondadas en el limo fangoso. Las dos grandes sombras en forma de elipse que se podían distinguir claramente desde lo alto del antiguo cráter volcánico, se revelaron efectivamente en restos de otras tantas embarcaciones que se encontraban en el fondo del lago, cuyas estructuras de madera se conservaban casi íntegras, gracias al agua dulce y al espeso sedimento de limo lacustre. En 1535 se dio mano a un primer y masivo tentativo de recuperación, actuando debajo del agua con improbables equipos o a través de la acción devastadora de garfios y ganchos de hierro cuyo objetivo principal era aferrar a la ciega hallazgos y partes de la nave. Fue así que el Arquitecto F. De Marchi recuperó, ante la atónita maravilla de sus mecenas, los primeros e importantes restos de bronce pertenecientes a las decoraciones de las naves de Nemi, realizando al mismo tiempo una generalizada devastación de los restos que se habían conservado casi íntegros por cerca de dos mil años. Sin embargo, la malentendida relación con la antigüedad sumergida no fue sólo legado de tiempos a nosotros lejanos; en los primeros años del siglo XX se arrancaron del fondo numerosas vigas y tablas que fueron compradas por artesanos romanos que las utilizaron para construir cajas “en madera arqueológica” y bastones de paseo, que fueron a parar literalmente entre los entendedores y los coleccionistas de la época.

Las naves de Nemi fueron recuperadas en los años treinta con una empresa única en su género que por primera vez en el mundo intervino con las tecnologías disponibles en la época, efectuando la recuperación sistemática y científica de las dos embarcaciones.



Fig. 17:
El museo de las naves de Nemi (Roma)

Los arqueólogos, conscientes de los límites del empleo de operadores buzos transformaron la obra de sitio sumergido en sitio emergido y, disfrutando la particularidad morfológica de la cuenca de origen volcánico y un desagüe artificial de época romana, utilizando potentes bombas a motor, bajaron el nivel de las aguas hasta la emersión de las naves. Después de una limpieza general, las embarcaciones fueron pasadas por numerosas cimbras de sostén que un vez bloqueadas permitieron el transporte sobre rieles sobre la orilla original. La particularidad de la operación se debió también a la prudencia científica de los arqueólogos que efectuaron la recuperación y que hicieron construir en tierra un gran edificio distribuido en dos pabellones para recibir y crear un museo con los hallazgos. Las partes de madera fueron sometidas a intervenciones de restauración y conservación que también en este caso representaban una novedad absoluta. Excavación, recuperación, restauración y exposición en museo son las fases del trabajo de Nemi, una vez más operaciones de vanguardia en el sector de la conservación de los bienes culturales que todavía hoy representan raras excepciones.

La historia de las intervenciones del hombre coleccionista sobre los restos sumergidos, continúa con importantes recuperaciones de objetos arqueológicos identificados en las aguas del Mediterráneo. Esto vale para todo lo efectuado en el 1900 en Antikytera en el mar griego al norte de Creta, a continuación de la indicación de pescadores de esponja que casualmente habían localizado, a 50 metros de profandidad, los restos de una antigua nave cargada de revestimientos de bronce decorados, esculturas en mármol y muchas estatuas de bronce, entre ellas un efebo original del siglo IV a.C. La tecnología de inmersión se limitaba al empleo de buzos y los arqueólogos del tiempo tuvieron que limitarse a registrar a bordo los objetos que zarpaban sin la posibilidad de una documentación científica y una correcta interpretación y datación del hallazgo. La recuperación fue, por lo tanto, confiada a los buzos de la Marina Militar griega, que bajaron

con extrema dificultad hasta la profundidad al límite máximo de la seguridad y ataron los objetos que afloraban arrancándolos, literalmente, del precioso contexto arqueológico. Las consecuencias de tan riesgosa actividad fueron la muerte de un operador y la invalidez permanente de otros dos.

El examen del material recogido, que presentaba graves signos de recientes rupturas, puso en evidencia los límites de la extrema dificultad de una similar operación.

Análogo sistema de recuperación fue utilizado en los años 1908/1913 en el lago de Madia, en la costa de Túnez, sobre otro rico e importante hallazgo de nave que transportaba una carga de esculturas en mármol y bronce y elementos arquitectónicos. Sólo después de 1943, cuando Jacques Ives Costeau y Emile Gagnanm aprovechando precedentes experimentaciones, inventaron y perfeccionaron el auto-respirador que permitió finalmente al hombre explorar los fondos con largos y seguros tiempos de inmersión; los arqueólogo tuvieron la posibilidad de intervenir personalmente teniendo, de esta manera, la oportunidad de documentar con cuidado los sitios arqueológicos identificados. Inmediatamente después de la segunda Guerra Mundial, con la comercialización y la difusión de los nuevos equipos subacuáticos personales, se pudieron iniciar las investigaciones científicas y las experimentaciones de excavación en agua y la puesta en marcha de metodologías de intervención, acordes al estudio de los sitios arqueológicos. Nació un nuevo campo de la investigación arqueológica que preveía la aplicación de las técnicas de la arqueología en tierra en ambiente subacuático: la arqueología en agua.

Fig. 18:
Cerámicas protohistóricas
en el fondo del lago de
Mezzano (Viterbo)



Italia y Francia se distinguieron en este sector y estuvieron a la vanguardia, gracias también a la actividad de perspicaces estudios.

En Italia el precursor fue un brillante estudioso de la antigüedad clásica, y en particular un especialista de cerámicas romanas y de excavaciones estratigráficas,

arqueólogo, funcionario de la Superintendencia de Liguria, Profesor Nino Lamboglia. En 1950, a lo largo de la costa de Liguria, en Alberga, se organizó la primera campaña de prospecciones subacuáticas para el estudio de un hallazgo romano de nave oneraria que se reveló luego uno de los más grandes del Mediterráneo con una carga de cerca 10.000 ánforas.

Esta primera y aventurada operación debía marcar el inicio de la actividad arqueológica subacuática en Italia que, moviendo los primeros e inciertos pasos sobre el hallazgo de Alberga, se extendió luego a las infinitas problemáticas de las áreas y de los sitios sumergidos del mar pero también de los lagos y de los ríos.

El trabajo del profesor Lamboglia implicó cada vez más empeño y continuó por años, gracias también a un acuerdo estipulado entre el Ministerio de Educación Pública, entonces competente para los bienes culturales y arqueológicos, y el Ministerio de la Marina que puso a disposición de los investigadores un ex dragaminas, el Daino, reestructurado a propósito y transformado en laboratorio flotante para apoyo del trabajo de los buzos.



Fig. 19:

Restos de un pueblo de palafitos en el lago de Bracciano (Roma)

En Francia desde 1952 a 1957 el Profesor Fernand Benoit dirigió una obra de excavación sobre el hallazgo de una nave oneraria de época republicana, naufragada en el mar de Marsilla cerca de la isla del Grand Conglù. También en este caso las fases operativas fueron confiadas a un técnico, aunque era un ilustre personaje de los buzos, el comandante Cousteau, que creó varios y nuevos sistemas de documentación que preveían también el uso de la sorbona, un aspirador alimentado con aire comprimida, utilizada para la excavación.

De la escuela de Lamboglia salieron decenas de arqueólogos altamente preparados, muchos de los cuales continuaron en la actividad de investigación subacuática.

El único límite de la organización de la obra en esta fase de las investigaciones, era

la convicción del estudioso debido a que, aunque el arqueólogo estaba presente en el lugar debía, sin embargo, dirigir desde la nave laboratorio las operaciones en agua que realizaban técnicos adiestrados pero que eran arqueólogos. Este enfoque de trabajo contrastaba sin embargo con las varias situaciones de intervención y causó algunas dificultades en la lectura de los datos de excavación. Los tiempos no estaban maduros para aceptar la figura del arqueólogo buzo aunque posteriormente el profesor Lamboglia, de frente a las nuevas señalizaciones (lagos, ríos, grutas, etc.), invitó a sus colaboradores a bajar en agua. La preciosa obra de Lamboglia, cesó en 1967 a causa de un grave accidente en el mar.

Fig. 20:
La nave-laboratorio del Prof. Lamboglia y la campana de buceo para el control de los buzos



En 1974 se pudo definir una fecha histórica para la arqueología en agua en Italia: los muchos investigadores del sector y voluntarios calificados, reunidos en un congreso en la Isla de Elba, comunicaron los resultados preliminares de las primeras prospecciones en el territorio sumergido italiano.

El público y los encargados de los trabajos conocieron así la existencia de un vasto patrimonio arqueológico sumergido que documentaba, con testimonios inéditos y a menudo en imprevisible estado de conservación, la historia de los asentamientos, y los comercios y de los tráficos a través de la navegación por mar y por ríos, de los antiguos habitantes de la península y de los pueblos navegantes del Mediterráneo.

Se comenzaron a censar los muchísimos hallazgos de naves comerciales que los exploradores subacuáticos –cuyo número aumentaba cada vez más– identificaban durante las cazas o durante los safaris fotográficos. El interés de la arqueología

oficial era, sin embargo, todavía escaso y gran espacio tuvo el voluntariado, a menudo científica y técnicamente preparado, que inició una actividad paralela de investigación y documentación divulgada a través de la publicación sobre históricos testimonios subacuáticos como *Mondo Sommerso* donde Franco Papò ilustró los resultados de sus descubrimientos entre los años 50 y 60 y *El Buzo* que hospedó por años una rúbrica de arqueología subacuática, rica de noticias y polémicas constructivas, conservada por el Abogado Sandro Picozzi. Entre tantos debe recordarse el trabajo de Alessandro Fioravanti, ingeniero de minas, que fue el primero en descubrir los asentamientos de palafitos en el lago de Bolsena en 1959 y puso en acto sofisticadas técnicas de documentación subacuática, como el riel fotográfico para la restitución en escala de imágenes de las fases de excavación; el Arquitecto Antonio di Stefano, alumno de Lamboglia, que se encargó del estudio de los sitios sumergidos del área Flegrea y que tuvo en 1969 la dirección técnica de la primera excavación científica submarina del ninfeo de la villa romana de Punta Epitaffio en Baia; el geólogo Lamberto Ferri Ricchi que inventó técnicas y metodologías dirigidas a la exploración de grutas y cavidades sumergidas y que organizó en 1974, siendo el director técnico, la primera operación científica, con arqueólogos buzos, sobre el asentamiento de palafitos de la edad de bronce en el lago de Mezzano.



Fig. 21:
Equipos de investigación para la misión
a Mezzano (Viterbo)

Este florecer de iniciativas, en el vacío todavía dejado por las estructuras puestas a la tutela aún no organizadas para la actividad de tutela directa en agua, contribuyó al conocimiento de las problemáticas de la arqueología sumergida poniendo en evidencia la vastedad y la complejidad del patrimonio arqueológico que se conservaba en agua. No sólo el mar restituía documentos a través de

restos de las antiguas naves y sitios sumergidos a causa de fenómenos geológicos (bradiseísmos, hundimientos, etc.) sino que en otro ambiente, celados por las aguas, existían centenares de sitios de palafitos presentes en todos los lagos italianos sumergidos a causa de fenómenos de naturaleza climática, mientras decenas de grutas conservaban testimonios de antiguos frequentadores. Otro ambiente hostil para la investigación subacuática está seguramente representado por las aguas de los ríos donde la velocidad de la corriente, la escasa visibilidad y a menudo la alta tasa de contaminación, hacen difícil y peligrosa la inmersión.

Fig. 22:

Casco de buceo y equipos para las inmersiones
en el Rio Tiber (Roma)



Los ríos y los cauces de agua en general eran antiguamente importantes y preciosas vías utilizadas para la navegación comercial y para el más funcional transporte de las mercancías. Por este motivo muchísimos ríos de mayor o menor caudal fueron utilizados para conectar los puertos de mar con el interior y las ciudades fluviales. La gran actividad que se desarrolla por siglos, dejó importantes documentaciones sobre las riveras con relación a la existencia de puertos fluviales y en el cauce, que representa un excepcional contenedor de hallazgos arqueológicos inherentes a la navegación, a la pesca y a la vida de las ciudades que fueron edificadas gracias a la presencia de un río. El ejemplo más significativo está representado por el Tíber que, a través de grandes puertos en la desembocadura, que fueron construidos por orden de los emperadores Claudio y Trajano, permitía la conexión con la navegación de la flota comercial, proveniente de los varios puertos del Mediterráneo, con la ciudad. De esta compleja utilización quedan numerosos testimonios en el cauce y a lo largo de las orillas, a menudo con restos sumergidos de muros y de restos de diversas épocas. Las primeras investigaciones y las señalizaciones de interés arqueológico se deben, también en este caso, a la actividad, en los años sesenta, de grupos de voluntarios que han explorado algunos ríos italianos efectuando importantes descubrimientos especialmente en áreas urbanas.

La intuición de estudiosos como el Profesor Nino Lamboglia, la sensibilidad de

numerosos investigadores -a menudo no encargados de los trabajos- hacia los testimonios sumergidos y el progreso de los equipos para la investigación en agua, han hecho posible que en los años, así fuera lentamente, se llegara a definir cada vez mejor la metodología correcta y científica de las intervenciones en este sector. Hoy el hombre está en capacidad de operar debajo del agua con relación a precisas reglas de naturaleza médica y con las varias profundidades, teniendo la posibilidad de permanecer sumergido por tiempos que son suficientes para desarrollar actividades de documentación e investigación en condiciones de tranquilidad y sin particulares condicionamientos. Lo farragoso del trabajo de los buzos que impedía la posibilidad de operaciones atentas de intervención sobre sitios arqueológicos, hace parte de la historia de los tentativos del hombre de actuar debajo del agua para los más variados objetivos. Hoy el arqueólogo tiene a disposición equipos personales, fruto de la evolución y de la experimentación de los sistemas de inmersión, que le permiten realizar su propio oficio llevando a cabo completamente el programa típico de la investigación arqueológica. Los equipos personales hacen segura y fácil la inmersión hasta el punto que el operador, en el momento que llega al sitio objeto del estudio puede, con extrema tranquilidad, observar, fotografiar y realizar una excavación como por lo general se hace en tierra. La tecnología puesta a disposición para la investigación en el mar ha producido numerosos instrumentos a la vanguardia que pueden ser utilizados por los arqueólogos. En primer lugar la fotografía, que ha inventado aparatos a prueba de agua que dan la posibilidad de realizar documentaciones de óptimo nivel; hoy las máquinas fotográficas subacuáticas con película de recientísima realización son ya superadas por aparatos digitales a prueba de agua y las tomas fotográficas, que hasta hace pocos años eran realizadas utilizando voluminosos y pasados estuches y faros, se pueden realizar con videocámaras compactas VHS con alta resolución ya en fase de sustitución con pequeñas filmadoras digitales. Este recientísimo sistema de documentación fotográfica tiene también la cualidad de restituir en tiempo real las imágenes tomadas, dando una importante contribución a la actividad del arqueólogo que puede inmediatamente conocer el resultado de las tomas, especialmente durante la excavación que es por su naturaleza “destruktiva” con relación al retiro de los estratos.

Para la investigación en el territorio sumergido están disponibles aparatos sonar (side scan sonar) que permiten obtener en tiempo real la registración del fondo marino en imágenes digitales no distorsionadas a altísima resolución, sistemas multibeam en capacidad de suministrar batimétricas de detalle del fondo marino reproducibles gráficamente en 3 dimensiones, el sub bottom profiler y magnetómetros de protones para permitir la identificación

de estructuras y hallazgos sepultos) sistemas de posicionamiento GPS y sistemas de posicionamiento diferencial sky y RTK en capacidad e asegurar el posicionamiento sub-métrico de los sitios identificados.

Para las profundidades no accesibles con inmersión tradicional, están a disposición varios tipos de ROV (Remotely Operated Vehicle) que pueden operar más allá de los 3000 metros con comandos de bordo y en capacidad de efectuar tomas fotográficas y tomar muestras.

3. EL ARQUEÓLOGO BUZO

Como hemos visto anteriormente a través de un rápida y resumida historia de la arqueología con relación a las presencias sumergidas, la actividad de los arqueólogos fue condicionada por siglos por la imposibilidad de bajar en agua y operar según los cánones y las prescripciones de la correcta investigación científica.

Más allá de las múltiples experimentaciones, que al máximo han llevado a la recuperación de objetos de interés arqueológico, debemos esperar hasta 1942 para llegar al sistema de respiración subacuática con auto-respirador conectado a los cilindros cargados de aire comprimido, para asistir al inicio de tentativos de intervenciones científicas en agua. Posteriormente la tecnología puesta a disposición para las investigaciones submarinas relacionadas con la prospección del fondo, dirigidas a estudios geológicos, puso a disposición sistemas cada vez más sofisticados de investigación.

A este punto y, especialmente en los últimos años, los arqueólogos se han hecho la pregunta de cómo conducir en agua sus investigaciones y la respuesta ha sido muy sencilla: la metodología de la investigación arqueológica en agua no es diferente de la que se hace en tierra.

De esto se desprende la necesidad de llevar las técnicas y las metodologías de la investigación en agua desde la fase de reconocimiento hasta la fase de instalación y conducción de la excavación arqueológica. Varía naturalmente el ambiente en el cual se trabaja, el equipo personal y los sistemas de excavación, pero no estamos absolutamente de frente a otro tipo de arqueología.

Para realizar todo lo necesario para que debajo del agua suceda lo que es normal praxis arqueológica, son necesarias las mismas figuras profesionales que trabajan en tierra. En primer lugar el arqueólogo, que en el caso específico debe ser un buzo y dirigir personalmente las actividades de estudio en fase de reconocimiento y en fase de excavación cuando es indispensable la intervención de la experiencia

que debe evaluar las operaciones y las fases de documentación. Pero, como en tierra, el arqueólogo tiene la necesidad de disfrutar de la colaboración de otras figuras profesionales como el fotógrafo, el topógrafo que hace el levantamiento, el dibujante y el restaurador. La figura del restaurador -como también en tierras fundamentales en el ámbito de una excavación especialmente en el momento del descubrimiento de realidades deteriorables. En agua muy a menudo se tiene la posibilidad de encontrar objetos particularmente deteriorables, como hallazgos de madera inherentes a cascos de naves, objetos de bordo en madera, canastos, sogas y cuerdas, piraguas, y restos de palafitos que, si es necesario recuperar, deben ser confiados a los profesionales de restauración, según precisos procedimientos, con el fin de conservar la integridad de la materia y de la forma. Un fragmento de madera recuperado sin las indicaciones del restaurador está sujeto a un secado que lleva a la modificación de la forma, a la contorsión de las fibras y a la irremediable destrucción del hallazgo.

El arqueólogo deberá, por lo tanto, valerse de la colaboración de otras figuras profesionales y disponer, en previsión de la probable tipología de descubrimientos, adecuados sistemas de recuperación, almacenamiento temporal e inmediata intervención de restauración y consolidación en el laboratorio. En previsión de la recuperación de objetos de madera, de acuerdo con los restauradores, deberá, por ejemplo, disponer tinas para la conservación de los hallazgos que serán posteriormente tratados, en inmersión, con soluciones de consolidación a base de PEG para garantizar la consistencia y principalmente evitar la modificación de la forma. Esto es importante especialmente cuando se procede en inmersión al desmontaje de estructuras de madera del casco, que después de la documentación gráfica, fotográfica y el tratamiento de consolidación, deberán ser montadas de nuevo en la fase de la exposición en museo.

Fig. 23:
Estructuras murarias y piso
en mosaico en Baia (Napoli)



Las exigencias de colaboración en el ámbito de una actividad subacuática no son limitadas a las normales figuras de los técnicos de obra, sino que deben, necesariamente, ser ampliadas a especialistas de otras disciplinas. De particular importancia es la colaboración de los geólogos que pueden leer las modificaciones de la morfología del fondo, la sucesión de las estratificaciones marinas sobre los restos y, principalmente, en los casos de estudios costeros, las modificaciones de los niveles del mar. En casos como los del área Flegea, interesados por notables variaciones de inmersión y emersión de las costas, es posible reconocer la historia de los niveles marinos a través de la lectura de los “surcos rompientes” por la posible presencia de las llamadas “pilas de los gigantes” y de muchísimos otros indicios. Es esencial poderse confrontar con un geólogo en caso que sea necesario interpretar correctamente trazas de cortes o elaboraciones de la roca que a menudo pueden ser impropriamente considerados obras de naturaleza humana.

Con relación a las varias tipologías de intervención y a las necesidades de lectura e interpretación de los datos, son numerosos los especialistas que pueden estar al lado del arqueólogo en la actividad de estudio: desde el biólogo marino hasta el botánico y el químico.

3.1 Formación de los cuadros

Como hemos visto, la dificultad de trabajar en agua en este sector de la investigación, fue motivada por un grave retardo en el desarrollo de las actividades de estudio y tutela. Por lo tanto, por mucho tiempo, también las universidades predispuestas a la formación de los arqueólogos, sintieron esta situación y del consecuente no conocimiento de la real situación del patrimonio arqueológico sumergido. Las investigaciones y las señalizaciones que fueron numerosas a partir de la segunda guerra mundial y el proliferar de “exploradores subacuáticos” que iniciaron a explorar el mar por el placer de la inmersión o por la pesca con los cilindros, fueron la ocasión para numerosos descubrimientos y señalizaciones que enriquecieron los archivos de las Superintendencias Arqueológicas y crearon curiosidad en los estudiosos.

El aparecer imprevisto de un verdadero y propio mundo sumergido que desde el mar se extendía a los lagos, a los ríos, a las grutas y a los túneles, fue motivo de un nuevo y más atento interés para la investigación en agua.

Hasta hace pocos años la preparación del arqueólogo preveía la adquisición del grado en literaturas antiguas cuyas enseñanzas eran justamente dirigidas al

conocimiento y al estudio de las civilizaciones y de los testimonios obtenidos en las excavaciones en tierra y sólo casualmente de rarísimos, y no documentados, hallazgos en el mar. El profesional graduado en literatura, convertido en arqueólogo después de la especialización, si tenía intención de ocuparse de arqueología subacuática, realizaba un curso para obtener la patente que lo habilitaba a la inmersión y, posteriormente, iniciaba la actividad de investigación profundizando, contemporáneamente sobre las nuevas problemáticas.

Hasta hace pocos años ninguna universidad había previsto la enseñanza de arqueología subacuática, ni mucho menos, cursos particulares inherentes a los varios temas relacionados con esta disciplina.

Esta necesidad de formación convenció, desde hace unos diez años, a varias universidades para organizar cursos sobre estas problemáticas; entre las primeras se ha distinguido la Universidad de Nápoles “Suor Orsola Benincasa” que recientemente activado también el trámite formativo trienal “Arqueología en el mar”.

Desde 1997 los estudiantes del curso de arqueología subacuática ya podían participar también en cursos para la adquisición de la patente de inmersión y participar en un taller didáctico que se desarrolla cada año en la isla de Prócida concomitante con las excavaciones arqueológicas que se realizan en el islote de Vivara. En esta escuela de campo han participado decenas de estudiantes y graduados que han tenido la posibilidad de aprender las principales nociones sobre la investigación subacuática, sobre la conducción de una excavación, sobre las técnicas de levantamiento y fotografía, sobre los dispositivos de seguridad y sobre las normas de control médico.

3.2. El laboratorio subacuático de Prócida - Vivara

3.2.1. Problemática de la investigación

La presencia de asentamientos datados entre la segunda mitad del siglo XVII y la primera mitad del siglo XV a.C. identificados durante las excavaciones realizadas sobre el islote de Vivara, naturalmente ha puesto, desde los primeros descubrimientos, el problema de la antigua navegación comercial y de los puertos relacionados con la misma.

Vivara y Prócida representan un antiguo nudo marítimo en el ámbito de los tráficos relacionados con los más antiguos asentamientos de las comunidades protohistóricas que se instalaron en la isla.

Se trata, naturalmente, de unos puertos que debían considerar en primer lugar

las situaciones ambientales más favorables y una segura permanencia de las embarcaciones en cuencas arenosas reparadas de la intemperie, útiles al mismo tiempo para un más fácil desembarque.

En 1937 Giorgio Buchner, el primero que inició inspecciones y excavaciones sobre la isla de Vivara, ya había previsto la posibilidad de que, a causa de fenómenos de naturaleza geológica (bradiseísmos) relacionados con los más extendidos desastres volcánicos del área Flegrea, amplias áreas fueron sumergidas por cerca de 6 metros, cambiando así la antigua geomorfología de los lugares. Cuando surgió la necesidad de efectuar una sistemática investigación del fondo del mar en la isla de Vivara, se organizó un equipo de técnicos buzos, arqueólogos y geólogos, con el fin de programar una detallada investigación a lo largo de las costas sumergidas. El primer objetivo fue realizar un cuidadoso levantamiento batimétrico del golfo de Genito (antiguo cráter volcánico) a través de la ejecución de una red de perfiles ultrasonido, utilizando los hombres y los medios especializados de la nave hidrográfica Magnaghi, puesta a disposición por la Marina Militar. Esta documentación se demostró fundamental para las posteriores hipótesis de estudio e identificación del antiguo puerto-atradero sumergido a causa del hundimiento de la isla.

Posteriormente se organizó una más amplia actividad de investigación subacuática a través del reconocimiento directo del fondo entorno al islote de Vivara. El objetivo principal era “leer” las varias escalas del nivel del mar a través del reconocimiento de las plataformas de abrasión marina, los surcos, los charcos costeros y las cavidades sumergidas ampliadas por la acción erosiva de las aguas. Naturalmente, la esperanza era localizar también las huellas dejadas por la actividad del hombre durante las fases de utilización de las áreas ribereñas. El reconocimiento, en parejas, de cuatro buzos, se realizaron también con la ayuda de vehículos eléctricos y de ala subacuática y no tardaron en dar el primer resultado arqueológico de particular importancia. En el interior de la cuenca, al norte de Punta Mezzogiorno, se pudieron localizar los restos de una escala tallada en la roca en proximidad de un antiguo manantial, cuyas escalas se conservan desde cuota -3.5 metros hasta alcanzar la cuota de -9 metros. La escala en origen conectaba la aldea con la playa de la gran cuenca portuaria y era también utilizada para acceder al agua del manantial.

En este sitio las observaciones geológicas pudieron identificar con certeza las huellas de por lo menos tres antiguas líneas de nivel marino consiguientes al fenómeno de hundimiento de la circunscripción.

Las investigaciones subacuáticas fueron realizadas a diferentes cuotas a lo largo de todo el perímetro del islote de Vivara y en tiempos posteriores se extendieron a toda la Isla de Prócida. La extensión de las exploraciones era necesaria para

adquirir ulteriores informaciones sobre la situación geomorfológica del complejo Vivara-Prócida, para efectuar las necesarias verificaciones batimétricas de las líneas de rivera y para planificar la investigación de eventuales presencias arqueológicas relacionadas con las diferentes fases de hundimiento de las costas. Naturalmente aunque en estos años se ha podido obtener una notable cantidad de informaciones y datos, serán todavía necesarias ulteriores profundizaciones y verificaciones para poder definir un preciso cuadro cronológico de los acontecimientos geo-arqueológicos.



Fig. 24:

Escala de época micena en el Golfo de Genito, Vivara (Napoli)

En el momento actual son reconocibles, con buena aproximación, seis líneas de rivera respectivamente referibles al nivel del mar a las cuotas: -1,00 metro (nivel de breve duración), -2,50/3,00 metros (nivel de media duración caracterizado por la presencia de marmitas, -3,5 metros (nivel media duración caracterizado por la presencia de surcos hídricos, marmitas con testimonio de un clima lluvioso), -6,00 metros (nivel de larga duración caracterizado por marmitas y plataformas bien definidas), -10,00/12,00 metros (nivel de media duración con plataformas, marmitas y playas con piedrecillas), -18,00/20,00 (nivel caracterizado por amplio altiplano).

De las informaciones obtenidas por los datos geológicos y de las identificaciones de obras arqueológicas se pueden determinar, con buena aproximación, por lo menos dos principales fases de inmersión conectadas a estables situaciones de asentamiento humano, de utilización de áreas portuarias y de instalación de

establecimientos para la elaboración del pescado.

Las más profundas (-10/12 y -18/20) se refieren a las fases más antiguas inherentes de los puertos protohistóricos, especialmente en el golfo de Genito (grutas dedicadas a depósitos, manantiales, escalas de acceso y una gran área portuaria natural caracterizada por un amplio arenal).

La cuota -6 metros es aquella cronológicamente sucesiva que conforma el progresivo hundimiento de la circunscripción y ha restituido una notable cantidad de testimonios arqueológicos, representados por una serie de plataformas de atracadero, plazas y amarraderos de anclaje, obtenidas excavando la masa de roca volcánica.

Fig. 25:

Bitá de amarre entallada en la roca, Procida (Napoli)



Estas obras artificiales son casi seguramente conectadas con las actividades de pesca del atún y a las primeras fases de elaboración y conservación del pescado.



Fig. 26:

Platea artificial y canalización para el drenaje para el procesamiento del atún

3.2.2. Organización del campo base

En la organización de la estructura operativa de soporte a las prospecciones subacuáticas se deben tener presentes los objetivos, las áreas y las necesidades de intervención de las actividades que se van a emprender.

Este tipo de planificación varía naturalmente de caso en caso y debe, de todas maneras, coincidir con las necesidades inherentes a la investigación, tratando de optimizar el trabajo de los buzos. Es buena norma efectuar una inspección preliminar sobre el sitio objeto de las investigaciones con el fin de programar con anticipación la localización del campo base, la predisposición de los servicios, con relación a todas las necesidades inherentes al buen funcionamiento de las intervenciones. Cada investigación conlleva situaciones ambientales particulares y son múltiples los factores relacionados con las operaciones, desde el más funcional acceso al agua, hasta los transportes del personal a las directas comunicaciones con las estructuras de apoyo, desde la recarga de los cilindros hasta el suministro del carburante para la conducción de los medios náuticos y de los compresores para la excavación. En el mar, a menudo, es necesario alcanzar el sitio de la intervención, si es lejos de la orilla, con medios náuticos que permiten el transporte diario de los operadores y de los equipos.

Según esta óptica se ha organizado el campo escuela de Prócida localizando el sitio para la instalación del campo base con relación a las necesidades de investigación que preveían, en un primer momento, una serie de intervenciones de prospección de las orillas sumergidas siguiendo rutas en vista de costa a varios metros de profundidad. La particular conformación de la circunscripción Prócida-Vivara ha facilitado la localización del punto base identificado en una localidad que permitía llegar fácilmente a las áreas de investigación.

La primera operación es la de contactar la Capitanía del Puerto local con el fin de acordar los puntos y las áreas interesadas a las actividades. El sitio elegido para el campo base es un trecho de plataforma portuaria en el pequeño puerto de la Chiaiolella donde por ley son reservados a la Capitanía algunos trechos para el anclaje de emergencia de los medios militares. El sitio seleccionado comprende un área de 10 metros por treinta con posibilidad de atracar cuatro medios náuticos. Es importante implantar la base en directa relación con el agua para facilitar las actividades de embarque y desembarque de los operadores y de los equipos. La Universidad Suor Orsola Benincasa ha activado con el Ministerio de Los Bienes y las Actividades Culturales un acuerdo que prevé la colaboración entre las dos instituciones. El Ministerio tiene la posibilidad de una unidad móvil con equipos personales de investigación e instrumentación para la documentación y de dos

botes inflables.

Con base en el acuerdo, cada año durante el mes de septiembre, se implanta en el área seleccionada el campo base en el momento en el cual la Capitanía de Puerto autoriza la ocupación exclusiva del sitio a través de una ordenanza pública que se fija en la vitrina de las oficinas portuarias.

En el caso específico, la estructura de base está constituida por un laboratorio móvil equipado en un vehículo Nissan



Fig. 27:
Laboratorio transportable S.T.A.S.

en cuyo interior están dispuestos planes de trabajo, estanterías para la conservación de los equipos personales para la inmersión, máquinas fotográficas (Nikon – ob. U.w-nikkor 1:2.8 f= 15 mm) videocámaras, detectores de metales e instrumentos para el levantamiento y la restitución gráfica de los datos. El furgón está equipado con un grupo electrógeno para el suministro de corriente y con un compresor portátil para la recarga rápida de los cilindros. Una vez ubicado el laboratorio en el sitio previsto, se organiza la distribución de las áreas del campo base que es delimitado por barreras móviles. En la plaza se organizan los varios equipos necesarios para los trabajos, desde los tubos del aspirador de aire hasta los compresores, el material didáctico, las cestas personales de los equipos de cada operador. El medio está dotado de una puerta a vaivén que una vez abierta da máxima posibilidad de acceso al laboratorio y tiene también la función de cobertizo de protección. Los dos botes inflables son ubicados a pocos metros y amarrados al muelle: el más grande, largo metros está dotado de motor de 35 caballos y tiene la posibilidad de cargar numerosos buzos con los equipos personales, está equipado de posicionador satelital GPS necesario para la localización de los sitios y de ecosonda para la verificación de las profundidades y de las anomalías del fondo.

El segundo, más pequeño, tiene una función de servicio para las rápidas conexiones entre la zona de intervención y el campo base. Por disposición

de la Capitanía, los medios navales y la ubicación fija, están conectados por radioteléfonos sintonizados sobre banda reservada.



Fig. 28:
Campo base y equipos, Procida (Napoli)

Con base en la convención y las normas de seguridad requeridas para tales operaciones oficiales, el Ministerio requiere, a través del Comando Carabineros para la Tutela del Patrimonio Cultural, la intervención sobre el lugar de un núcleo de buzos del comando de Nápoles que operan autónomamente con un medio náutico y que suministran asistencia en las actividades de inmersión. Los carabineros buzos actúan según un programa predispuesto diariamente y cuidan la seguridad de los buzos con actividades de vigilancia en agua y en superficie donde tienen la tarea de hacer respetar las ordenanzas emitidas por la Capitanía para las zonas interesadas en las operaciones de investigación.

Para los reconocimientos y las prospecciones no son necesarios particulares vínculos operativos, pero en el área donde cada año se implante el laboratorio didáctico, se pide una ulterior ordenanza para una zona de mar en el interior del golfo de Genito de cerca de 100 metros por 100. El área es delimitada por flotadores de colores y en su interior, por toda la duración del campo escuela, no es permitido el acceso de embarcaciones, el anclaje y la inmersión a excepción de los encargados de los trabajos.



Fig. 29:
Área didáctica y embarcaciones inflables
de servicio, Procida (Napoli)

3.2.3. Programación de las actividades

Una vez implantado el campo base, se inician los procedimientos para el acceso de los estudiantes al campo escuela y se controla la documentación requerida consistente en poseer, por lo menos un año, con correspondientes inmersiones, la patente de habilitación a la actividad de buzo, así como el certificado médico de aptitud física para las actividades de inmersión y una póliza de seguro que cubra eventuales accidentes causados por inmersión con auto-respiradores.

Fig. 30:
Visita médica pre inmersión,
Procida (Napoli)



A cada participante se le entrega una canasta que deberá contener los equipos después de las operaciones en mar y el material didáctico. El responsable de la organización, en una primera reunión, ilustra las disposiciones inherentes a la presencia en la obra y dispone cómo se deben ordenar los equipos después de lavado con el fin de evitar perjudiciales confusiones y daños y cómo debe ser sincronizada la actividad de cada uno de los participantes con relación a las numerosas actividades previstas en el programa didáctico. Se disponen, por lo tanto, los horarios de presencia y los turnos para las operaciones cotidianas inherentes a la recarga de los cilindros y al registro del consumo de aire.

El médico competente efectúa una primera visita médica general y da disposiciones sobre los comportamientos alimenticios con el fin de poder afrontar cada día con tranquilidad una actividad intensa de inmersión y didáctica. El perfecto estado físico es necesario con el fin de evitar cualquier posible, y no deseable, accidente y por este motivo cada día, antes y después de la inmersión, los participantes son sometidos a una serie de verificaciones médicas.

El grupo de coordinación constituido por el director científico, por el médico competente, por el responsable técnico operativo y por el Comandante de los

Carabineros buzos, al final de cada jornada de trabajo, predispone en detalle el programa del día siguiente y, con relación a los grupos y a los lugares de intervención, establece las parejas de buzos, la logística de los botes inflables y los turnos de vigilancia en superficie y en inmersión de los Carabineros.

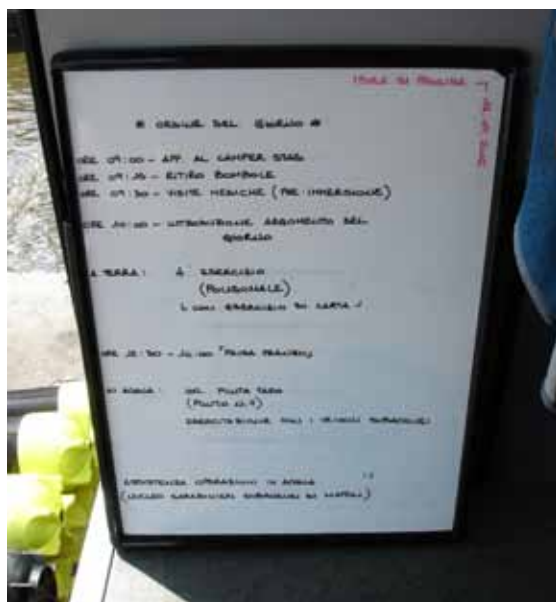


Fig. 31:
Orden del día para la organización del trabajo, Procida (Napoli)

3.2.4. Los equipos personales

El equipo personal, naturalmente, tiene una importancia básica para una segura actividad subacuática que recientemente ha sido también regulada por precisas disposiciones de ley y ordenanzas de las Capitanías de puerto, tratando de poner orden en el multicolor mundo de los buzos que a menudo se improvisan como tales después de haber adquirido costosos equipos.

En todo caso, es necesario que los equipos usados hayan sido sometidos a una revisión anual y que esté a disposición la correspondiente certificación de prueba.

Actualmente es obligatorio el uso del chaleco de equilibrio que, entre otras cosas, es particularmente útil para el arqueólogo durante las operaciones de excavación o documentación porque hace posible un equilibrio estable y regulable con relación a las varias exigencias del trabajo. Otro instrumento indispensable, útil para cualquier avenencia y para las primeras intervenciones de limpieza y excavación, es el cuchillo que va asegurado a la pantorrilla cuyo modelo deberá ser lo más funcional posible y con prestaciones que lo conviertan en un útil instrumento de trabajo.

Particular atención se deberá tener en el tipo de máscara que se debe adaptar perfectamente a la conformación del rostro para evitar fastidiosas y dañosas consecuencias y, para una buena inmersión, será necesario hacer la justa evaluación de la cantidad de peso de poner en la correa.

Hechas estas consideraciones generales inherentes a los normales equipos personales para la inmersión, analizamos el ajuar y los instrumentos mínimos necesarios para el trabajo de levantamiento, diseño, y documentación de tipo arqueológico. Como hemos ya precisado, las actividades de recolección de datos y la conducción de la investigación en agua, no son diferentes a aquéllas realizadas en tierra, pero cambiando el ambiente que nos rodea debemos tener presente que lo que es usado es sumergido en el agua y especialmente en agua marina puede, no obstante un cuidadoso lavado después de la utilización, producir en el tiempo graves daños e oxidación. Por este motivo la elección de los instrumentos para llevar al agua deberá ser atenta con relación a los mencionados factores de alteración.

Se describen a continuación los principales equipos para la medida que son transportados en las correspondientes bolsas de red dotadas de manija y que se encuentran normalmente en el comercio, útiles para el trabajo arqueológico subacuático y que en el caso de la obra escuela de Procida-Vivara son dotación de cada pareja de estudiantes:

Pizarra para levantamiento

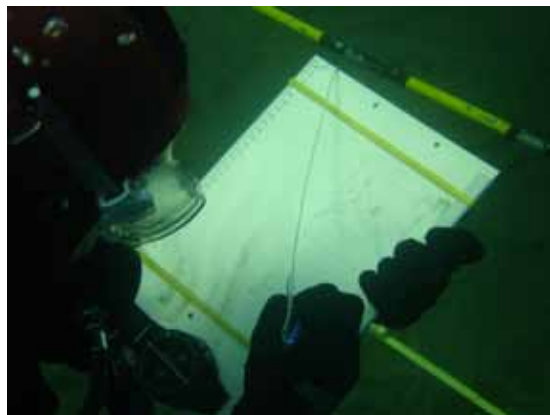


Fig. 32:
Pizarra para levamiento

Se realiza generalmente utilizando láminas de pvc (polivinilcloruro) de espesor de 3 mm. y con dimensiones 35/25 cm. A ésta se fija con una cuerda, un lápiz de madera de mina blanda y un borrador común. Sobre la pizarra se colocan y se

bloquean con elásticos, hojas de permatrace sobre las cuales se puede fácilmente escribir y borrar.

Brújula de objetivo

La brújula de objetivo es generalmente comercializada por vendedores de equipos subacuáticos y puede también se fijada al pulso o, a través de correspondientes cavidades, se coloca en la pizarra de levantamiento. La Brújula deberá tener, en todo caso, la característica de ser de clara y fácil lectura, son preferibles las semiesféricas (óptimas las producidas por la Tecnisub de Génova mod. VZ).

Cinta métrica

Se aconseja la de 20 metros enrollable y debe ser realizada en material plástico.



Fig. 33:
Operación de relevamiento con cuerda métrica
y hilo de plomo

Metro plegable

En el comercio los que se usan en la construcción, realizados en PVC.

Plomada

Se puede usar una plomada común cambiando el soporte con cuerda marina y teniendo cuidado de efectuar lavados después del uso especialmente en el mar.

Nivel de burbuja

También en este caso es posible utilizar instrumentos normales en aluminio que se encuentren fácilmente.

Martillo

Se pueden encontrar en el comercio varios tipos de materiales utilizables para las necesidades de levantamiento. Es mejor elegir los tipos que tienen un lado plano para fijar los clavos y el opuesto en punta para intervenciones de limpieza de las concreciones. Al martillo se debe amarrar una cuerda con un pequeño flotador de color para permitir la rápida identificación en el fondo. Junto al martillo es necesario llevar algunos clavos de 6 cm. y un cierto número de discos marcados de plástico de colores para poder fijar puntos de referencia topográficos reconocibles.

Material vario

Es útil disponer de cuerdas de algunos metros, pequeños flotadores y etiquetas marcadas, dotadas de cuerda para fijar.

En el caso de documentación fotográfica son indispensables.

Astas de plástico con segmentos de colores, de 20 cm. a las cual se puede dar peso con elementos cilíndricos en plomo.

Flecha triangular de dos colores realizada en pvc con con el correspondiente peso en plomo, para indicar la orientación.

Para las indicaciones de lugar, fecha, etc. Se pueden utilizar la pizarra de levantamiento y las hojas de permatrace.

3.3. Ejercicios

El criterio de la didáctica prevé el aprendizaje de los principales y más elementales sistemas de investigación y levantamiento indispensables para una inmediata intervención y que suministren una buena precisión de la recolección

de datos. Es indispensable ilustrar los sistemas fundamentales de la topografía de manera que el estudiante tenga la posibilidad de intervenir con rapidez y con tecnologías sencillas en cada situación de emergencia, cuando sea también necesaria una inmediata y rápida documentación y, principalmente, cuando por los más variados motivos pueden faltar las más sofisticadas y modernas tecnologías de levantamiento. En el agua como en tierra, el arqueólogo debe estar en capacidad de aportar un sistema de levantamiento rápido y preciso con las nociones de base a su disposición. Por ejemplo, conocer el principio de funcionamiento del levantamiento a través del uso de la trilateración será útil en numerosas situaciones donde la falta de puntos fijos de referencia, como sucede a menudo en el agua, puede ser superada por el posicionamiento de los dos puntos de apoyo para formar la base de las sucesivas operaciones de medida.



Fig. 34:
Ejercicios de dibujos de datos subacuáticos

3.3.1. El reconocimiento

En toda situación de investigación es fundamental conocer el territorio a través de la inspección que puede suministrar informaciones útiles para las sucesivas investigaciones. En el mar el hallazgo de una cepa de plomo puede representar el hallazgo casual de un hallazgo no conectado a un sitio arqueológico y testimonio del abandono intencional de un ancla incrustada en el fondo y no recuperable, pero puede también ser una señal de la presencia de un naufragio. Por este motivo es necesario predisponer sistemas de reconocimiento que el investigador podrá utilizar con relación a la extensión del área por controlar y a menudo también con relación a las condiciones de visibilidad del agua.

3.3.1.1. Reconocimiento visual

El más elemental sistema de reconocimiento es el de la inspección en pareja, según un programa preestablecido que, siguiendo una batimetría deseada o determinada por factores ambientales como la visibilidad, recorre rutas paralelas, usando las indicaciones de la brújula y del medidor de profundidad. Las anomalías de interés identificadas, pueden ser señaladas poniendo un flotador sobre el fondo o, si es posible, llevado a la superficie. Se encuentran en el comercio pequeños transductores que una vez posicionados pueden ser encontrados en un momento posterior con otro aparato portátil.

Este tipo de reconocimiento es naturalmente el más simple y no requiere gran empeño por parte de los buzos, a excepción del esfuerzo físico de la navegación con aletas.

3.3.1.2. Vehículos eléctricos

Para el reconocimiento a amplio radio que sin embargo conllevan a menudo paradas para la observación y la registración de los datos, se pueden utilizar pequeños y manejables vehículos de hélice a motor eléctrico dotados de manijas y que permiten transportar dos buzos y su carga de equipos para la documentación (bolsa de los equipos, máquina fotográfica y astas).



Fig. 35:

Reconocimiento en pareja con vehículo eléctrico, Vivara (Napoli)

3.3.1.3. Ala subacuática

El ala subacuática está formada por un tabla que puede tener un ancho de cerca un metro y está dotada de dos sólidas manijas ubicadas en las extremidades; en la parte anterior está fijado el anillo al cual se cuelga una larga cuerda que llega

a una embarcación. El buzo aferra fuertemente las manijas y es transportado a una velocidad media baja por el vehículo a motor y por lo tanto puede iniciar a maniobrar la tabla, inclinándola o levantándola, logrando de esta manera bajar en profundidad o subir. También en este caso el vehículo transportador recorrerá rutas paralelas siguiendo las indicaciones de la brújula. Las conexiones entre el buzo y el conductor del bote son aseguradas por señales sonoras o luminosas que son activadas con pulsantes, en caso de aparatos más sofisticados las comunicaciones se realizan con un sistema citófono que permite una mayor coordinación de los dos operadores. En este último caso el equipo del buzo es más sofisticado y la máscara y el conductor de aire son sustituidos por una gran careta a prueba de agua que permite la instalación de un micrófono.

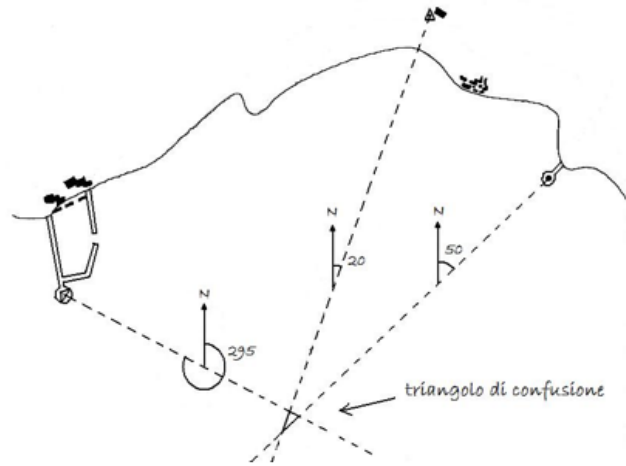


Fig. 36:
Prisma reflejante para el
relevamiento,
Lago de Bracciano (Roma)

3.3.2. Posicionamiento

Es a menudo fundamental el posicionamiento de los sitios sumergidos respecto a la orilla, especialmente cuando existe una real necesidad, estrictamente científica, de relacionar las presencias en el agua con las realidades del territorio por fuera. En situaciones de particular complejidad arqueológica es fundamental el preciso posicionamiento topográfico especialmente cuando, como para las estructuras de muros sumergidos del área fdr Flegrea, las obras son la continuación de aquéllas de tierra y donde está bien relacionar exactamente los alineamientos del recorrido vial y de los edificios. Análoga situación se encuentra en el ámbito lacustre por la topografía de los asentamientos de paladitas sumergidos a pocas decenas de metros de la orilla.

Fig. 37:
Sistema rápido para la
individuación de un punto
en mar abierto



En estos casos se utilizan las técnicas de levantamiento de la topografía de tierra a través del uso de telémetros ubicados en la orilla y utilizados para la medida de los puntos en el agua a través del uso de los prismas reflejantes. Generalmente el prisma es montado sobre una base flotante con eje o con un pie vertical ubicado debajo del agua. El buzo dispone el objetivo sobre la vertical del punto en cual se va a realizar el levantamiento y desde tierra se realiza la medida. Naturalmente este tipo de operaciones exige absoluta calma del agua y generalmente es utilizado en las investigaciones en los lagos o donde es posible tener buenas condiciones de trabajo.

3.3.2.1. GPS y Objetivos

Para el posicionamiento en el mar, especialmente cuando nos referimos a los naufragios de embarcaciones, la moderna tecnología ofrece soluciones con aproximaciones aceptables a través del uso de GPS satelitales cuya difusión y costos relativamente limitados, permite la posibilidad de compra. Además, el error de posicionamiento es cada vez más bajo en los nuevos modelos en producción.

No debemos, sin embargo, olvidar las necesidades de localización de emergencia de frente a imprevistos descubrimientos y a falta de aparatos GPS. Entre los ejercicios recordamos un antiguo, pero suficientemente preciso, sistema de posicionamiento de puntos en el mar, en vista desde la costa. El sistema de objetivos consiste en la identificación por mar de tres blancos fijos en tierra (un campanario, un faro, el ángulo de un edificio, un enrejado de electricidad)

que son respectivamente mirados con la brújula de objetivo y de los cuales se anota la referencia y el ángulo respecto al norte. En un momento sucesivo en la pizarra se reportan los datos sobre una carta topográfica, tranzando las tres redes de colimación. Los tres alineamientos se sobrepondrán creando un triángulo llamado de “confusión” en el interior del cual, si nuestro levantamiento es correcto, se encontrará el punto del hallazgo.

3.3.3. Levantamiento planimétrico

3.3.3.1. La trilateración

Como hemos ya observado, uno de los sistemas de levantamiento planimétrico que puede alcanzar óptimos resultados y precisión milimétrica sin la ayuda de instrumentaciones ópticas, entre otras cosas no utilizables en el agua, es la trilateración o intersección hacia adelante. El sistema es extremadamente sencillo para la adquisición de los datos y en el momento en el cual se alcanza una cierta práctica en la aplicación, se pueden obtener resultados sorprendentes pudiendo efectuar, en sucesión, numerosos posicionamientos con la realización de una amplia zona en la cual se ha hecho el levantamiento.

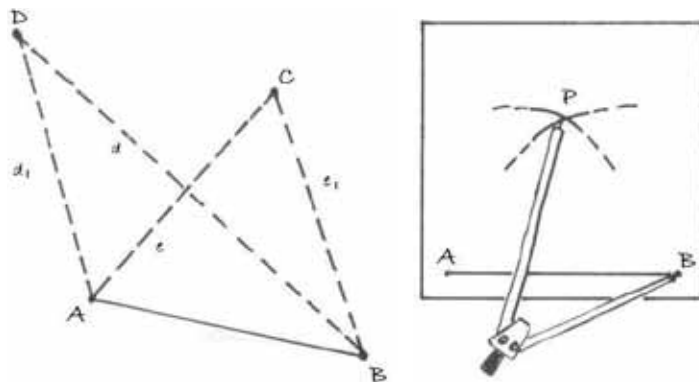


Fig. 38:
Métodos para el relevamiento de puntos a través diferentes técnicas, trilateración y restitución grafica

Generalmente en el agua no tenemos puntos de referencia a los cuales enganchar el levantamiento que pretendemos realizar y por lo tanto seremos nosotros que debemos implantar dos clavijas fijas de referencia (A y B) a una distancia preestablecida. El alineamiento A – B podrá seguir la marcha del sitio o la posición de los objetos sobre los cuales se hará el levantamiento o podrá coincidir con una orientación determinada por la brújula. El levantamiento de los puntos, en el caso específico C y D, se realizará a través de la medida directa efectuada

con la cinta métrica de los segmentos AC y BC para el punto C y AD y BD para el punto D, si el levantamiento es correcto y la cinta métrica es tensionada y puesta horizontalmente, la precisión es milimétrica. Si es necesario, con relación a anomalías del fondo que impidan el posicionamiento directo sobre los puntos donde se hará el levantamiento, se puede utilizar la plomada. Igualmente sencillo es el traslado en escala de los datos obtenidos y las medidas tomadas serán reportadas sobre la hoja utilizando el compás: la intersección de los dos semicírculos corresponderá al punto levantado.

3.3.3.2. Las coordenadas ortogonales

Este sistema es generalmente usado en el ámbito del levantamiento en el interior del retículo que caracteriza el área de una excavación. Teniendo como puntos de referencia los lados del cuadrado del cual conocemos las dimensiones, será posible posicionar el punto C, tomando las dos medidas BC y CA, usando el metro plegable ubicado exactamente en escuadra respecto a los lados. Para una mayor precisión se puede hacer uso de una escuadra. El sistema requiere mucha atención en la fase de medida y es aconsejable para levantamientos de detalle.

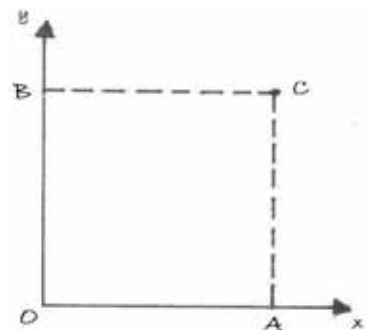
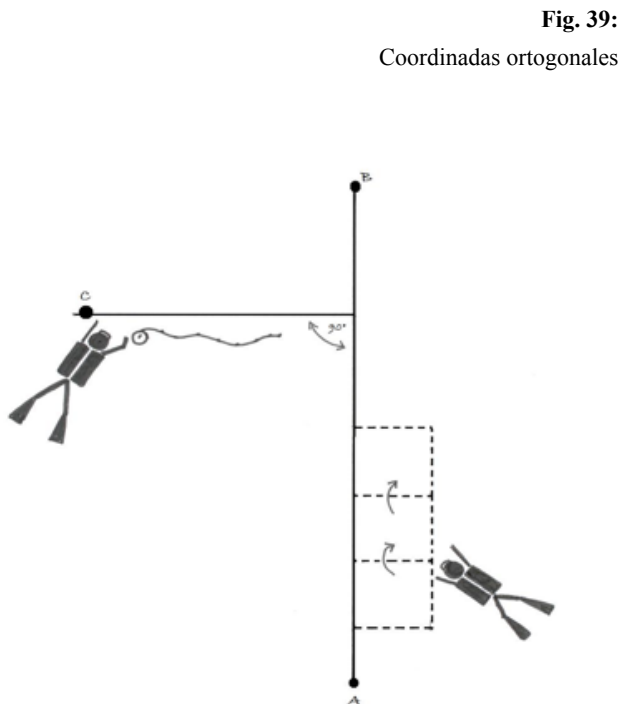


Fig. 40:
Relevamiento expeditivo sobre línea de base y cuadrados móviles

3.3.3.3. Las coordinas polares

El levantamiento de los puntos con el sistema de las coordenadas polares se puede utilizar para posicionamientos de máxima de varios objetos y bloques esparcidos dispuestos sobre una vasta área. No garantiza máxima precisión del levantamiento pero es útil para adquirir una rápida y relativamente real visión de la disposición de los hallazgos. Se parte del primer objeto sobre el cual se hará el levantamiento (0) que se convierte en punto de inicio, se posiciona un asta sobre el punto sucesivo C y desde el punto 0 con la brújula se enfoca el punto C registrando el ángulo respecto al norte, contemporáneamente se mide con la cinta métrica la distancia entre 0 y C. La transposición gráfica se realizará usando el goniómetro.

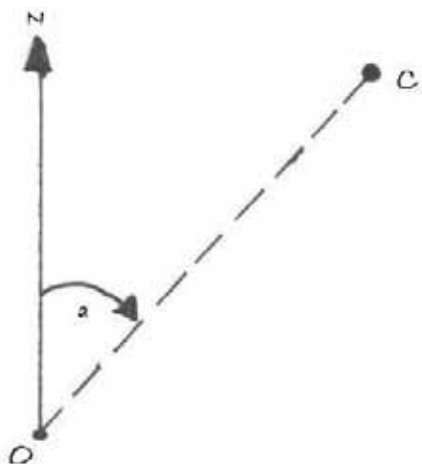


Fig. 41:
Coordenadas polares

3.3.4. Levantamiento rápido

3.3.4.1. La Poligonal

Usando la técnica del levantamiento con el método de las coordenadas polares se puede proceder al posicionamiento de una serie de objetos dispuestos en un área a diferentes distancias. Se plantean, por lo tanto, una serie de medidas con la adquisición de ángulos enfocados con la brújula y distancias tomadas con la cinta métrica, realizando un recorrido llamado poligonal abierta que, cuando es posible, será oportuno cerrar con la última medida sobre el punto de partida (A). Si la poligonal se cierra antes en fase de restitución gráfica, estamos seguros que nuestro trabajo es correcto.

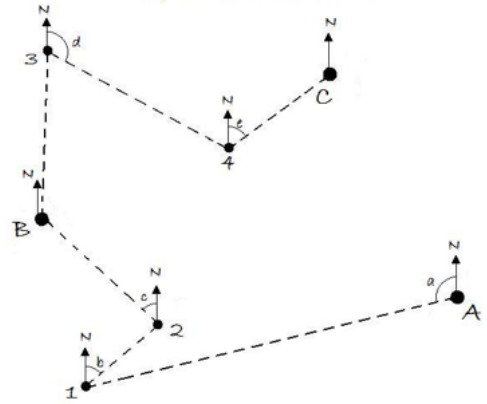
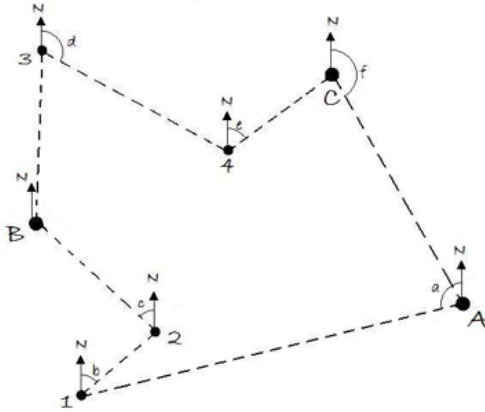


Fig. 42:
Poligonal abierta y poligonal cerrada

3.3.4.2. Irradiación

Este tipo de levantamiento puede ser utilizado en particulares condiciones de posición de los puntos donde se hará el levantamiento y utiliza el método de las coordenadas polares. Se establece un punto de partida donde se fija un asta o una clavija y se procede al posicionamiento (brújula – distancia) con objetivos en sentido horario por 360 grados.

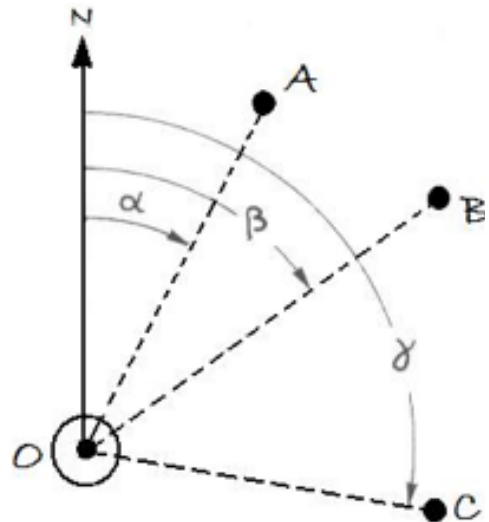


Fig. 43:
Relevamiento para irradiar

3.3.5. Levantamiento altimétrico

El levantamiento topográfico de un sitio prevé la realización de una planimetría general y de una serie de secciones que integran la documentación, poniendo en evidencia las variaciones de nivel y del terreno. A falta de instrumentación óptica para utilizar en el agua, se reportan los principales sistemas para el levantamiento de las secciones y de las variaciones de niveles del fondo.

3.3.5.1. Profundímetro

El sistema inmediato pero relativamente preciso para el registro de la profundidad, es el profundímetro, accesorio indispensable para los buzos. Se puede utilizar para una inmediata lectura de las diferencias de nivel pero es necesario recordar la relativa exactitud de los datos suministrados por el instrumento que, de otra parte, registra los datos haciendo referencia al nivel del mar que en algunas situaciones varía con relación a la acción de las mareas. Más precisos son, en efecto, los levantamientos dirigidos que hacen referencia a los niveles del fondo.

3.3.5.2. Objetivo subacuático

Es un instrumento de construcción artesanal montado sobre caballete donde está puesta una alidada con objetivo y nivel de burbuja para el exacto posicionamiento horizontal. Es usado como el nivel óptico de tierra y marca una mira, puede ser usado en condiciones de particular visibilidad.

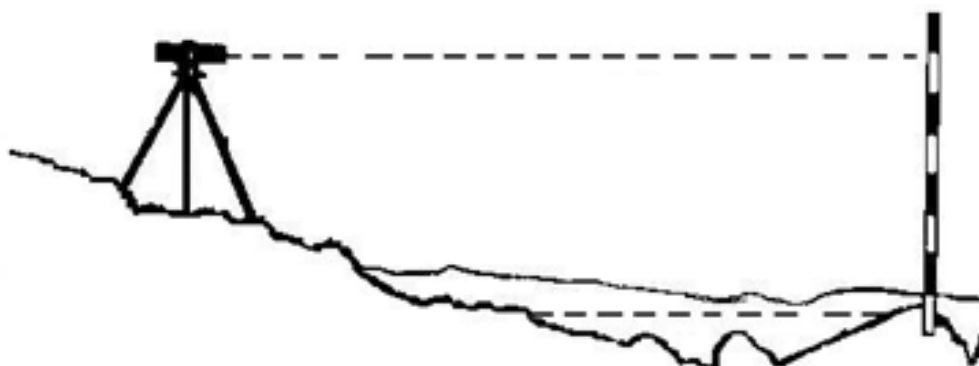


Fig. 44:

Técnica de relevamiento de puntos de estación fija y sistema de cálculo de los desniveles

3.3.5.3. Nivel de aire

Usa el mismo principio del nivel de agua, utilizado en tierra por los albañiles pero el largo tubo de plástico debe ser llenado de aire antes de efectuar la medida. Para tener la medida del desnivel entre los puntos A y B se posiciona una extremidad del tubo dirigida hacia abajo en el punto A y la otra deberá deslizarse lentamente sobre el asta ubicada en el punto B. Desde la extremidad comenzarán a salir una serie de bolitas hasta cuando en el punto C se estabilizará en el interior del tubo una línea de separación entre agua y aire; esa línea indica la exacta cuota del punto A. En este punto bastará medir la distancia entre C y B para tener el desnivel entre los puntos.

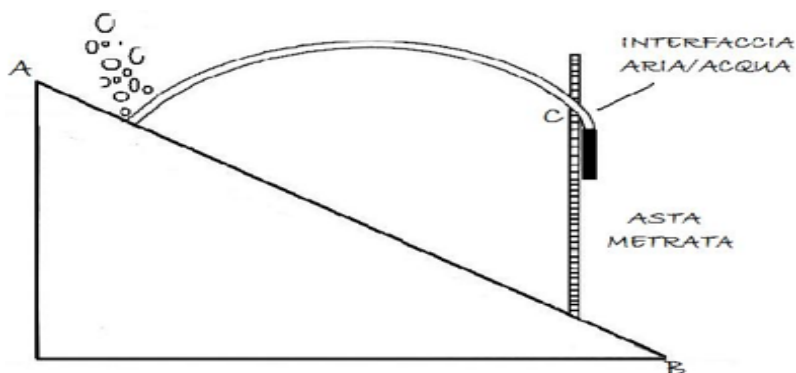


Fig.45:
Lectura de los
desniveles a través
el nivel a aire

3.3.5.4. Levantamiento directo de niveles

A través de una serie de medidas a lo largo de un alineamiento establecido con la predisposición de una cuerda tirada entre dos clavijas, es posible realizar una precisa sección del área interesada para las investigaciones.

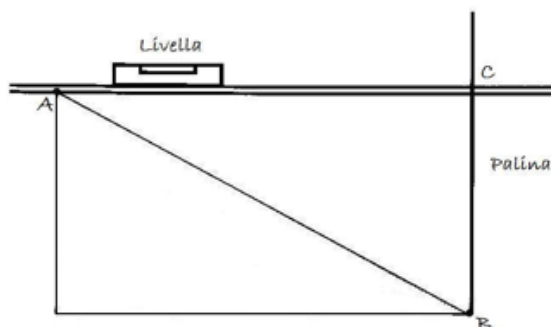


Fig. 46:
Relevamiento desniveles, medidas de las
secciones con el “canneggiamento”

También en este caso se utiliza la vieja técnica del la medida con “la caña métrica” en tierra utilizando una vara de aluminio con un largo de cerca 2 m. : un lado es ubicado en el punto A y el otro, puesto perfectamente horizontal con un nivel, indicará el punto C. también en este caso la distancia entre C y B representará la medida de la diferencia de cuota. La operación de levantamiento continuará a lo largo del alineamiento de la cuerda con lecturas progresivas cada dos metros.

3.3.5.5. Levantamiento con Eclímetro

Sobre una vara de aluminio de largo variable se monta el goniómetro al centro del cual está fijado una plomada. El aparato sirve para medir la inclinación de una superficie entre los puntos A y B leyendo los ángulos indicados por la plomada.

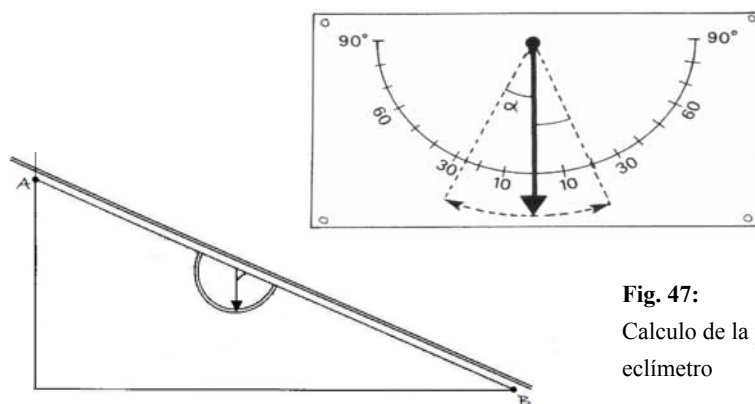


Fig. 47:
Calculo de la pendientes con el eclímetro

3.4. El enrejado

Las operaciones hasta ahora descritas son inherentes a los sistemas de investigación, levantamiento y metodología de recolección de datos, algunas propedéuticas a las sucesivas fases de la instalación de la obra, otras utilizables en el ámbito de las operaciones de excavación. Una vez identificado el sitio arqueológico sumergido, se está en capacidad de evaluar la instalación propiamente dicha de la obra donde se alternarán las varias figuras profesionales en las específicas competencias. También en este caso la implantación de la obra de excavación podrá estar condicionada por la tipología del sitio y por las condiciones de la morfología del fondo.

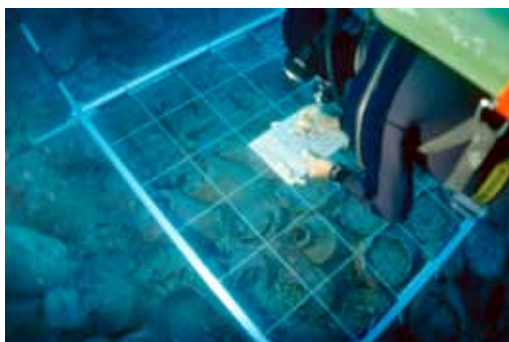
En el momento de la instalación serán una vez más las exigencias de documentación gráfica y fotográfica que requerirán una particular disposición

organizativa con el fin de delimitar con precisión la zona que se va a excavar y poder identificar los sectores de referencia. Como para las excavaciones en tierra y la preparación de las trincheras, también debajo del agua será necesario delimitar el área interesada a los trabajos con el posicionamiento de un enrejado que, delimitando los espacios, constituya una serie continua de puntos fijos, la intersección de las líneas de los cuadrados y espacios, los cuadrados mismos a los cuales hacer referencia para la registración de los datos de excavación.



Fig. 49:
Reticulo en material plástico
y subdivisión del cuadrado

Fig. 48:
Reticulo metálico



Los sistemas de delimitación del área de excavación para la creación de un gran tablero de ajedrez son los más variados y generalmente dependen de las decisiones de los arqueólogos, de la extensión del sitio y de la tipología de la intervención. El sistema más sencillo es el de realizar el enrejado disponiendo de una serie de cuerdas cruzadas fijadas por fuera con clavijas.

Fig. 50:
Operación de alineación de
los ejes con compás



Estetipo de preparativo tiene, sin embargo, muchas contraindicaciones con relación

a la aproximación consiguiente de extender las cuerdas, al posicionamiento de las clavijas y a la precariedad de los puntos de intersección que, como sabemos, son los puntos fundamentales para los levantamientos planimétricos. En el momento en el cual inicia la actividad de excavación con el uso de los aspiradores (de aire o bien de agua), el movimiento, también involuntario de los buzos en el área delimitada, se arriesga la inestabilidad de los frágiles alineamientos y por lo tanto la posibilidad de realizar levantamientos precisos. Por este motivo, salvo los casos de breves intervenciones de documentación o áreas muy limitadas, es oportuno optar por una solución que prevea el uso de enrejados rígidos modulares que son montados con facilidad, que garantizan un equilibrio estable y la posibilidad de usufructuar de puntos topográficos inmóviles.



Fig. 51:
Monitoreo de los elementos retículos en metal

No existen en el mercado estructuras similares, pero como regla en las obras subacuáticas, cada arqueólogo, con la colaboración de los técnicos, pone en función y hace realizar los elementos de la estructura rígida cuyo montaje debe tener como característica principal la simplicidad de los elementos que deben ser ensamblados rápidamente.

Fig. 52:
Cuadrado y subdivisión interna con hilos metálicos.
Ejercitaciones de ensamblaje



En estos equipos son prohibidos tornillos, pernos, y elementos que hacen enredado el montaje y que pueden perderse en la arena. Los elementos rígidos deberán tener en la parte terminal un mango fijo que podrá ser atornillado con las otras piezas de la estructura. El enrejado se compone de una serie de cuadrados, generalmente de medida por lado de 1,5 o 2,0 metros, cada cuadrado es definido por cuatro tubos rígidos, distribuidos con barnices de diverso color, cada 20 centímetros. El punto de intersección está constituido por una unión a cruz con los terminales a tornillo para los acoplamientos de los ejes del cuadrado; en el centro está presente un foro en el cual se enfilará posteriormente un elemento vertical regulable que constituirá uno de los varios pies del enrejado.

Fig. 53:
Detalle de la junta cruzada para la conexión de los tubos en plástico



El montaje se realiza en horizontal, ensamblando cada uno de los elementos que han sido precedentemente alineados según el plan de trabajo.



Fig. 54:
Ensamblaje de los juntos del retículo en metal

Una vez montado el enrejado se deberá proceder al levantamiento de la estructura a través de la regulación de la altura de los elementos verticales y, con un nivel, crear un plano ideal perfectamente horizontal. Esta operación permitirá la realización de las secciones gráficas referidas a los varios sectores de la excavación.

4. EL ENSAYO DE EXCAVACIÓN EN EL GOLFO DE GENITO

En el curso de los últimos años, paralelamente a la actividad de reconocimiento y a la didáctica, se ha iniciado un ensayo de excavación en el área del golfo de Genito dirigido al estudio de la sedimentación de la grande área de playa hundida a causa del bradiseísmo. Ésta fue la ocasión para activar una verdadera obra de excavación con la experimentación de los equipos de aspiración y la colaboración de los estudiantes más antiguos, ya expertos en trabajar al lado de los colegas recién incorporados.

4.1. Resultados preliminares

El ensayo de excavación efectuado en el golfo Genito en el área del islote di Vivara, permitió llegar, a partir de -7 metros, por debajo de un banco de ca. Tres metros, formado por sucesivas estratificaciones de posidonias, lo que, con toda probabilidad, puede ser interpretado como el plano arenoso originario de una zona de “retroplaya” de conectarse verosímilmente con la línea de orilla interceptada entre los 10 y los 12 metros de profundidad. Esta área, de hecho, ya sea sobre la base de los elementos suministrados por las investigaciones geológicas, que sobre la base del testimonio ofrecido por la escalera tallada en la toba, descubierta poco al norte, debía, en origen, presentarse enteramente afuera y servir, en consecuencia, de punto fundamental de un posible sistema “portuario” conectado con el asentamiento protohistórico colocado en Vivara. De hecho poco o nada se sabe hasta hoy sobre la organización de las áreas de puerto-atracadero pre y protohistóricas en la cuenca occidental del Mediterráneo. La situación de Vivare se presentaba, por lo tanto, como una óptima ocasión para implantar una investigación global apta a sacar a luz las modalidades de organización de un puerto-atracadero incluido en las rutas comerciales sobre la larga distancia.

El elemento más interesante está representado por el descubrimiento,

justamente sobre este plano y en la estrecha superficie identificada en el ensayo, de un rico repertorio in situ de fragmentos de vasos proto-apeninos, asociados con huesos animales, con una serie de rodillos de obsidiana de tipo local y algunos elementos líticos. Es todavía muy temprano para extraer de estos primeros y parciales resultados consideraciones de orden general. Un dato, sin embargo, puede ya valer por cierto: las comprobadas condiciones de conservación del estrato arqueológico sumergido en el interior del cráter de Vivara, referible a la población prehistórica que ocupaba su cima, abren reales perspectivas para un estudio serio y detallado de un complejo portuario de la Media edad del Bronce italiana.

4.2. La obra de excavación

Una vez identificado el sitio más apto para la realización del ensayo de excavación se procedió a predisponer una ulterior delimitación de un área en el interior de aquella requerida a la Capitanía de Puerto. La profundidad del sitio -7 metros, permitía organizar el trabajo dando la posibilidad de predisponer turnos de excavación bastante largos y garantizar así una correcta continuidad de intervención.

En el fondo fue predispuesto un enrejado de dos elementos cuyo posicionamiento seguía los alineamientos norte-sur y cuyos ángulos fueron evidenciados en superficie por flotantes ubicados en tiro sobre la vertical y levantados desde tierra con el uso de un telémetro óptico.

Vista la necesidad de utilizar para la excavación sistemas de aspiración accionados a motor, se dispuso la construcción de un pontón flotante útil para sostener un compresor y a los buzos antes y después de los turnos de trabajo. En previsión del uso del aspirador con aire que transporta en superficie el material excavado, en el centro del pontón se dejó una ventaja rectangular que permitía al tubo de descarga depositar sobre un tamiz lo que era sacado del fondo. De esta manera era posible efectuar un ulterior y más atento control a través de turnos de estudiantes encargados de la recuperación y la conservación de lo que podía escapar al control del operador en agua encargado del uso del aspirador. El pontón de dimensión de 6/4 m. está constituido por una estructura portante en metal sujeta por una serie de flotantes cilíndricos de material plástico y era anclado sólidamente en el fondo con cuatro amarres conectados con pesos muertos.



Fig. 55:
Pontón de apoyo amarrado sobre el sitio

En el agua, para la seguridad de los buzos fue trazado con boyas el trayecto que obligatoriamente debían hacer los botes inflables que transportaban a los operadores de la obra base al área de excavación. La descenso al agua y la subida se realizaba siempre desde el mismo punto identificado por una boya de color diverso y en correspondencia con el cuerpo muerto de anclaje era predispuesto in cilindro con conductor de aire para eventuales exigencias de emergencia.



Fig. 56:
Detalle del pontón y actividad de los buzos

Sobre la vertical del ensayo de excavación se estacionaba el bote inflable de los carabineros que, por turnos, bajaban al agua para vigilar desde lo alto las operaciones de los buzos que trabajaban por parejas bajo la dirección de un responsable de inmersión. La excavación de la trinchera se ha revelado particularmente laboriosa a causa de la presencia de un compacto estrato de raíces y posidonias muertas, que no permitían un fácil uso del aspirador. Después de numerosos tentativos, la mejor técnica para eliminar los estratos de posidonias fue la de usar pequeñas sierras de jardinería para cortar en trozos los sedimentos que eran luego eliminados con el uso de la lanza de agua. A este punto podía ser usado el aspirador que aspiraba el material y podía permitir la continuación de la excavación, atenta a los subyacentes estratos arenosos, en consideración

de las dimensiones de la trinchera de excavación (2/4 metros) la continuación en profundidad fue condicionada por motivos de seguridad con relación a la verticalidad de las paredes, aunque la compacidad de los sedimentos podía garantizar una buena calidad. No obstante se decidió ampliar las dimensiones del ensayo y predisponer, como en las excavaciones en tierra, una serie de medidas que permitían la máxima seguridad del ensayo y de los operadores.

Esta actividad fue seguramente una útil experiencia para los estudiantes a quienes les fue impartida una serie de informaciones teóricas y que habían desarrollado numerosos ejercicios en el agua pero sin haber sido nunca involucrados en una intervención real que presentara todas las dificultades de un trabajo subacuático.

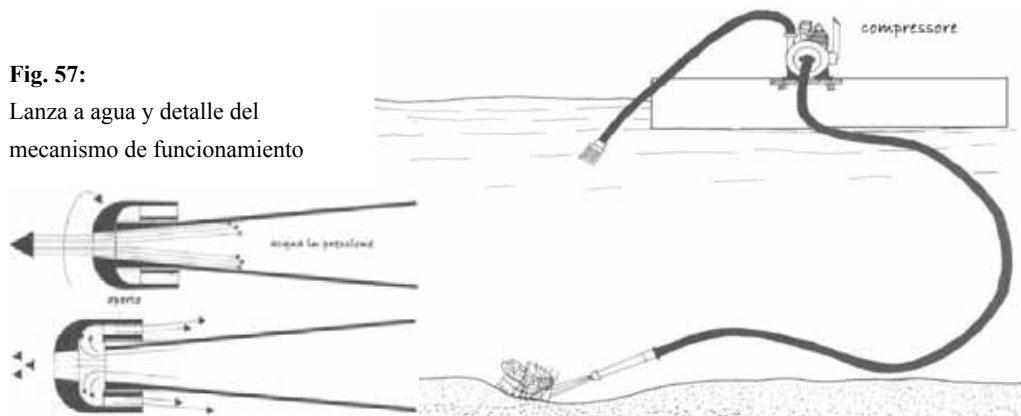
En las varias fase de trabajo se explicaron diversas máquinas para la excavación subacuática: la lanza de agua (excavadora de fango) y el hidroaspirador (la sorbona de agua).

4.2.1. La lanza de agua

La lanza de agua es el más sencillo instrumento utilizable para las excavaciones subacuáticas en general, pero es desaconsejada para las excavaciones arqueológicas. El funcionamiento de la lanza de agua prevé la presencia en superficie de una embarcación de apoyo que transporta una bomba hidráulica a motor que aspira el agua y la manda a presión a través de una manguera a una cabeza regulable que permite lanzamientos de varia intensidad.

Fig. 57:

Lanza a agua y detalle del mecanismo de funcionamiento

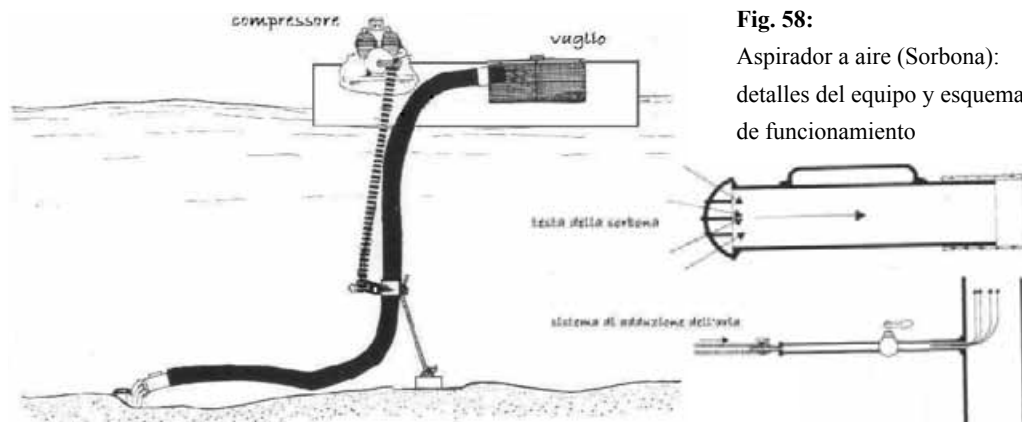


El uso de este instrumento, como se puede imaginar, va limitado a casos particulares y no puede ser utilizado para las excavaciones arqueológicas sino en situaciones, como en el caso de la posidonia del ensayo en Vivara, donde es

necesario y posible una intervención puntual y limitada.

4.2.2. Sorbona, aspirador de aire

Es el instrumento más usado para la excavación arqueológica y sigue el principio del elevador hidráulico que tiene varias aplicaciones en la industria. El aspirador de aire está constituido por un tubo, generalmente de plástico corrugado, de diámetro variable con relación a las necesidades de los materiales que deben ser retirados.



En una extremidad está fijado un segmento de metal con manijas para permitir al operador dirigir la cabeza que aspira. Hacia abajo se empalma el tubo que emite el aire comprimido suministrado por un compresor de motor y ubicado sobre un barco, el aire subiendo en el tubo hacia la superficie, crea una depresión que aspira el agua y empalma el proceso de recuperación del fango y de la arena.



Fig.59: Control del aspirador a aire

El tubo lleva a la superficie agua, fango y desechos, descargando todo en tamices de red donde es posible la recuperación de objetos accidentalmente aspirados durante las fases de excavación.

4.2.3. La sorbona de agua, hidroaspirador o aspirador de agua

A diferencia del aspirador de aire, el aspirador de agua, excava y deposita sobre el fondo el material. En este caso la depresión es generada por la introducción de agua a presión suministrada por una bomba centrífuga (como en el caso de la lanza de agua) que es introducida a través de una boquilla orientada hacia la descarga.

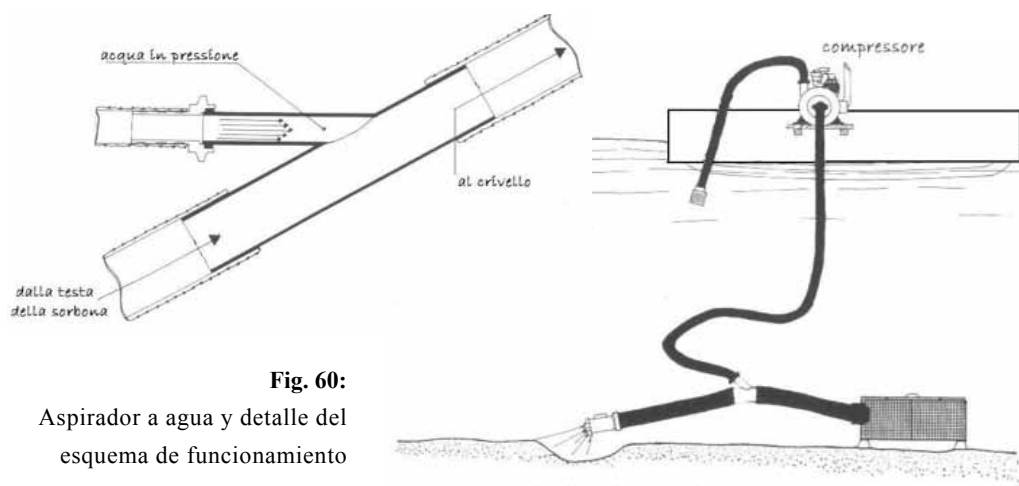


Fig. 61:
Compresor utilizado para el aspirador a aire y el a agua

El globo elevador

Un equipo útil en el desarrollo de la obra subacuática es el así llamado globo elevador que juega una función fundamental en algunas fases de la excavación. El globo consiste en una bolsa resistente de tela plástica de forma similar aquella de un globo aerostático y con en el fondo algunas cuerdas unidas por un anillo metálico.



Fig. 62:

Bloque removido con el globo elevador

Este equipo es utilizado para levantar desde el fondo objetos pesados y de frecuente para recuperar tocones de ancla e hallazgos de peso considerable. El buzo, utilizando el segundo regulador, introduce aire en el globo que inflando sube a la superficie; la velocidad de subida se regula a través de una válvula de descarga situada en la parte superior del globo. Para utilizar este equipo es necesario que el buzo tenga mucha experiencia porque el uso incorrecto puede provocar accidentes graves.

Fig. 63:
Esquema de una operación de levantamiento
de un hallazgo con el globo



5. NAVES PARA LA INVESTIGACIÓN SUBMARINA

5.1. Colaboración con la Marina Militar

Desde 1998, gracias a una convención a propósito estipulada entre el Ministerio para los Bienes y las Actividades Culturales y la Marina Militar Italiana, las superintendencias Arqueológicas pueden disfrutar de la colaboración de algunas unidades navales equipadas a propósito para las investigaciones de los fondos marinos hasta una cuota máxima de -250 metros. Según un programa anual, que define las prioridades de intervenciones, unidades dragaminas de clase Lerici, son operativas para la identificación y el estudio de los naufragios sumergidos de los cuales, a menudo, se tiene noticia a través de las recuperaciones fortuitas efectuadas por redes de “arrastre”. En el ámbito de la programación nacional y con el fin de estudiar más profundamente los fondos entorno a la isla de Procida, los dragaminas efectúan cada año cuidadosos reconocimientos sonar (Side Scan Sonar) seguida de investigaciones dirigidas con uso de vehículos subacuáticos (ROV) que pueden documentar en tiempo real (sistema video y foto) las anomalías encontradas por el sonar, suministrando contemporáneamente informaciones sobre la profundidad y sobre la consistencia de los restos que son posicionados con precisión con sofisticados sistemas GPS. Los estudiantes del campo escuela de Procida-Vivara han tenido la oportunidad de participar en operaciones de investigación pudiendo conocer el funcionamiento de equipos de prospección de las profundidades de los fondos utilizables para la investigación arqueológica.

5.2. Levantamientos con sistema Side Scan Sonar

El Side Scan Sonar constituye indudablemente el instrumento principal para el estudio de la morfología de los fondos marinos y para la investigación arqueológica marina. Este instrumento es empleado para explorar amplias áreas de fondo e identificar la presencia de eventuales hallazgos arqueológicos que afloren. El Side Scan Sonar está en capacidad de suministrar imágenes del fondo marino de las cuales son reconocibles, en algunos casos, directamente los hallazgos, en otros casos las anomalías, que oportunamente interpretadas por geomorfólogos o verificadas mediante levantamientos visuales, pueden revelarse áreas de interés arqueológico.



Fig.64:

Rutas de investigación con uso del
barreminas, Procida-Vivara (Napoli)

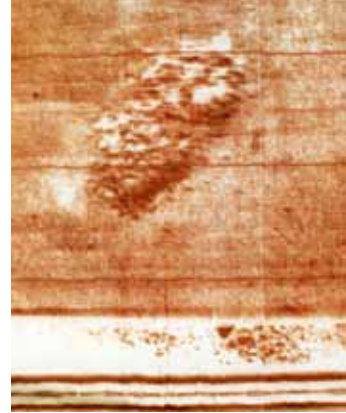
El Side Scan Sonar es un sonar de escansión lateral que produce imágenes del fondo a gran escala, similares a fotografías aéreas. Los levantamientos son, por norma, realizados con el empleo de sistemas Side Scan Sonar de doble frecuencia operativa (normalmente 100 y 500 KHz) que permiten obtener en tiempo real la “fotogrametría ultra-acústica” del fondo marino, o sea su registración en imágenes digitales, no distorsionada y de altísima resolución así como georeferenciadas, debido a que el sistema está integrado al software de navegación.

El instrumento no utiliza la reflexión de las ondas acústicas, sino su difracción. Si una onda afecta una superficie que tiene un ángulo dirigido hacia la onda misma, como por ejemplo una superficie desconectada, el frente de la onda se pliega a las desconexiones dando origen a una onda refractiva.

Cada punto del fondo alcanzado por una onda acústica, si presenta características aptas, se convierte en un manantial de ondas refractivas. La frecuencia y la largueza e la onda refractiva dependen de las características del fondo. El retorno de la onda acústica refractiva es por lo tanto registrado por los transductores y la señal es conmutada en imagen constituida por una serie de líneas compuestas por puntos individuales (pixel), cada línea es la representación de los ecos producidos por un impulso. Con base en la amplitud de la señal de retorno (por lo tanto en la morfología del fondo) el instrumento crea una imagen en tonos de gris, similar a un fotografía aérea en blanco y negro.

Una de las características sobresalientes del Side Scan Sonar es la de lograr levantar un área más o menos amplia del fondo a cada escansión en función del rango utilizado, la decisión del rango puede ser variada en función de las exigencias y de las dimensiones del objetivo al cual se debe hacer el levantamiento o de las dimensiones del área por investigar. El rango utilizado es por lo tanto inversamente proporcional a las dimensiones del objetivo por buscar.

Fig.65:
Imágenes sonar del despojo romano de Albenga



Las rutas de navegación “teóricas”, por lo tanto la planificación de los levantamientos, es planteada sobre la base de la extensión del área por investigar, de la profundidad y del objetivo por descubrir con el fin de garantizar una completa cobertura del área de investigación con una sobreposición adecuada entre “rocas” adyacentes, normalmente la sobreposición debe ser por lo menos del 30%.

Todo el sistema Side Scan Sonar está constituido esencialmente por tres unidades:

- unidad subacuática (two-fish)
- Unidad de control y registración de datos;
- Cable de transmisión de datos.

La unidad subacuática es transportada por medio naval a través de un cable portante en la cual se encuentran los dos transductores laterales y por un cable eléctrico armado multicolor de conexión entre las dos unidades. Las imágenes son corregidas de cualquier posible deformación debido a la velocidad del medio naval, a la posición del two-fish, de hecho, las registraciones gráficas son ya representaciones en escala real a través de las cuales resultará extremadamente fácil la construcción del mosaico del fondo marino.

La posición absoluta del two-fisch cuando está en inmersión, respecto a la posición del medio naval, es determinada por los sistemas USBL o SSBL, gracias a los cuales son instantáneamente acopladas una serie de coordenadas del two-fish y, en consecuencia, conociendo los parámetros geométricos de las dos fases laterales, es posible obtener las coordenadas absolutas de la porción de fondo marino invertida por las dos fajas ultra-acústicas.

El proceso de tratamiento de lo adquirido inicia con el control de calidad de las

registraciones Side Scan Sonar (sobre papel y sobre disco), durante el cual se evidencian la presencia de eventuales ecos falsos o de sombras y continúa con la construcción del fotomosaico utilizando software específicos, los cuales son capaces de integrar file-datos separados de imágenes sonar en un solo mapa mosaico.

Las sombras suministran un instrumento interpretativo de fundamental importancia para la investigación de sitios arqueológicos sumergidos ya que éstas son generadas ya sea por objetos que sobresalen del fondo ya sea por depresiones. La fase sucesiva está representada por la interpretación geomorfológica de los record del Side Scan Sonar.

Con relación a la tipología del sitio, las imágenes side scan sonar pueden ser de más o menos fácil interpretación. En el caso de naufragios de medias y grandes dimensiones sobre fondos móviles, las imágenes Side Scan Sonar son a menudo muy explicativas, mientras que estructuras o un cúmulo de ánforas puede necesitar de una atenta interpretación para ser reconocidas. En general los potenciales sitios arqueológicos identificados y posicionados mediante Side Scan Sonar, para una completa y cierta identificación, deben ser analizados mediante investigaciones directas conducidas con inspecciones por parte de ROV.

La interpretación de los monogramas se vuelve particularmente compleja cuando se buscan naufragios o estructuras que, en lugar de estar sobre fondos móviles (arenas o fangos), se apoyan sobre fondos duros (roca). En efecto, en ambientes rocosos la característica sombra generada por cualquier objeto que sobresale del fondo, podría ser confundida con la de las rocas. En estos casos, considerada la dificultad interpretativa de los monogramas, el empleo del side scan sonar no es aconsejado.

La imagen producida por el Side Scan Sonar permite tener una visión de conjunto de un naufragio o sitio arqueológico y, sondeo cada punto de la imagen georeferenciado, gracias a esta tipología de levantamientos es posible, además de identificar y posicionar los sitios arqueológicos, obtener informaciones sobre las dimensiones de los hallazgos y de las estructuras.

Existen esencialmente dos tipologías de Side Scan Sonar, los modelos para los levantamientos en aguas costeras, entre los 300-400 metros de profundidad y aquéllos para levantamientos en aguas profundas, hasta más de 1000 metros.

5.3. Investigaciones visuales mediante sistemas ROV

Remotely Operated Vehicle “Vehículos de conducción remota” normalmente llamado ROV, consiste en un robot subacuático que permite al operador permanecer a bordo de la embarcación, mientras el vehículo realiza los trabajos de inmersión.

Los primeros ROV se remontan a finales de los años 50, aunque su uso comercial, principalmente en el campo de las exploraciones petroleras y en la puesta de conducciones submarinas, comenzó en los años 70. Hoy existen más de 400 modelos de ROV destinados a los más diversos usos científicos, militares y comerciales. En el mercado están disponibles ROV de clases diferentes según la profundidad y las condiciones meteomarinas en las cuales se debe operar.

Fig.66:
“ROV” Pluto en dotación
del barreminas de la
Marina Militare Italiana



La calidad de los ROV se diferencia, además de en función de la máxima profundidad operativa, también en función de la potencia de los propulsores, de la calidad de las tele-cámaras y de las ópticas, es decir de las imágenes que puede suministrar, y de la disponibilidad de instrumentos accesorios, como por ejemplo el sonar lateral, manipuladores y dispositivos para recoger o trasladar material. El ROV representa por lo tanto, actualmente, el instrumento de mayor rendimiento para la identificación, la inspección visual y la realización de trabajos elementales sobre yacimientos arqueológicos.

Generalmente el ROV se compone de las siguientes partes:

- Un cabrestante hidráulico con cable eléctrico armado;
- Una unidad de gestión de superficie compuesta por diferentes elementos (tableros de control, monitor)
- Un vehículo dotado de propulsores;

El vehículo a su vez puede poseer una serie de instrumentos y aparatos operativos, lo más comunes se enumeran enseguida:

- Filmadora
- Cámara fotográfica
- Sonar
- Altímetro

- Ecosonda
- Manipuladores
- Faros

Normalmente para tener las precisas coordenadas geográficas del vehículo en inmersión y, por lo tanto, poder seguir la posición del ROV estando a borde de la embarcación, llevar el vehículo sobre el travet por explorar o hacerlo recorrer las rutas establecidas en el plano de Surrey, es montado sobre el vehículo un transponder que, gracias al sistema denominado base corta, logra suministrar de continuo sobre los monitor, la posición del medio en inmersión.

6. EL TÍBER Y LOS PUERTOS FLUVIALES EN LA ANTIGUA ROMA

Por todos es conocido el papel fundamental de los ríos en el nacimiento de las ciudades y en la realización de intensos intercambios comerciales y culturales. Se sabe asimismo la importancia del Tíber en la historia de Roma, importancia ya celebrada por los autores antiguos.



Fig. 67:
Boca del Río Tiber: los puertos enarenados de Claudio y Traiano

Una serie de factores geográficos y ambientales determinaron la elección de este lugar estratégico para la fundación de la ciudad. En efecto, la conformación del suelo permitía asentamientos sobre colinas de control, de baluarte y defensa de los vados de las antiguas vías de comercio y el régimen del río torrencial, irregular, a menudo violentamente destructivo, no desmotivó estas actividades.

El Tíber fue por siglos la principal vía de comunicación comercial, militar y económica de la ciudad. Los materiales y las mercancías más variadas llegaban

aquí desde cualquier parte del mundo hasta entonces conocido. Precisamente el uso comercial del Tíber hizo que en Roma se iniciara, bien pronto, una ramificada organización para la gestión de las áreas portuarias y del mecanismo de conexión entre las ciudades y las rutas comerciales del Mediterráneo. Pero, antes de organizar y adecuar las estructuras de lo que sería el gran puerto fluvial de la ciudad, fue necesario intervenir para regularizar el curso del río que - especialmente en el área de la ciudad - expandía sus aguas en los valles ubicados entre las colinas, transformándolos a menudo en amplios e insalubres pantanos. Naturalmente la misma expansión de construcciones en la ciudad, y por lo tanto la necesidad de una adecuada urbanización, requirió obras de limpieza y drenaje, realizadas a través de un complejo sistema de canales y de cloacas que constituyeron una de las primeras intervenciones macizas de transformación del suelo de la ciudad.

Según la tradición, el problema fue afrontado en el tiempo de los reyes de Roma. La construcción de la Cloaca Máxima, receptaculum ómnium purgatorum urbis, dio inicio al saneamiento higiénico y ambiental que posteriormente fue potenciado y se le dio una ramificada organización¹⁵.

En un primer momento la canalización tuvo la única función de recolectar la descarga de las aguas lluvias, aluviales y de manantiales y, sólo posteriormente, manteniendo su función primaria, recogieron también las aguas de descarga de edificios públicos y privados y aquéllas que llegaban a Roma a través de los acueductos. A causa del aumento de los niveles del suelo, los canales se convirtieron en verdaderas cloacas subterráneas. Los conductos del alcantarillado llegaban al Tíber a lo largo de las dos riberas y se acumulaban en las estructuras portuarias y en los muros de defensa por debajo de los edificios ribereños, los cuales eran generalmente construidos de manera que permitieran el acceso a dichos conductos y por ende a la manutención.

Fig. 68:

Dársena hexagonal del puerto de Traiano



15. Propert. IV, 9,5 Tibull., II, 5,33; Varro, De lingua lat., V 43; cfr. BdN, 2/3, pp 21-81

El sistema de alcantarillado fue ampliado a través de los siglos hasta representar una compleja red de canales admirablemente realizada. Muchas de estas conducciones fueron utilizadas –conjuntamente con otras construidas posteriormente- hasta 1890 cuando la construcción de los modernos muros de contención transformó completamente las dos riberas del río.

Hoy es posible, a través de un recorrido histórico, tener una visión de la sucesión de construcciones de las diversas áreas portuarias y su progresivo crecimiento con relación al desarrollo económico y comercial de la ciudad misma.

Los restos hasta ahora identificados en el río y en las áreas inundables, se refieren a estructuras de varias épocas que se han conectado poco a poco creando una sola y, quizá, no interrumpida serie de obras portuarias a lo largo de las riberas del río. Estas sucesivas ampliaciones y reestructuraciones fueron, obviamente, dictadas por el aumento de la necesidad de provisiones y de tráfico comercial. En consecuencia, por lo menos en época imperial, un largo y no interrumpido puerto fluvial se articulaba sobre las riberas del río, conectándose con los barrios comerciales y las áreas de depósito de Roma.



Fig. 69:

Nave oneraria y lenuncolo en area portuaria
(mosaico de Ravenna)



Fig. 70:

Lenuncolo sobre tablillas de arcilla
de la necropolis de Puerto (Roma)

Para las primeras fases de vida de la ciudad con frecuencia los únicos testimonios los dan los autores antiguos y sólo raramente los hallazgos. Estos primeros e importantes núcleos de anclaje debían estar conectados, pero a menudo también cancelados en sucesión cronológica por las posteriores instalaciones. Probablemente el primero y más antiguo puerto fluvial de Roma fue el Portus Tiberinus que se puede localizar en el área del frente de la iglesia de Santa Maria en Cosmedin. Surgía sobre un amplio recodo del río, hoy desaparecido, que probablemente fue modificado para crear un área de forma cuadrangular.

A través de noticias de autores antiguos¹⁶ y testimonios epigráficos sabemos que el el Portus Tiberinus era conectado al templo de Portunus por el cual el 17 de agosto se celebraban las Portunalia ad pontem Aemilium.

Los descubrimientos efectuados con ocasión de las construcciones de los muros de contención del ochocientos y las excavaciones posteriores, hasta las más recientes y amplias en el área del Foro Boario, dirigidos por por Colini, han permitido confirmar la tradición de las fuentes e identificar las estructuras del puerto, posteriormente canceladas por construcciones imperiales y, por lo tanto, abandonadas. Por las fuentes sabemos que la cuenca debía ser delimitada aguas abajo en Ponte Emilio hasta aguas arriba en Ponte Fabricio, ocupando, por lo tanto, un espacio de cerca 8.000 m².

Durante las excavaciones efectuadas por Lanciani se encontraron amplios restos de diques en opus quadratum (sistema de construcción e la antigua Roma, consistente en bloques cuadrados en forma paralelepípeda de altura homogénea) de toba de Grottaoscura, fechados en el 179 a.C., conectados con las estructuras terminales de la Cloaca Máxima. Según la nota de Lanciani, en esta zona se construyó un largo muro de contención que se conectaba con las obras correspondientes a la Cloaca y que, continuando en ángulo recto hacia el interior, debía crear el confín aguas abajo de un amplio muelle fluvial en el cual debía estar ubicado el puerto.

Fig. 71:
Representación de una operación
de carga entre una nave fluvial y
una marina, Ostia (Roma),
Piazzale delle Corporazioni



Durante los recientes trabajos dirigidos por la Oficina “Tevere del Genio Civile” para la realización de la plataforma del muro de contención del lado derecho, abajo de la Cloaca Máxima, aparecieron a lo largo del cauce del río algunas decenas de

16. Varro. De lingua let. VI, 19

metros de muro en opus quadratum, que continúan hacia el valle. La estructura en bloques de toba de Grottaoscura es idéntica a aquélla anteriormente señalada y conserva una serie de contrafuertes transversales. Esta serie de restos, conectados con otros más que se encuentran aguas abajo y sobre las dos riberas, hace pensar en la construcción, en época monárquica, de una defensa de la orilla con plataformas, constituida por un largo y robusto murallón de andadura irregular, que favorecía zonas de anclaje en el muelle y defensas contra la acción de la corriente.

Objeto de disputas entre los topógrafos es la localización de los Navalía Superiora y de los Navalía Inferiora, polos portuarios cuyos restos fueron quizás trastornados y absorbidos por las transformaciones de la construcción de la época imperial.

Los Navalía Inferiora deben quizás localizarse en el área entre el Foro Boario y la parte inferior del Aventino, mientras que los Navalía Superiora, en el Campo Marzio.

Muchos autores, entre los cuales J. Le Gall¹⁷, son propensos a considerar los Navalía como una única instalación portuaria localizada aproximadamente en el trayecto de aguas debajo de Ponte Elio, en el área de Campo Marzio¹⁸.

A este puerto, que en la primera fase republicana era caracterizado por la presencia de un arsenal, según la tradición, fueron llevadas las naves de Anzio (337 a.C.) cuyos espolones fueron colocados en el Foro Romano¹⁹. Según Procopio [20] allí estaba conservada la gran nave de Eneas. Además en el 167 a.C. fueron ancladas las naves que habían sido arrebatadas a los macedonios. Esta instalación portuaria no debía ser limitada a una larga plataforma, sino que debía necesariamente ocupar una amplia zona en tierra, donde posiblemente estaban construidos los arsenales. En todo caso, cuando entraron en desuso por las nuevas transformaciones de la construcción, o por la reorganización del sistema portuario romano y por las grandiosas construcciones de la época imperial, no perdió completamente su función original y, probablemente, siguió siendo una meta ciudadana de la navegación comercial, después conectada con el trayecto aguas arriba de la cuenca del Tíber.

Algunos autores han visto en los restos de un muelle identificado a lo largo de la ribera izquierda, en Tor di Nona -hoy desaparecido- los restos de los Navalía. Durante las excavaciones para la adecuación de los diques realizada en el 800 de los diques, se encontró una estructura en opus quadratum de toba de Grottaoscura y del Aniene, datada a finales del II Siglo a.C. conectados al muro en toba, se encontraron un largo andén y una empalizada, talvez de época posterior, para

17. J. Le Gall, *Le Tibre feluve de Rome dans l'antiquité*, París, 1953

18. Como recuerda Livio, de frente a los campos de Cincinnato: Liv., III, 26.

19. Liv., VIII, 14, 12.

20. Bell. Goth., IV, 22, 8.

poner también en relación con las obras de adecuación de la ribera, realizadas con ocasión de la construcción de Ponte Elio.

Fig. 72:

Representación de una nave caudicaria en el cipo de Simmaco, Museo Nacional Romano (Roma)



Con el Programa de construcción para la adecuación de las dos riberas del río y de las áreas a éste conectadas, se tuvo una nueva e importante disposición del tramo fluvial de la ciudad. Las mayores obras, como nos testimonian las fuentes, se pueden agrupar en las dos décadas entre 193 y 174 a.C., comenzando por la construcción de la Porticus Aemilia, el más antiguo y conocido edificio-almacén ubicado en el área comprendida en un amplio recodo del río que coincide en la topografía moderna con el barrio Testaccio, reconocido en algunos fragmentos de la Forma Urbis severiana y localizado exactamente desde el Gatti, entre las actuales Vía Marmorata y Vía B. Franklin de la plaza del frente que mira hacia el Tíber: l'Emporium. Este valle plano, perteneciente a la Regio XIII Aventinus, desde finales del siglo III a.C. ya había sido elegido como escala y clasificación de las mercancías, dada su posición descentralizada respecto a la ciudad y de fácil acceso para aquéllos que desde Ostia subían por el Tíber.

Aumentando la necesidad de almacenar un volumen de mercancías, que iba siendo cada vez mayor con el aumento de los habitantes de la ciudad, el barrio se fue cubriendo de grandes edificios de mampostería de proporciones a menudo monumentales, utilizados como almacenes.

En esta zona, en 1868, las excavaciones de Bruzza sacaron a la luz una serie de muros de contención en mampostería de la época de Trajano, que se conservan casi intactos bajo una robusta estratificación de detritos y arenas fluviales. A causa de aluviones posteriores al descubrimiento y al total abandono de

mamosterías no sometidas a restauraciones de conservación, gran parte de las estructuras fueron destruidas y cuando, en los años cincuenta del siglo pasado, se realizaron obras de defensa de las riberas del río, no se recuperaron sino unos pocos restos, mientras que se tuvo la oportunidad de explorar parte de la orilla con el consiguiente encuentro de ulteriores trechos de andenes y almacenes.



Fig. 73:
Investigaciones subacuáticas
en el Rio Tiber, Ostia (Roma)

A continuación de los nuevos trabajos de adecuación de las orillas, en 1979-1980, se identificó un ulterior grupo de edificios de varias épocas, ya parcialmente visto, inmediatamente después del actual puente Sublicio. Se trataba principalmente de un complejo edilicio con numerosos espacios distribuidos simétricamente sobre varios pisos que se abren sobre un largo túnel. Es muy probable que en este trecho de orilla, en la fase más antigua, el frente portuario fuese equipado con un muelle de piedra tallada con amarres de travertino en forma de cabeza de jabalí, como lo testimonian algunos restos identificados con ocasión de la construcción de los murallones del ochocientos, para delimitar una gran explanada sin pavimento, conectada con la Porticus Aemilia.

En un segundo momento, entre finales de la época de Traiano y el inicio de la de Adriano, se avanzó hacia el río con la construcción de una serie de cámaras cubiertas con bóvedas en cañón, construidas sobre un relleno de tierra compacta y cerradas hacia el Tíber por un grande murallón inclinado, hoy desaparecido.

La estructura obtenida de esta manera, fue pavimentada con adoquines de travertino y utilizada como plataforma de anclaje en periodos de crecida. La excavación de los varios ambientes y del túnel, permitió también dar una hipótesis sobre la localización de las oficinas del sistema puerto-almacenes; en efecto, entre los muchos objetos encontrados resulta de particular interés la presencia de numerosas monedas de bronce.



Fig. 74:

Colección de mármoles semi trabajados de las minas del Mediterráneo, Ostia (Roma)



Fig. 75:

Restos de grandes almacenes, Ostia (Roma)

El análisis de los datos obtenidos nos revela una serie de intervenciones en la construcción que han transformado varias veces todos los espacios del edificio, que, por ende, su uso y destinación debe haber cambiado varias veces, especialmente a causa de los daños causados por los desbordamientos del Tíber y por la gran cantidad de acumulación de sedimentos fluviales. Alrededor del IV-V siglo d.C. está documentado el cierre de los almacenes del primer piso, realizado intencionalmente a través de la descarga de materiales de desecho y escombros provenientes de las demoliciones de edificios de la contigua área comercial.

El área portuaria del valle de Testaccio se caracterizaba por la presencia de numerosos almacenes, los grandes horrea para el almacenamiento de las mercancías, con diferentes destinaciones, con relación al tipo de mercancía, tal como está claramente documentado por la exacta ubicación de numerosos fragmentos de la Forma Urbis. Documentaciones epigráficas y testimonios históricos de épocas diversas, nos transmiten nombres de puertos, en área urbana, que muchos autores relacionan, con justa razón, no a estructuras portuarias distintas sino a atracaderos especializados en la recepción y clasificación de particulares mercancías. Además, la misma colina del Testaccio da testimonio de la gran actividad comercial del Emporium. Dicha colina está, en efecto, conformada por la enorme acumulación (20.000 m² ca.) de fragmentos de ánforas rotas, utilizadas principalmente para el transporte del aceite²¹. Dichas ánforas, después de haber vaciado el contenido en los grandes contenedores de los horrea, se rompían y se botaban²². En las excavaciones de los ambientes del área portuaria del Testaccio se encontraron depósitos de ánforas²³ utilizadas

para el transporte del vino y del garum (salsa a base de pescado utilizada como condimento por los antiguos romanos) .



Fig. 76:
Barrio porteño
enarenado por las
inundaciones del
Tiber, Pietra di Papa
(Roma)

La afluencia al complejo portuario romano del Testaccio parece certificada hasta el VI – VII Siglo d.C. En estos siglos se llegó al completo abandono y al total desuso de los edificios, al punto que, entre los muros ya deteriorados, fueron excavadas simples sepulturas.



Fig. 77:
Plataformas y empalizadas
semisumergidos en el cauce
(Roma - Santa Passera)

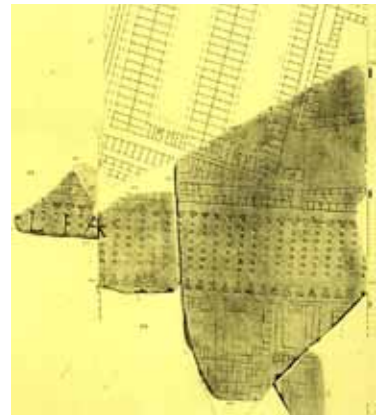
21. C. Rodríguez Almeida. Il Monte Testaccio. Ambiente, storia, materiali, Roma, 1984

22. Se trata sobre todo de ánforas globulares de tipo Dressel 20, que se pueden ubicar del I al III siglo d.C.

23. Sobre todo ánforas africanas y ánforas de producción egea que pueden ubicarse entre el II y el V siglo d.C.

Al inicio de la organización y de la utilización del río como vía de comunicación comercial y de transporte de pasajeros, se definían individuales y distintas áreas portuarias (Portus Tiberius, el Emporium y los Navalía). En la edad imperial, en particular en la edad de Trajano y Adriano, no podemos referirnos a dos polos portuarios, sino a una única cadena portuaria que inclusive iba más allá de la delimitación –fijada por motivos estratégicos y defensivos- de los muros de Aureliano. En sustancia, por fuera de la ciudad delimitada de esta manera y especialmente en el valle, existían muelles de anclaje y áreas dedicadas al depósito de mercancías. Los viejos complejos edilicios y los muelles realizados para la regulación de las llanuras de inundación, como ya se subrayó, fueron incluidos o también cancelados con las nuevas estructuras portuarias y, especialmente abajo de la ciudad, fueron predispuestos algunos muelles en nuevos trayectos de la orilla, conectados con vastas áreas de almacenamiento de las mercancías. Algunos atracaderos periféricos, conectados a pequeños conglomerados en las inmediaciones del área urbana, fueron alcanzados y conectados al eje del puerto fluvial de la ciudad. La estructura portuaria se dividía sobre los dos lados del río, desde Ponte Milvio, ininterrumpidamente, hasta la Magliana.

Fig. 78:
Losa marmorea de la Forma Urbis Romae,
al centro la Porticus Aemilia (Roma)



Es interesante recordar las amplias obras de canalización para la predisposición de atracaderos identificados sobre la orilla derecha, aguas arriba de Ponte Milvio, que representan, ciertamente, un polo primario de clasificación del tráfico comercial que conectaba, a través de la navegación del río, la ciudad con los territorios del interior, desde los cuales llegaban a Roma mercancías y productos de los cultivos y de las ganaderías.

Naturalmente la especialización y la utilización de las estructuras, variaba con relación a las zonas, así, por ejemplo, el trayecto entre Testaccio y Magliana, a

diferencia de la zona de Campo Marzio y de la Isla Tiberina, tenía una función principalmente comercial.



Fig. 79-80:
Rampas, plataformas y piedras de amarre
(Roma- Excavaciones Bruzza 1868)

Un interesante testimonio en este sentido está representado por una tableta de arcilla, hoy desaparecida, tapiada, en vista al río, sobre el terraplén-muelle excavado por Bruzza en la orilla izquierda en el Testaccio. En ella está representada un ánfora de tipo globular (probablemente una Dressel 20) utilizada para el transporte del aceite y constituye quizás el único testimonio de indicaciones puestas por los mercantes navales para la localización de los puntos de llegada, destinados al descargue y almacenamiento de los varios tipos de mercancías.

El intenso tráfico de embarcaciones sobre el Tíber, en la zona baja de la ciudad, y el sistema de subir por el río a remolque, que preveía -como recuerda Procopio- por lo menos dos paradas nocturnas a lo largo de las riberas en los 35 km. de recorrido desde el puerto marítimo, fortalecieron los asentamientos ribereños, los cuales tuvieron que organizar estaciones fluviales para poder hospedar las embarcaciones que allí paraban. Se puede presumir que estos puertos intermedios utilizaran en parte las precedentes instalaciones fluviales y conglomerados edilicios que, como sabemos, surgían a lo largo de las riberas del Tíber desde tiempos antiquísimos. De la misma manera sucedió posteriormente cuando en el medioevo se organizó el transporte a remolque para subir por el río utilizando los búfalos. En la toponimia, especialmente en los más antiguos mapas I.G.M. al 25.000, están posicionados los “bufalares” lugares de parada para el cambio de los animales y áreas denominadas “barco”, probablemente puntos de llegada, realizados utilizando antiguas instalaciones de la época romana.

Conectados con las instalaciones portuarias de la ciudad estaban naturalmente los atracaderos marítimos. Las primeras instalaciones y la disposición de una serie de atracaderos fluviales, se señalan en las bocas del Tíber donde fue fundada la ciudad de Ostia. Muy pronto se hizo necesaria una nueva fuente portuaria realizada en el norte de Ostia, en el 42 d.C., por el Emperador Claudio, no obstante el concepto contrario de los técnicos del tiempo que, con razón, preveían peligros de sedimentación. El puerto tomó el nombre de Portus Augusti Ostiensis y se desarrolló sobre una superficie de 80 hectáreas; Se caracterizaba por dos muelles fuera de la ciudad y por canales navegables artificiales en comunicación con el Tíber.

Fig. 81:
Restos del puerto fluvial de
Testaccio (Roma)



Pero sólo con la construcción del nuevo Puerto de Trajano, Roma pudo por fin establecer conexiones constantes y más seguras con el Mediterráneo y, principalmente, pudo disponer de nuevos y funcionales diques y dársenas en relación con los almacenes necesarios para el primer depósito de las mercancías y de los materiales. De particular interés es la tipología de los complejos destinados a almacenes que a menudo se desarrollaban sobre dos niveles y estaban conectados por largos túneles similares a aquéllos identificados en las recientes excavaciones realizadas sobre la ribera izquierda en el Testaccio y ya sumariamente descritos. El complejo que hizo construir Trajano estaba caracterizado por un dique exagonal de 32 hectáreas denominado Portus Traiani Felicis, conectado con el puerto de Claudio y, a través de un canal navegable, el flumen micinum -del cual toma el nombre el actual Fiumicino- con el Tíber. Entre las primeras dificultades que las embarcaciones encontraban al momento de subir por el Tíber estaba la de superar las “barreras” de depósito de desechos que se formaban en proximidad del acceso al río, y en efecto, el problema de

la manutención de las vías fluviales era de extrema importancia y requería una constante y precisa obra de manutención. Los desechos transportados por el Tíber, en el momento que cesó la continua obra de drenaje para favorecer el flujo de las aguas y la navegación de los barcos, fueron la causa principal de la lenta e inexorable sedimentación de las dos áreas portuarias que en época posterior fueron totalmente obstruidas por tierra y pantanos.

La documentación sobre las embarcaciones fluviales es suministrada tanto por las fuentes como por las representaciones sobre bajorrelieves y tablillas de arcilla²⁴. Dos tipos de embarcaciones a remo: las *scaphae* y los *lenuncoli* eran generalmente destinadas al servicio portuario y a los transportes en los diques internos, utilizadas también para el remolque en puerto de las grandes embarcaciones marítimas mercantiles romanas.

Una escena de “remolque” de una nave mercantil se encuentra claramente ilustrada en un mosaico, proveniente de Ravenna, donde, está representada, con lujo de detalles, una nave mercantil remolcada por una pequeña embarcación con tres remadores y un timonero en la popa. De la necrópolis de Porto proviene una tabla de arcilla que reproduce una análoga embarcación con remadores, comúnmente considerada como la representación de un ‘*lenunculus*’.

Las dos embarcaciones son a menudo mencionadas juntas y no hay certeza de poderlas distinguir. Los lintres eran otro tipo de nave fluvial pero empleadas para el transporte de mercancías y de pasajeros. Para los transportes de mayor responsabilidad se utilizaban, en cambio, las *naves caudicariae*²⁵, grandes naves fluviales de quilla plana.

Una fiel representación de este tipo de embarcaciones se encuentra esculpida sobre el lado de un cipo de mármol dedicado al emperador Constantino por parte de un Simmaco, Prefecto de la anona y conservado en el Museo Nacional Romano. La nave, equipada de timones laterales de pala, sin velas cuyo árbol podría ser un gran cabrestante con “pedarole” utilizado para las operaciones de carga y descarga; sobre la cubierta se encuentran alineadas algunas ánforas. En la proa está representado un ulterior árbol más corto, característico elemento utilizado para conectar las amarras a los bueyes en las fases de remolque.

La documentación sobre las embarcaciones fluviales es suministrada tanto por las fuentes como por las representaciones sobre bajorrelieves y tablillas de arcilla. Dos tipos de embarcaciones a remo: las *scaphae* y los *lenuncoli* eran generalmente destinadas al servicio portuario y a los transportes en los

24. Festus, de verb.signif.; Hor., Sat., I, V, 1-26; Ann. Maec., XIII; CIL XIV, 409 e 451

25. Sen., de brev. vitae, XII.

diques internos, utilizadas también para el remolque en puerto de las grandes embarcaciones marítimas mercantiles romanas.

Una escena de “remolque” de una nave mercantil se encuentra claramente ilustrada en un mosaico, proveniente de Ravenna, donde, está representada, con lujo de detalles, una nave mercantil remolcada por una pequeña embarcación con tres remadores y un timonero en la popa. De la necrópolis de Porto proviene una tabla de arcilla que reproduce una análoga embarcación con remadores, comúnmente considerada como la representación de un ‘*lenunculus*’.

Las dos embarcaciones son a menudo mencionadas juntas y no hay certeza de poderlas distinguir. Los lintres eran otro tipo de nave fluvial pero empleadas para el transporte de mercancías y de pasajeros. Para los transportes de mayor responsabilidad se utilizaban, en cambio, las naves *caudicariae*, grandes naves fluviales de quilla plana.

Una fiel representación de este tipo de embarcaciones se encuentra esculpida sobre el lado de un cipo de mármol dedicado al emperador Constantino por parte de un Simmaco, Prefecto de la anona y conservado en el Museo Nacional Romano. La nave, equipada de timones laterales de pala, sin velas cuyo árbol podría ser un gran cabrestante con “pedarole” utilizado para las operaciones de carga y descarga; sobre la cubierta se encuentran alineadas algunas ánforas. En la proa está representado un ulterior árbol más corto, característico elemento utilizado para conectar las amarras a los bueyes en las fases de remolque.

Actividades artesanales, también a nivel industrial eran especializadas en la construcción, en el almacenamiento y en la reparación de las embarcaciones. Estaban, por ejemplo los *fabri navales* (carpinteros navales), los *stuppatores* (encargado del calafateo), i *velarii* (fabricantes de velas).

Mientras las pequeñas embarcaciones se movían gracias a la fuerza de los remos, las naves mercantiles y las naves de guerra subían por el río con el sistema del acarreo, es decir el remolque por la orilla; está comprobada la existencia de una específica corporación dedicada a esta función, denominada de los “*caudicarii*”²⁶. Los asentamientos ribereños preveían estaciones para hospedar las embarcaciones que paraban a hacer una pausa. En estas instalaciones no faltaban, especialmente en la época imperial, cuerpos de vigilancia estatal contra incendios, robos y daños.

Con relación a las demandas del gran mercado romano, se habían constituido importantes empresas comerciales especializadas en el comercio de los

26. Procopio, en el VI sec. d.C., con ocasión de las guerras góticas, describe el sistema del remolque, contando que una vía plana y carente de obstáculos partía desde el puerto bordeando el río hasta Roma.

diferentes productos y, paralelamente, numerosas empresas de transporte. Estas organizaciones tenían oficina de representación en los más importantes puertos del Mediterráneo. Importante testimonio arqueológico a este propósito es el Piazzale delle Corporazioni en Ostia, donde son todavía reconocibles las oficinas de representación de los diversos transportadores, cuyos pisos en mosaico conservan en las decoraciones referencias precisas a mercancías y a lugares de proveniencia.



Fig. 82:
El criptoportico del puerto fluvial
(Roma -Testaccio)

Tenemos noticias de una oficina especial dirigida por funcionarios estatales encargados del cuidado y la manutención del río, de las estructuras ribereñas y de las actividades conectadas a éstas. Svetonio²⁷ indica a Augusto como el creador de una oficina cuyos responsables eran llamados *curatores riparum et alvei Tiberis*, posteriormente también *cloacarum urbis*. Para la reglamentación de las riberas se recurría a grandes cipos de delimitación en piedra que llevaban los nombres de los *curatores* y las distancias. Mientras el cauce era de propiedad del Estado, las riberas eran de propiedad privada aunque, después posicionar los cipos, estaban bajo el control de los *curatores* ya que estaban sujetas a una especie de paso y de uso. El orden de los puertos era regido por la administración que establecía los puntos de anclaje y controlaba las entradas y las salidas de las mercancías y de las embarcaciones. A la misma administración pertenecía el personal encargado de cobrar los impuestos, los derechos portuarios y los aduaneros y de cobrar portoria

27. Suet., Aug., 379.

que variaban según las zonas. Otro personal estaba encargado de las operaciones de movimiento de las mercancías: los *saccarii* llevaban las mercancías en los hombros, los *palancarii* se ayudaban con una carreta, otros eran encargados de las maniobras de las máquinas para levantar, mientras que los *mensores* medían el contenido y la calidad de las mercancías. Sabemos también de la existencia de verdaderos y propios buzos reunidos en corporación, los *urinators*, encargados de recuperar las mercancías que caían accidentalmente en agua durante las operaciones de carga y descarga así como las ánforas hundidas con las embarcaciones en las cuencas portuarias a profundidades accesibles para operadores a pulmón.

Llegaban por el río grandes cantidades de cereales desde Egipto, España, Galia, Sicilia y Cerdeña. El aceite, utilizado también para la iluminación, provenía de España, Grecia y África septentrional. Otros productos importantes eran el vino, la carne, los quesos y el *garum*. (salsa a base de pescado usada por los antiguos romanos como condimento). Estaban luego las vajillas, las telas, los vestidos, los metales y la madera. Por lo que respecta a los mármoles y a las otras piedras para la construcción, debido a su particular peso, eran transportadas con naves especiales llamadas naves *lapidariae*. Las áreas de recolección y depósito de los mármoles en bruto, provenientes de todas las regiones del imperio, fueron localizadas en el área portuaria de Claudio y Trajano, en las cercanías de S. Paolo, en el Emporio y en el Campo Marzio.

Recientemente, en el *antiquarium degli scavi* de Ostia, se recogieron numerosos hallazgos de mármol recuperados en las riberas del canal de Fiumicino y en numerosas zonas del área portuaria. El material, ordenado según las áreas de proveniencia y con la indicación de las canteras, representa una preciosísima colección de elementos semielaborados de columnas, arquivoltas, capiteles y bloques, moldeados por disposición de los arquitectos proyectistas, que no fueron nunca utilizados y fueron abandonados desde época antigua.

La presencia de grandes sedimentos de arcilla “*figulina*” favoreció el nacimiento de hornos, también a nivel industrial, sobre las colinas del Gianicolo y en el valle del Vaticano con la producciones de ladrillos para la construcción y vajillas en terracota que eran enviados a numerosas localidades del Mediterráneo.

En la ladera oriental del Gianicolo se localizaron algunos hornos que producían vajillas en terracota y en particular candiles. Algunos candiles fabricados sobre la colina que llevaban la marca C.OPPI.RES fueron encontrados durante las excavaciones de sitios arqueológicos de época romana localizados en área Mediterránea.

Las naves que llegaban a Roma cargadas de mercancías, eran a menudo utilizadas para el transporte de productos locales.

Siempre utilizando la vía fluvial, se comercializaban los productos para la

construcción utilizando la extracción de la toba proveniente de las canteras de Grottaoscura, del Aniene, de Monteverde, de Albano (peperino) y de la piedra calcárea: el travertino.

Cuando llegó a faltar el cuidado y la manutención del río, éste retomó nuevamente, como en tiempos antiquísimos, la ventaja sobre las obras del hombre. Los fenómenos de decadencia de todo el curso fueron causados, sobre todo, por el avance de la desembocadura –con consecuentes acumulaciones de los detritos arenosos a lo largo del canal de Ostia y en el Puerto de Claudio- y por las continuas desviaciones del cauce a continuación de las inundaciones anuales. En Ostia, antes de la reapertura de la Fossa Traiana, en 1583, luego de un violento aluvión, el río cambió su curso abandonando, en 1557, un grande recodo en el castillo de la ciudad, que había sido construido como primer baluarte de defensa contra quien, a través del río, pretendía llegar a Roma.



Fig. 83:
Excavación en los
almacenes del puerto y
hallazgo de ánforas

Después de un largo período de abandono en época medieval, la actividad a lo largo del río se retomó, como lo testimonian los “Estatutos de Ripa y de Ripetta”, redactados en un código membranáceo, que fijaban y reglamentaban, desde 1416, la renovada actividad aduanera y comercial de los dos puertos ciudadanos que podemos definir descendientes ideales de los Navalía. En los estatutos se habla del puerto de “Ripa Romea” (ubicado un poco más debajo de la actual Porta Portuense), utilizado cuando los atracaderos, a lo largo de la ribera izquierda del lado de Testaccio, fueron definitivamente abandonados. Los peregrinos que llegaban a Roma encontraban más sencillo desembarcar sobre la ribera derecha

para llegar a pie, a través del Tíber, a la tumba de Pietro. En 1642, Urbano VIII modificó el recorrido de los muros en este sector y los atracaderos de Ripa Romea se encontraron, por lo tanto, por fuera y particularmente expuestos. Por este motivo, en 1692, el puerto es trasladado más arriba, siempre sobre la ribera derecha, en la zona denominada de Ripa Grande, caracterizada posteriormente por la presencia del Hospicio de S. Michele.

El puerto de Ripetta, localizado arriba de la Isla Tiberina, fue construido en 1704, en la ribera izquierda, sobre las estructuras de un área portuaria mucho más antigua, y sirvió principalmente para las conexiones con la parte central de Italia.

El remolque de las naves con el sistema del acarreo era practicado por la desembocadura en el puerto Ripa Grande y desde el puerto Ripetta a los últimos atracaderos después de la localidad de Borghetto. El remolque utilizaba bueyes y hombres que a menudo eran detenidos, empleados en este duro servicio.

7. EL TÍBER CONTENEDOR DE HALLAZGOS ARQUEOLÓGICOS

Milenios de historia, de vida y de tráficos fluviales vividos en primera persona por el río Tíber han dejado imprevisibles documentos celados profundamente en las arenas fangosas de su cauce, verdadero y propio contenedor de testimonios históricos y arqueológicos. Si imaginariamente se pudiera efectuar una serie estratificada de los sedimentos profundos del río, podríamos, con seguridad, reconstruir con riqueza de detalles la historia de su larguísima utilización como vía de los comercios, así como la historia de los hombres que disfrutaron las aguas como medio privilegiado de comunicación con el mundo entero. Es natural que los testimonios que pudiesen surgir del río se referirían a los acontecimientos más remotos, pero también a aquéllos cercanos a nosotros e, inclusive, inherentes a los últimos acontecimientos bélicos, como sucedió hace ya muchos años, cuando las tenazas de una draga recuperaron armas y andrajos de uniformes pertenecientes a los combatientes en ruta de la República romana de 1848.

Testimonios de la vida cotidiana romana y medieval resurgen a causa de los nuevos trabajos de reparación del relieve del cauce, agregando otro material, a menudo óptimamente conservado, que nos ayuda a reconstruir los usos y las costumbres de la vida del Tíber; “navegado y pescado” a través de lo que -a causa de los acontecimientos remotos- de manera intencional o accidental, ha caído en el río.

De particular significado, como testimonio de la navegación comercial en el alto curso del Tíber, es la tablilla con ansas de bronce encontrada en el puente Vittorio

Emanuele: la inscripción es opistógrafa, escrita sobre las dos caras, y contiene los nombres de dos procuradores, uno después del otro, que tenían jurisdicción sobre tres praedia, haciendas imperiales, de Fidene, Rubensium (Saxa Rubra – Grotarossa) y Gallinarum Albarum, la hacienda de la Villa de Livia “ad Gallinas Albas” hoy Prima Porta. La tablilla en examen es el testimonio del normal uso de la vía acuática para el transporte de productos agrícolas que desde la circunscripción de Prima Porta-Grottarossa-Fidene llegaban a la ciudad destinados a abastecer los mercados urbanos. Las villas campestres eran también haciendas de producción, recolección y almacenamientos de los productos de las haciendas circunstantes.



Fig. 84:
Excavación en los almacenes del puerto y hallazgo de ánforas, Testaccio (Roma)

En la antigüedad, una admirable serie de obras hidráulicas permitieron el mejoramiento de las áreas deprimidas y pantanosas ubicadas a los pies de las colinas romanas, sujetas a los desbordamientos del Tíber. Estos canales y ductos construidos en épocas antiquísimas, permanecieron útiles por muchísimo tiempo y constituyeron luego los elementos principales de flujo conectados a toda la red de suministro de la ciudad de la época imperial.

Fig. 85:
Equipos para los dragados hidráulicos y sistema para la recuperación de material arqueológico



La Cloaca Máxima, receptaculum omnium purgamentorum urbis, era el principal y más conocido ducto subterráneo, monumental en la construcción en opus quadratum y caracterizado por una pavimentación en lastre travertino que recogía las aguas de descarga de los foros.

Pero la Cloaca Máxima no era la única cañería que llegaba al Tíber, porque sabemos bien que otros colectores análogos fueron realizados en el área de la ciudad en construcción, con el fin de beneficiar los lugares y hacer fluir las aguas residuales y las de los valles.

Es evidente, por lo tanto, que esta grandiosa red de drenajes llevase al río también una notable cantidad de detritos y de basura, comprendida una cantidad de objetos, a menudo pequeños, caídos accidentalmente o botados intencionalmente en las cañerías.

Fig. 86:

Collección de hallazgos en la criba rotativa con lavado a agua, Tiber (Roma)



Un testimonio interesante de la función de “recolector” ejercida también por las cañerías en el área de la ciudad, es aquella que surgió durante los trabajos de excavación de un ducto en los subterráneos del Coliseo.

Aquí, en efecto, en una época definible con precisión alrededor del V siglo d.C., a causa de la general decadencia del monumento y de la falta de manutención de las cañerías utilizadas como descarga, se recogieron y se conservaron por siglos, objetos y testimonios correspondientes a las actividades que se desarrollaban en los hipogeos con relación a la preparación de los espectáculos, a los combates de los gladiadores y a la caza simulada de animales. La acumulación de “basura” botada en las grandes cloacas ubicadas a lo largo de los ejes principales del anfiteatro, fueron selladas por una sucesión de depósitos constituida por una serie de sedimentos de arcilla fluvial, consecuencia de las múltiples inundaciones del

Tíber, cuyas aguas subieron por las cañerías creando, a causa de la presencia de numerosos detritos y acumulados, micro situaciones de aguas estancadas y por lo tanto la formación de fango flotante.

Esta particular condición ambiental ha permitido la conservación de los hallazgos que, de otra manera, se hubieran deteriorado como aquellos de madera, orgánicos y botánicos. Asociados a los objetos de uso cotidiano como candiles, vajillas, agujas y dados de juego, se han recuperado residuos de las comidas de los sirvientes que, entre otras cosas se alimentaban con la carne de los animales que morían en la arena. El análisis cuidadoso del material excavado ha restituido también centenares de fragmentos óseos pertenecientes a otras tantas especies de animales muertos durante los combates circenses y provenientes de los más diversos lugares del imperio romano.



Fig. 87:
Monedas y objetos de varias
épocas, Tíber (Roma)

Este testimonio arqueológico, que ha permitido adquirir tantas informaciones sobre la vida cotidiana del anfiteatro Flavio, nos permite entender mejor cuál era la mole de material que a través de la admirable red de cañerías y las grandes cloacas, llegaba al río y se sedimentaba en el cauce. La larga historia de la ciudad de Roma, ha registrado también tremendos momentos de destrucción y saqueos, cuando el imperio se encontraba ya en decadencia y no garantizaba la seguridad de los confines y de la misma capital. Con las devastaciones de los bárbaros ocupantes, iniciaron las demoliciones y los incendios; El Tíber resulta, a menudo, utilizado como descarga en un período de decadencia tanto de la ciudad como del admirable sistema de navegación fluvial conectado al grandioso sistema portuario que fue progresivamente abandonado. La falta de un constante cuidado del cauce del río y de obras de drenaje dirigidas a la navegación comercial, contribuyeron

al cambio de los flujos de corriente de las aguas que desencadenaron procesos y depósito de sedimentos así como profundas excavaciones del fondo.

El río, en diferentes épocas, ha restituido miles de hallazgos, muchos de ellos de notable interés; es suficiente revisar las listas de las proveniencias de los objetos conservados en el Museo Nacional Romano para tener un cuadro bastante completo de la función de recolector del Tíber.

De otra parte, durante el Medioevo, partes de estructuras arquitectónicas, columnas y material de desecho proveniente de edificios públicos y funerarios, se acumulaban a lo largo de las orillas del río para ser luego cargados sobre balsas y transportarlos a nuevas obras de construcción de iglesias y nuevos palacios de Roma. Una interesante historia es aquella relacionada con la construcción del Duomo de Orvieto que utilizó bloques de travertino sacados del Coliseo y mármoles de varias proveniencias que fueron transportados por el río.



Fig. 88:
Ancla en piedra de época romana,
Tíber (Roma)

Amenudo estas cargas, afortunadamente ensambladas sobre inadecuadas barcazas o balsas fluviales, naufragaban a causa del excesivo peso de los materiales y por la irregularidad de la corriente y en varias ocasiones fueron localizados verdaderos y propios “restos” cubiertos por el fango y por los sedimentos fluviales.

Durante algunos drenajes realizados en los años 50, al lado del área de la Basílica de S. Pablo, en la localidad de Mungiacco, se localizaron los restos de una barcaza de época medieval cargada de preciosos hallazgos arquitectónicos con bajorrelieves y estatuas en mármol provenientes de las demoliciones de tumbas y edificios de época romana, presentes a lo largo de las Vías Ostiense y Portuense. Una atenta investigación del fondo, realizada en el pasado también con el auxilio de buzos, aunque con dificultad por la escasísima visibilidad del agua, condujo a interesantes hallazgos, especialmente en las zonas donde anteriormente no se

habían efectuado grandes trabajos hidráulicos ni de drenaje.



Fig. 89:
Lámparas ex voto de plomo,
Tiber (Roma)

El importante acontecimiento, que interesó y transformó la ciudad de Roma y transformó también drásticamente el curso urbano del río, fue, como se sabe, la construcción de los muros de contención para la defensa de las inundaciones, realizada por voluntad del nuevo gobierno nacional a finales del ochocientos. La drástica intervención urbanística que llevó a una precisa delimitación del cauce, corrigiendo el curso original y eliminando la natural suntuosidad, requirió pesadas obras de demolición y excavación que transformaron completamente el particular paisaje edilicio de las riberas del río, haciendo desaparecer el precioso palimpsesto de edificios medievales y romanos. Los restos de los muelles portuarios y de los complejos edificios relacionados con la navegación antigua, fueron desmantelados para dar espacio a las obras de los cimientos de los muros de contención que delimitaron el río estableciendo un nuevo ancho de 120 metros. Esta poderosa actividad de excavación, que llevó a la pérdida de un ingente patrimonio arqueológico y a la radical transformación de la relación ciudad-río, tuvo un solo aspecto positivo y fue el hecho que, como consecuencia de los trabajos, surgieron una cantidad increíble de hallazgos arqueológicos muchos de ellos de grandísimo interés.

Entre 1879 y 1907 la actividad de las dragas flotantes necesarias para la remodelación del cauce y de los terrenos anegadizos, siguió las directivas de los ingenieros hidráulicos, empeñados en una obra que debería defender a la capital del reino de las continuas y devastadoras inundaciones del Tíber, las cuales transformaban continuamente las calles de Roma en canales navegables y

transportaban a la ciudad una innumerable cantidad de desechos. Se iniciaron asimismo las demoliciones de los “obstáculos” identificados en el cauce, que a menudo no eran otra cosa que restos de los pilares de antiguos puentes caídos o de los anclajes. De otra parte, ya los ingenieros militares, con el fin de facilitar la navegación de los barcos en el puerto de Ripa Grande en “Trastevere”, habían hecho saltar con dinamita los restante pilares del puente Silicio que se habían conservado a través de los siglos y que caracterizaban el paisaje fluvial alrededor de la Isla Tiberina.

El ensanchamiento del lecho del río, siguiendo la línea de los muros de contención en construcción, llevó al descubrimiento de importantes complejos edilicios de época romana como los ambientes de los frescos de la llamada villa de la Farnesina y el monumental sepulcro de los “Platorinos” luego desmontado y reconstruido en el Museo Nacional Romano.

La verdadera “cosecha arqueológica” llegó por el control de los sedimentos y de la arena dragada en el fondo, a diferentes profundidades, que restituyó miles de objetos de la vida cotidiana: desde los simples candiles en terracota hasta los preciosos objetos en oro de joyería romana. Se encontraron también cantidades impensables de monedas, muchas de ellas raras y preciosas, como aquellas 69 monedas de oro de los Emperadores Onorio y Arcadio, conservadas en un contenedor de loza y recuperadas en el agua en 1880 en los llamados Bagni di Donna Olimpia en el Ponte Rotto.



Fig. 90:
Varias tipologías de lámparas romanas y monedas, Isla Tiberina (Roma)

Se trató de organizar también una serie de investigaciones dirigidas a la recuperación y a la tutela de los restos, actividad que contó en primer plano con los arqueólogos de la época, abrumados por los acontecimientos y por las precisas disposiciones de los ingenieros hidráulicos y de las intransigentes disposiciones gubernamentales.

Se estaba entonces, muy lejos de la moderna filosofía de la arqueología preventiva; sabemos que los estudiosos y los cultores de la antigüedad que operaban en aquel período, tuvieron que aceptar pesadas imposiciones y asistir a la manipulación y remodelación de monumentos antiguos, especialmente puentes, que debían ser modificados con relación a las exigencias de las nuevas obras.

De esta manera, algunos puentes de época romana que habían permanecido casi intactos desde la época de su construcción, fueron modificados y ensanchados para permitir la conexión con los terraplenes-murallones.

Es necesario recordar la demolición de las dos rampas de acceso del puente de Castel S. Angelo, que reaparecieron intactas durante las excavaciones de los terrenos inundados, y su sustitución con otros arcos modernos. Asimismo, vale mencionar la más devastadora intervención sobre el puente Cestio (Isla Tiberina – Trastevere) que se cayó durante las obras de modificación y fue reconstruido agregando dos grandes arcadas en piedra travertina de imitación antigua.



Fig. 91:
Lámparas, objetos romanos y ex voto,
Isla Tiberina (Roma)

Uno de los más grandes estudiosos de topografía antigua, que trabajaba en

Roma en ese período, fue Rodolfo Lanciani quien obtuvo una notable mole de documentación y de datos sobre los edificios que eran identificados y luego demolidos. Es fundamental para el estudio de la topografía romana, la publicación del gran mapa monumental que reporta edificios de la antigua Roma identificados en aquellos años e integrados en la topografía de la ciudad del ochocientos, antes de las modificaciones urbanísticas ocurridas como consecuencia de la construcción de los muros de contención.

Fig. 92:
Cabeza de arcilla de las favissae del
Templo de Euscalapio, Isla Tiberina (Roma)



Lanciani experimentó dos tipos de investigaciones arqueológicas en el cauce del río después de las cuadrillas empeñadas en los trabajos hidráulicos. La primera investigación fue realizada en la primera arcada izquierda de Puente Sistro; en octubre de 1878 fue delimitada un área larga 20 metros y ancha 16 en la cual, mediante un dique provisional, fue desviada y luego eliminada el agua del río. Se pudo, de esta manera, proceder con una atenta excavación en seco que no tardó en restituir preciosos testimonios arqueológicos.

Ante todo se encontraron las estructuras caídas, en piedra de travertino, de uno de los arcos del antiguo puente Valentiniano, que conectaba el Campo Marzio con Trastevere, abatido en el año 782 d.C., asociadas a los restos del arco triunfal levantado en la orilla izquierda. No obstante la limitada área de excavación, se pudieron recuperar algunas preciosas partes de grandes estatuas de bronce pertenecientes a los grupos que debían sobrepasar el arco triunfal. De particular importancia es la cabeza con diadema que representa al emperador Valentiniano

y los restos de una estatua togada, en bronce dorado. En la misma circunstancia se recuperaron otros hallazgos en bronce que representaban un brazo, un pie con calzado y un ala de victoria.

La segunda intervención de recuperación se realizó en 1885 con ocasión del inicio de la construcción del puente Giuseppe Garibaldi. A cerca de 90 metros sobre la Isla Tiberina, durante la excavación de los cimientos del pilar central del puente, se descubrió una preciosa estatua de bronce que representaba un Baco joven, clavada en el cieno arenoso, bocabajo, a 5 metros por debajo del lecho del río. Además de la estatua, se descubrió una pátera de bronce dorado repujada, con diámetro de cerca 60 centímetros y luego la consabida cantidad de objetos y monedas de épocas diversas.



Fig. 93:

Busto en terracota con vísceras enfermas ex voto,
Isla Tiberina (Roma)

Entre 1881 y 1890, durante los trabajos a lo largo de las riberas y en el cauce del río, se recogieron cerca de 500 exvotos en terracota, provenientes en gran parte de las favissae de los santuarios de la Isla Tiberina; los más antiguos de éstos se remontan a la época entre IV y el II siglo a.C. Otros grandes núcleos se encontraron en el Foro Boario y en el trayecto contiguo a Puente Humberto. Los santuarios más importantes a los cuales se pueden conectar los exvotos son los de Esculapio en la Isla Tiberina y los santuarios de Ercole en el Foro Boario, cuyo culto era popularísimo y público, y de la Mater Matuta (área sagrada de S. Omobono) diosa de la maternidad, muy venerada en el Lazio.

Durante recientes investigaciones subacuáticas realizadas por la Superintendencia Arqueológica de Roma fueron localizados, en el pilar central del puente Fabricio, los restos de un molino flotante que se hundió en ese lugar, a causa de una crecida alrededor de 1885, denominado “muela de los hebreos”.

La invención de los molinos flotantes, según las fuentes antiguas, se remontarían al tiempo de las guerras Góticas cuando, a causa del corte de los acueductos, los romanos fueron obligados a usar la fuerza de la corriente del Tíber para mover las máquinas.

Esta característica estructura flotante hacía parte del paisaje romano hasta casi la víspera de los nuevos trabajos de terraplén; además, los grandes barcos flanqueados equipados de palas giratorias fueron usados hacia finales del siglo XIX y hoy representan un interesante documento de arqueología industrial, también porque casi todos conservaban desde centenares de años, mecanismos rudimentarios y engranajes similares a aquéllos diseñados por Leonardo da Vinci.

En el volumen “Ancient Rome” publicado en 1888 el arqueólogo afronta el problema de los descubrimientos tiberinos y de la entidad del patrimonio arqueológico custodiado en el cauce del río: “La construcción del terraplén del Tíber, continuada en el transcurso de los últimos diez años, ha probado, sin duda alguna, que nunca antes de nuestra época, se ha abierto a la ciencia una tan abundante mina de preciosas antigüedades; que el lecho del río tiene tal capacidad de absorción que puede custodiar obras de arte firme y delicadamente clavadas en sus arenas, pero no tan profundamente escondidas que puedan escapar a la búsqueda del hombre; que los objetos más pequeños no han sido llevados lejos por la violencia de la corriente y, por último, que si tuviésemos que reunir en un museo especial el contenido encontrado en el Tíber, este museo, ordenado en secciones cronológicas desde las primeras épocas, de la piedra, del bronce, del hierro, al pontificado de Pío IX, sería absolutamente incomparable en el mundo entero”.





**MATERIALES Y
METODOLOGÍAS PARA
LA CONSERVACIÓN EN
ARQUEOLOGÍA
SUBACUÁTICA**

COSTANTINO MEUCCI

INTRODUCCIÓN

Los materiales provenientes de excavaciones subacuáticas presentan problemas de conservación bastante particulares, no sólo por la saturación de agua, sino debido a que han sufrido en el curso de su yacimiento en un ambiente extremadamente agresivo, profundas transformaciones de su estructura y composición química.

Cada material presenta mecanismos de alteración estrechamente relacionados con su naturaleza química, pero también dependientes de la tecnología de producción y de la agresividad del ambiente. Basta pensar, por ejemplo, en las diferentes velocidades de corrosión que tienen en ambiente marino un bronce romano que contiene altos porcentajes de estaño y plomo y sólo impurezas de zinc y un bronce del ochocientos (fig. 1) en el cual las relaciones de concentración de las aleaciones se invierten.



Fig. 1:

Las claves de bronce del casco de Figarolo muestran una baja corrosión.

Consideraciones análogas, por otra parte, se pueden hacer para las piezas cerámicas en las cuales, para el mismo material de partida, la arcilla, es la tecnología de producción, entendida como la sumatoria de técnicas de elaboración que llevan a la realización del objeto terminado y que determina los mecanismos de degradación activos. En igualdad de ambientes de yacimiento, de hecho, un objeto poco o mal cocido se altera más rápidamente que una cerámica de paredes delgadas que fue expuesta a cocción en un horno tecnológicamente avanzado.

Los únicos materiales para los cuales esta regla no vale, pertenecen a dos clases totalmente diferentes entre ellos: las piedras naturales, que para su degradación son determinantes las características de composición y estructurales y los materiales orgánicos, que por sus naturaleza son extremadamente degradables en ambientes

húmedos. Para todos los materiales, en todo caso, vale el principio en base al cual el agua es el medio que activa los procesos de transformación y en el cual todo tipo de reacción química y bioquímica puede tener lugar. Todos los procesos de alteración de los materiales son atribuibles a reacciones químicas espontáneas más o menos complejas, en las cuales entran en juego los factores ambientales entre ellos compatibles. La corrosión de los metales es activada por el oxígeno disuelto en agua y es acelerada por la presencia de especies iónicas en solución (generalmente cloruros), mientras que es el dióxido de carbono (CO₂) el que desencadena los procesos de disolución química de los vidrios, de las cerámicas y de las piedras calcáreas con una velocidad directamente dependiente a su concentración. En los materiales orgánicos, los procesos degradantes siguen mecanismos más complejos, pero siempre basados en la presencia del agua como medio de reacción.

En la secuencia de operaciones que constituyen la intervención de conservación, el conocimiento de la composición y de la química de los materiales es fundamental para hacer las elecciones más aptas y funcionales para la correcta conservación del bien (Pearson 1975). Por otra parte se debe tener presente que las excavaciones arqueológicas alteran el equilibrio que el objeto había instaurado con el ambiente donde se encontraba y que los procesos de degradación activados por estas nuevas condiciones ambientales actúan sobre los sustratos, ya en parte modificados por el transcurrir del tiempo y, en consecuencia, más frágiles. Se vuelve, por lo tanto, fundamental que a la acción de la investigación arqueológica siga la de conservación, en el respecto de las líneas de conducta que en nuestro días ya no pueden hacer referencia al “sentido común” sino más bien a rigurosos criterios científico además que a un proyecto global que sea funcional para la conservación del hallazgo (Meucci, 2000) y por qué no, a su futura exposición en museo (Meucci, 1993). Con esta filosofía debe ser revisado el principio de la “pronta intervención” en fase de excavación, visto ya no como una aplicación de “recetas” para la restauración de objetos, sino como una de las fases necesarias e imprescindibles para efectuar lo que, con razón, es indicada como “conservación preventiva” (Melucco, 2000). Que ésta deba ser la tarea de un grupo interdisciplinario es talmente obvio como desatendido en la mayor parte de la realidad operativa, a pesar de las múltiples indicaciones surgidas en ese sentido en los numerosos congresos realizados sobre la “Field Archaeology”; hasta qué punto dicha praxis pueda representar un concreto y, a menudo insuperable, problema, es dramáticamente evidente en la excavación arqueológica subacuática.

Las experiencias maduradas en Italia en este sector específico son en realidad muy pocas, no obstante poderse jactar de las primeras intervenciones de recuperación de grandes embarcaciones dirigidas a la conservación, como aquélla de los Barcos

del lago de Nemi en la primera mitad del siglo pasado (Ucelli 1940) y también los importantes trabajos de excavación arqueológica y restauración durante la construcción del aeropuerto Leonardo da Vinci en Fiumicino en el área antiguamente ocupada por el Puerto de Claudio, que llevaron a la realización del primer museo de arqueología naval organizado con criterios modernos, precisamente, para los barcos de Fiumicino (Scrinari 1979).

Esta manera de proceder no correspondía, sin embargo, a una carencia de sensibilidad hacia las problemáticas de conservación por parte de los arqueólogos; al contrario las actividades de investigación desarrolladas por el Istituto di Studi Liguri desde 1960 habían involucrado frecuentemente al Instituto Central de Restauración, cuya competencia era cada vez puesta a disposición para la solución de problemas específicos. Sin embargo, es también cierto que en aquellos años la filosofía de intervención era completamente diferente, ya que la carencia de restauradores con la capacidad de operar directamente en el sitio del descubrimiento, es decir bajo el agua, imponía que la restauración fuera una práctica para llevarse a cabo sucesivamente a la excavación, al estudio y a la recuperación de los hallazgos. La conservación era, por consiguiente, la fase final de la intervención arqueológica, pero no parte integrante del programa de estudio e investigación.

Esto era ciertamente un límite, pero los tiempos aún no eran maduros para un cambio tan radical de la filosofía de intervención. Por otra parte, precisamente a partir de aquellos años, las numerosas campañas de excavaciones subacuáticas conducidas a lo largo de las costas italianas por misiones extranjeras, seguían la misma lógica experimentada ya con éxito en otros sitios del Mediterráneo: generar durante las campañas de excavación el proyecto de conservación para hacer seguir a la investigación arqueológica la intervención de restauración hasta la exposición de los hallazgos en los museos dedicados. Emblemática en ese sentido, fue la completa operación conducida sobre la balsa de Marsala por la arqueóloga Honor Frost (Frost 1981), con el fundamental apoyo de la Superintendencia arqueológica de Sicilia occidental, culminada con la creación de aquello que más recientemente se convirtió en el Museo arqueológico de Marsala (AA.VV. 1986), por otra parte, consecuencia lógica de una operación cultural más amplia iniciada en 1984 con la organización de una exposición en la "Iglesia del Colegio" en Marsala (Di Stefano 1984).

En los últimos dos decenios del siglo pasado se había comenzado a advertir un verdadero cambio en los procedimientos de intervención, tanto que a finales de 1979 el Instituto Central de la Restauración de Roma se dotó de una sección para la conservación de materiales arqueológicos subacuáticos, cuya finalidad principal era estudiar nuevas metodologías y materiales para efectuar las intervenciones de

conservación en materiales propios de la arqueología subacuática. El desarrollo operativo se tuvo, sin embargo, sólo a partir de 1981, como consecuencia directa del Primer Curso para Operadores de arqueología subacuática, organizado por el Ministerio para las Bienes y las Actividades Culturales (MIBAC) y coordinado por Claudio Mocchegiani Carpano. De hecho, fue en este ámbito que se sentaron las bases para un modo diferente de proceder con una primera serie de lecciones sobre las problemáticas de conservación relacionadas con la investigación subacuática, a las cuales siguieron luego diversas intervenciones sobre el campo hasta la obra de excavación y restauración del naufragio árabe-normando de Marsala en los años 1983-1986 (Ferroni & Meucci, 1996).

A pesar de este prometedor inicio, la situación actual presenta un sustancial estancamiento general, tanto en las intervenciones de excavación, como en las experiencias de conservación - salvo de aquéllas esporádicas y limitadas dirigidas por el Núcleo de intervención de el Instituto Superior para la Conservación y el Restauo (ISCR)- presumiblemente a causa de los limitados fondos destinados para dichas operaciones, pero también por la conciencia que la conservación de materiales saturados de agua requieren estructuras expresamente equipadas, además de una precisa y rígida programación de las intervenciones. Dicho concepto es talmente conocido y evidente, que ya desde hace casi treinta años en Francia no se recuperan más materiales si no existe la seguridad de su inmediata restauración, y, más recientemente en España se procedió a la creación de centros de conservación especializados en las actividades de restauración relacionadas con la investigación arqueológica subacuática.

Los criterios generales de intervención de conservación, de todas maneras, fueron bien delineados en el curso de varias experiencias formativas y de campo realizadas por el Istituto Central por el Restauo (ICR) hasta 1995. Al respecto, fue de particular importancia el Curso de formación de restauradores subacuáticos realizado por el Consorcio ISI con los fondos de la ley L.86/90 *Carta del Rischio* (Mapa del Riesgo) y dirigido por el ICR: en este ámbito todo el programa formativo tenía el objetivo de poner en práctica el conjunto de procedimientos de pronta intervención y de restauración de conservación, directamente aplicables en el curso de una obra de investigación arqueológica. El mismo material documental producido durante el desarrollo de la actividad, suministró la base de un manual de referencia para operaciones análogas¹.

1. Los actos de esta actividad formativa, aunque fueron redactados en su forma definitiva y corregidos en su segundo bosquejo hasta 1995, no llegaron a ser publicados por fútiles y capciosos motivos burocráticos; A hoy, de hecho, el proyecto no aparece terminado por defectos de prueba.

La secuencia de operaciones por completar puede ser perfectamente representada en el diagrama de flujo propuesto en la figura 2. De este esquema serán tratados, en esta sede, solamente las secciones cuya realización no implique necesariamente la presencia de personal especializado, sino el inevitable conocimiento de los procedimientos más idóneos para permitir la continuación de la actividad arqueológica, sin generar interferencia al proceso de conservación y ocasionar daños irreversibles en los objetos.

1. LOS MATERIALES OBJETO DE INTERVENCIÓN

Recorriendo la historia de la arqueología subacuática se evidencia que está fundada sobre un vasto número de descubrimientos, a menudo muy distintos entre ellos. En general, los yacimientos se pueden referir sólo a dos categorías: los sitios aislados, como son en su mayor parte los restos de naufragios y los yacimientos que, en cambio, tienen una relación directa con evidencias arqueológicas en tierra. Además, es evidente que si estas dos categorías comprenden una vasta gama de objetos, igualmente diferenciada será la variedad de los materiales utilizados para la realización de los mismos.

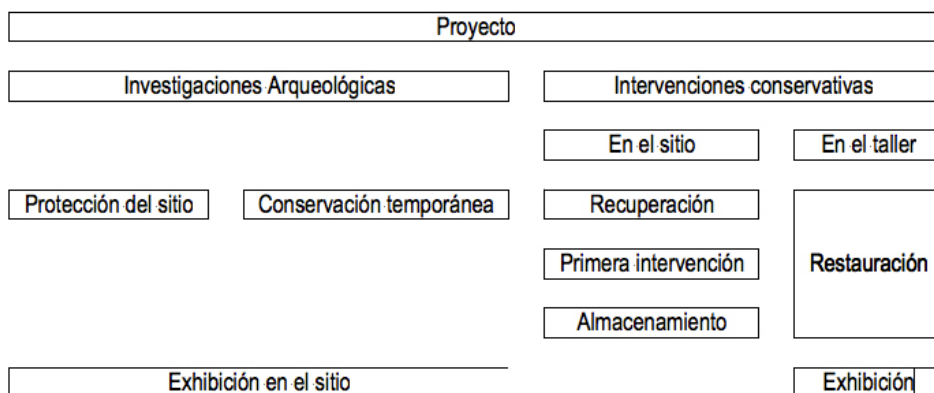


Fig. 2:

Diagrama de flujo de las operaciones a realizar en una intervención de arqueología conservativa.

Los yacimientos costeros de mayor homogeneidad en cuanto a materiales son aquellos que se refieren a centros urbanos o edificios sumergidos como consecuencia de variaciones de la línea de costa o por derrumbes o deslizamientos del terreno, pero también los estanques de peces y las estructuras portuarias

entran en esta categoría. Ejemplares son los sitios de Baia, una ciudad romana en cercanías de Pozzuoli en la Región Campania enterrada a 18-20 metros por efectos del bradiseísmo, relacionados con la actividad volcánica del Complejo Flegreo, pero también los muelles del Puerto de Nerón en Anzio o del antiguo puerto de Civitavecchia, ambos en la Región Lazio. De notable interés arqueológico y de igual dificultad para los aspectos de conservación, son los restos de la población de Nora en la provincia de Cagliari y las estructuras murales de la antigua Tarros en Oristano; ambos sitios se encuentran en el sur de la Región Cerdeña y deben su actual ubicación ambiental a una marcada variación del nivel del mar, que, en algunas zonas, ha alcanzado un valor de cerca 10-15 metros.

En este tipo de sitios los materiales más abandonados son específicamente aquellos de la edificación: piedras de diversa naturaleza, pero sobre todo extraídas de canteras cercanas a los sitios, mármoles de diferentes composiciones y procedencia geográfica son ciertamente los más comunes materiales de piedras naturales, pero abundan también los ladrillos, baldosas o tejas por ser materiales típicos de la edificación urbana y de monumentos. Además, análogamente a lo que sucede en los contextos de tierra, es posible encontrarse con mosaicos de piso y fragmentos de pinturas murales, conservados gracias a derrumbes de las estructuras elevadas y al cubrimiento natural de los restos por sedimentos transportados por el agua. Metales y cerámicas finas encuentran lugar en los estratos arqueológicos con las mismas modalidades de las excavaciones de tierra, así como los materiales orgánicos, referibles, en la mayor parte de los casos, a elementos de madera originariamente parte integrantes de las estructuras de muros o de los edificios.

Una mayor variedad de materiales pueden ser hallados en lugares aislados tales como anclajes y restos de naufragios, caracterizado por una elevada dispersión de despojos, los primeros, y por una concentración en una área más limitada, los segundos. En el caso de los anclajes y los reparos, los hallazgos arqueológicos son representados por objetos aislados, generalmente de pequeñas dimensiones: ánforas, jarras y anclas, pequeños objetos metálicos relacionados con la vida a bordo que se encuentran dispersos en el fondo del mar de manera casual, pero a menudo significativa. Una ordenada alineación de anclas a lo largo del borde de un derrumbe, por ejemplo, indica un lugar de anclajes frecuentado con una cierta continuidad, a menudo en un vasto arco temporal que será tarea del arqueólogo determinar, con base en la tipología de los hallazgos y con su datación relativa. Desde el punto de vista de la conservación, en cambio, la tarea es más ardua ya que, en la mayor parte de los casos, los objetos de arcilla se encuentran fragmentados y corroídos a causa de la exposición al ambiente, mientras los materiales metálicos presentan señales de una acentuada actividad de corrosión

debida a su misma posición en el fondo.

De mayor complejidad, pero también de mayor interés arqueológico y de conservación, son los hallazgos de embarcaciones que han naufragado con su carga completa: según las condiciones ambientales, de hecho, los contextos pueden ser conservados muy bien de manera que, más allá de los objetos pertinentes a la carga y de los objetos de bordo, se podrá encontrar la estructura de madera de la embarcación. Una oportunidad de estudio arqueológico de notable importancia, en cuanto se refiere a un contexto aislado y generalmente no contaminado de contribuciones externas, pero también un desafío de conservación de grandes dificultades por las implicaciones tecnológicas que conlleva un semejante contexto. Una situación bastante similar es, en conclusión, representada por los pueblos palafíticos en los cuales los materiales de madera son ciertamente predominantes mientras las piezas relacionadas con la vida cotidiana están uniformemente dispersas en toda el área; nuevamente se trata de una situación aislada pero caracterizada por un ciclo de vida bastante largo que conlleva variaciones ya sea de la planimetría de la instalación, que de la tecnología de producción de piezas en sí mismas. En tales situaciones es imprescindible que las decisiones para la conservación sean tomadas de acuerdo con el arqueólogo ya que éstas cambian y son determinadas por las características particulares de cada objeto, así como su composición material y tecnología de producción.

Es, por lo tanto, evidente que cada yacimiento presenta dificultades de conservación directamente relacionadas con la naturaleza y con la composición de los objetos que la constituyen, pero también con el estado de conservación de los materiales, cuya velocidad de alteración es directamente dependiente del equilibrio que cada material y todo el complejo han alcanzado con el ambiente de yacimiento durante el largo arco de tiempo transcurrido, desde el abandono del lugar hasta su descubrimiento y la excavación arqueológica.

2. EL AMBIENTE DEL YACIMIENTO

El estado de conservación de los materiales depende de las condiciones ambientales de los sitios de ubicación y del equilibrio que los materiales mismos establezcan con ellas. Por otra parte, es cierto que en los sitios subacuáticos están activos múltiples factores que influyen más o menos directamente en la velocidad de alteración de los materiales, condicionando los mecanismos de alteración o bien creando las condiciones favorables para que el proceso de degradación inicie.

Los factores ambientales mayormente activos respecto a la degradación son: la temperatura, la concentración de oxígeno, la concentración de dióxido de carbono

(CO₂), el grado de salinidad del agua, la luminosidad del ambiente subacuático, el nivel de acidez del agua, la naturaleza y la concentración de las especies biológicas, la profundidad de lugar, el movimiento ondoso y la velocidad de las corrientes y las características del fondo del mar.

Cada uno de ellos reacciona con mecanismos propios, pero todos están relacionados con una sinergia que amplifica, a menudo, los efectos sobre los materiales. Vale la pena examinar en detalle cada uno de los factores para tratar de llegar a una ley general que nos ponga en condiciones de identificar los mecanismos de degradación activos y, por consiguiente, de hacer las selecciones de conservación más apropiadas.

2.1. La Temperatura

Una de las leyes fundamentales de la física de fluidos dice que las partículas que constituyen la masa fluida están en un eterno movimiento con una velocidad que depende de su contenido de energía. El valor de esta energía, que se llama precisamente Energía Cinética, depende de las condiciones generales del ambiente y, por consiguiente, varía al cambiar las contribuciones de los parámetros individuales que hacen parte de este estado de equilibrio dinámico. Por otra parte es necesario tener siempre presente que la degradación de los materiales es el resultado de la acción combinada de factores químicos, físicos y biológicos cuya incidencia es múltiple y se basa en la afinidad que éstos mismos tienen con cada material más que en sus recíprocas interacciones.

Desde el punto de vista químico, ya que las alteraciones de los materiales son el resultado de reacciones químicas, es evidente que la variación de la temperatura del sistema influye directamente sobre la velocidad de las reacciones. Éstas, de hecho, son la consecuencia de “robos eficaces” entre las sustancias reactivas, que, en estas condiciones, entran en contacto y se combinan dando origen a nuevos compuestos. Se ha verificado que la frecuencia de tales combinaciones depende directamente de la energía cinética de cada partícula, o bien de la velocidad de sus movimientos casuales en la masa fluida, parece evidente cómo el aumento de la temperatura del sistema, causando un incremento de la energía cinética de las partículas, aumenta enormemente la probabilidad de que se verifiquen robos eficaces entre ellas, así que en consecuencia aumenta la velocidad de las reacciones químicas. Con base en estas consideraciones, es obvio que la velocidad de la degradación química es tanto menor cuanto más baja es la temperatura del ambiente, mientras al contrario, ella será máxima cuando la temperatura del ambiente subacuático alcanza valores elevados.

En el caso que la temperatura baje a bajo cero, se vuelven importantes los procesos físicos de variación de estado en el agua: es notable, de hecho, que la formación del hielo provoca un aumento de volumen de la masa, cuyos efectos se descargan directamente sobre la estructura interna del material saturado de agua. La formación de cristales de hielo, de hecho, genera presiones mecánicas que obran directamente en las paredes de los poros de los materiales provocando sus fisuras; en consecuencia el material pierde continuidad estructural y se debilita hasta desintegrarse del todo.

Es diferente el mecanismo de acción de los factores biológicos, ya que los efectos de la degradación por ellos causados son la consecuencia directa de la interacción química entre ellos y los materiales que los albergan. En los ambientes subacuáticos, de hecho, son comúnmente difundidas especies microbiológicas como algas y bacterias que se instalan dentro de la estructura de los materiales porosos donde desarrollan su actividad metabólica. El aumento de la temperatura del ambiente influye directamente en la velocidad de desarrollo de las especies biológicas, de tal manera que incrementa también la velocidad e impacto de su actividad metabólica, cuyos efectos pueden ser extremadamente destructivos en algunos materiales especialmente sensibles, como por ejemplo aquellos orgánicos. Por otra parte el descenso de la temperatura atrasa el proceso, tanto que, en el período invernal, la velocidad de degradación de los materiales causada por agentes biológicos alcanza su nivel mínimo, deteniéndose, a veces, inclusive del todo.

Los pueblos neolíticos del Lago de Varese

La campaña de detección del estado de conservación de los materiales de madera de los poblados palafíticos del lago de Varese en los años 2004-2005 (Meucci 2005), puso en marcha la ejecución de un proyecto de rehabilitación del lago que pretendía, a través de acciones específicas de oxigenación del agua y de eliminación del lodo del fondo, para recuperar la salud de la cuenca comenzando un proceso de lento regreso al estado precedente a su contaminación. Los datos experimentales adquiridos en el primer año de funcionamiento del proyecto indicaban, de hecho, una positiva tendencia a la rehabilitación del lago, confirmada además por un marcado incremento en el nivel de oxígeno del agua y por la disminución del grado de contaminación de elementos pesados del fango del fondo. En consecuencia, y como previsión de un posterior mejoramiento de las condiciones de oxigenación, la Superintendencia Arqueológica de Lombardía decidió verificar las eventuales variaciones del estado de conservación de los restos de madera de los poblados palafíticos presentes en la orilla del lago en una profundidad oscilante de mínimo

50 centímetros hasta un máximo de 4 metros aproximadamente.

La verificación habría implicado una investigación preliminar de sitios importantes desde la fuente, su preciso posicionamiento mediante georeferenciación y la determinación de su extensión de máxima. Posteriormente, muestras centradas en elementos de madera tomados como referencia en tres estaciones diferentes (invierno, primavera y verano) habrían permitido obtener datos analíticos cualitativos y cuantitativos bien sea de las especies microbiológicas instaladas como de las variaciones de la composición química y de la degradación de la madera.

La investigación preliminar efectuada mediante cámaras subacuáticas y la directa, a través de inmersiones dirigidas, permitieron identificar ocho sitios diferentes ubicados en correspondencia con los lugares indicados en la literatura y deducidos, gracias a la información obtenida de los pescadores locales. En particular fueron localizados los sitios de Bardello Ranchet y Bardello Stoppani, el poblado de Cazzago Ponti, los asentamientos de Bodio Central y Bodio Keller y finalmente una serie de lugares alrededor de la orilla de la Isla Virginia, que por sencillez fueron denominados Isla Sureste, Isla Central e Isla Noreste.

Con el fin de conducir la campaña analítica, en cada sitio fue identificado un elemento de madera, generalmente en posición central, al cual referir todos los datos de relieve y cuya posición fue posteriormente determinada mediante un GPS de precisión y relieve topográfico enganchado a la topografía del lugar. La comparación con el mapa del lago confirmó que la posición de los sitios era bastante cercana a la orilla, tanto que en algunos de los casos las cañas que la escondían cubrían el sitio mismo o parte de él. Por otra parte se encontró que la orilla había sufrido modificaciones en los últimos años a causa de las variaciones del nivel del lago, así que los asentamientos, originalmente en tierra, son hoy identificados con batimetrías que varían cerca de 20 cm. mínimo en el caso del asentamiento de Isla Central hasta un máximo de 230 cm. en el sitio de Cazzago Ponti. Además, las variaciones de altura parece que pueden ser también de carácter estacional, visto que el nivel del agua depende directamente de la abundancia de las precipitaciones y de los aportes hídricos de los canales de agua de afluentes torrenciales.

En el curso de las inmersiones se pudo constatar que los sitios estaban recubiertos uniformemente de una capa de limo delgado y extremadamente liviano que aunque cubriendo totalmente las cabezas de los palos, no llegaba a sellar la capa arqueológica; la consistencia limosa del depósito, de hecho, impidió la compactación, fenómeno que favorecería el aislamiento de la madera del ambiente circunstante. La sedimentación, de cualquier manera, crea una capa de espesor y consistencia variable con poco intercambio de oxígeno que genera condiciones de fuerte eutrofia. Por otra parte se pudo constatar que el espesor de la capa limosa se modificaba

con el tiempo en relación directa con las condiciones atmosféricas. En los meses invernales y sin viento el fango está bien sedimentado, mientras que, cuando el lago es movido por el viento proveniente del norte y se crea un mínimo movimiento de olas, la capa limosa se mezcla y se mueve dejando al descubierto, en algunos casos, la capa arqueológica.

La capa de conservación general de los asentamientos aparece fuertemente influenciada por las condiciones ambientales: la madera es poco compacta con una elevada fragilidad y tiende a fragmentarse con facilidad a la más mínima tensión mecánica. Por otra parte, la capa de limo está constantemente presente en cada estación y condición ambiental, con la única diferencia de la visibilidad, que resulta máxima en los períodos fríos, reduciéndose un poco más de diez centímetros en la estación caliente. En este período, además, se desarrollan algas verdes mucilaginosas que recubren uniformemente el fondo y los elementos de madera, contribuyendo notablemente a la reducción de la concentración de oxígeno disuelto. Está claro que esta condición es común a todos los sitios y que a ella se asocia el crecimiento anormal de extensas praderas de castañas de agua que echan sus raíces directamente en el fango del fondo contribuyendo notablemente a generar condiciones de fuerte anoxia.

Desde el punto de vista de la conservación aparente de la madera va subrayado el común estado de fragilidad y de degradación de todas las superficies expuestas, mientras en algunos casos el centro del elemento de madera muestra una dureza decididamente elevada. Evidentemente estas características particulares también están relacionadas con la naturaleza de la especie de la madera, más que con el nivel de contaminación del ambiente de yacimiento.

De acuerdo con las especificaciones del proyecto, los palos de referencia a los cuales se enganchó el levantamiento y los datos analíticos relativos al estado de conservación de la madera, fueron seleccionados de manera que representaran estadísticamente el asentamiento completo: posicionados lo más centrado posible y a una batimetría que fuera la más próxima al promedio del sitio. También las dimensiones del palo influyeron en la selección ya que se esperaba efectuar sobre él tres muestras diferentes en diferentes períodos del año. En particular, las tres series de muestras fueron tomadas los primeros meses del mes de noviembre de 2004, al final del mes de marzo de 2005 y los primeros meses de junio de 2005.

Las condiciones ambientales de los períodos eran tales que pudieran diferenciar las muestras en su base estacional; así la primera serie podía ser considerada invernal, mientras la segunda y la tercera podían representar la primavera y el verano respectivamente. La diferencia más evidente estaba en la temperatura del agua que pasaba de aproximadamente 8-10°C en el período invernal a 20-22°C

aproximadamente en el mes de junio, con oscilaciones mínimas en el período relacionado a esporádicos fenómenos meteorológicos como lluvia y viento. La relativamente baja inercia térmica del lago está relacionada con la poca profundidad de las situaciones de la orilla en las cuales la variación térmica resulta acentuada, así que los sitios que se encuentran en esta condición (Cazzago Ponti, Isla Central e Isla Noreste) son sujetos a un riesgo de degradación biológico mayor que aquellos que se encuentran a profundidades relativamente más elevadas.

Las muestras fueron tomadas con taladro manual de acero inoxidable de diámetro interno de 20 mm. y con penetración a percusión/rotación; la muestra así obtenida mantenía intacta la secuencia estratigráfica, pero sufría una compresión tal de los anillos de crecimiento que hacía imposible el análisis dendrocronológico. Al contrario, tanto las muestras para el análisis biológico, como aquellas para el análisis químico-físico podían ser fácilmente llevadas a cabo sobre muestras representativas de los diferentes niveles de la madera, del externo hacia el interno del palo. Las muestras eran recogidas en recipientes estériles, conservadas en refrigeradores a $T = 4^{\circ}\text{C}$ y por consiguiente llevadas, con máximo 48 horas, a los respectivos laboratorios de análisis.

Cada sitio era representado por una sigla unívoca como se indica en la tabla 1.

Muestra	Asentamiento	Características de la muestra
C1	Bardello Ranchet	Palo de sección triangular
C2	Bodio Keller	Palo de sección circular
C3	Cazzago Ponti	Palo de sección circular
C4	Bodio Central	Palo de sección circular
C5	Isla Sureste	Palo de sección circular
C6	Isla Noreste	Palo de sección circular
C7	Isla Central	Viga horizontal de palanca

Tabla 1:

Siglas de referencia de los palos de muestra

Los análisis microbiológicos hechos sobre muestras tomadas en palos de referencia² se centraron en dos capas diferentes del palo, el externo, directamente expuesto al ambiente acuático, y el interno, teóricamente más protegido del ataque de los biodeteriogenos con particular referencia a bacterias ligninolytic y celulosolíticas más que a hongos microscópicos.

2. Los análisis biológicos fueron realizados por EcoVEMA S.r.l.

Los análisis realizados sobre diferentes muestras confirmaron la total ausencia de bacterias lignilolytics en cada período del año independientemente de la posición de la toma, así que se podía excluir que la degradación de la lignina estuviera relacionado a un mecanismo enzimático. Por otra parte, la presencia de bacterias celulosolíticas (fig. 3) confirmaba que la degradación de la fracción de celulosa de la madera seguía también un trayecto bioquímico inducido o provocado por las reacciones de destrucción enzimática de la celulosa por acción de las bacterias asentadas en la madera.

Los valores encontrados indican que en el período invernal la actividad de las colonias de bacterias es uniforme en todas las muestras independientemente de su posición y de la profundidad del sitio. En la primera campaña los valores del interior y de la capa externa del palo son comparables, lo que confirma que el ataque es homogéneamente distribuido en toda la estructura celular de la madera. Cuando aumenta la temperatura la actividad promedio se reduce, pero se verifican anomalías en el comportamiento de los biodeteriogenos: frente a un alto incremento de la actividad en los sitios de Bodio Central, de Bodio Keller y de Isla Noreste, los otros sitios muestran, o concentraciones de colonias activas constantes, o bien su total restablecimiento. Esta tendencia es confirmada por los valores del período veraniego, durante el cual solamente los sitios de Cazzago Ponti y de Isla Central registran actividad bacteriana.

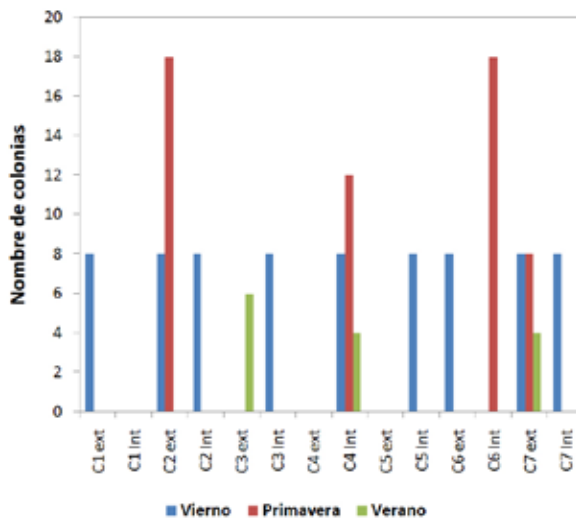


Fig. 3:
Variaciones de concentración de las bacterias celulosolíticas.

El dato parecería en contraste con la tendencia general de las especies microbiológicas a aumentar la proliferación con el aumento de la temperatura, pero es del todo coherente si se formula la hipótesis que las especies son

anaeróbicas. En este caso sería la drástica reducción del oxígeno disuelto a inhibir la actividad bacteriana a menos que los dos sitios de Cazzago Ponti e Isla Central, en los cuales, probablemente, particulares corrientes o aportes de agua corriente mantengan más altos los niveles de concentración de oxígeno.

Parece del todo casual la presencia de especies fungosas microscópicas, aunque su concentración en algunas muestras es absolutamente relevante. Las mayores concentraciones se encuentran en los sitios de Bardello Ranchet e Isla Central con valores generalmente descendentes al interno de las muestras y absolutamente menores en las estaciones más calientes, tanto que las tomas del mes de junio resultan exentas. La figura 2 muestra también que los dos sitios de Bodio Keller y de IslaNordeste están exentas de ataques fungosos, mientras el asentamiento de Bodio Central aparece medianamente contaminado de especies anaeróbicas.

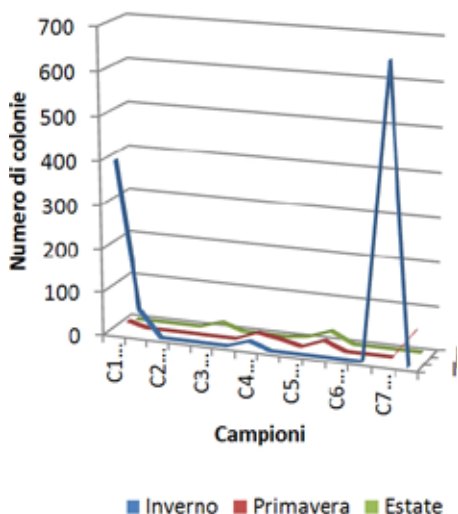


Fig. 4:
Variación estacional de concentración de las especies fungosas

Al contrario, el aumento en la abundancia de las especies fungosas en las muestras C3 y C5, en los períodos de mayor temperatura del agua hace formular la hipótesis que en los correspondientes sitios de Cazzago Ponti y de Isla Sureste, respectivamente, puedan ser asentadas especies especialmente anaeróbicas.

En el caso de los ambientes con presencia de praderas de Posidonia Oceánica, la temperatura del agua se convierte en un factor vinculante para el crecimiento de estas plantas, fundamental para el equilibrio bioquímico del ambiente, pero con

frecuencia también está directamente relacionado con la conservación indirecta de sitios arqueológicos. La planta instala su rizoma en el fondo del agua creando una compacta red de raíces que detienen los sedimentos en una capa compacta cuyo espesor tiende a aumentar con el tiempo. La estructura compacta que proviene toma el nombre de matte y está constituida por una mezcla íntima de rizomas muertos y sedimentos que, si se desarrolla en breve tiempo sobre un yacimiento arqueológico, contribuye a retardar todos los procesos de degradación de los materiales arqueológicos subyacentes. Por otra parte si los rizomas mueren, la mattese adelgaza y pierde los vínculos con el fondo, así que las piezas pueden fácilmente salir por efectos de la acción de las corrientes submarinas.

2.2. La Concentración del oxígeno

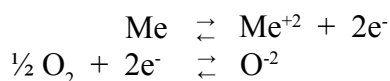
En los ambientes subacuáticos el oxígeno es la especie química que regula la mayor parte de los procesos en los que se basa la degradación de los materiales; obviamente su actividad varía con las condiciones generales del ambiente, pero es también función de su concentración en el medio acuático así como los efectos de su presencia dependen de su afinidad química con los diferentes materiales.

En el ámbito de la degradación provocada por especies biológicas es evidente que el oxígeno juega un papel fundamental en todos los casos en los cuales la actividad metabólica es aeróbica; en estas condiciones el oxígeno entra en los procesos vitales de los organismos y regula el desarrollo y el crecimiento. Anteriormente se vio cómo en la situación generalmente eutrófica del lago de Varese la concentración de oxígeno regula el desarrollo de las especies bacterianas y fungosas asentadas en la madera y por consiguiente, se convierte en la causa primaria de la degradación de las estructuras de madera de los poblados palafíticos ya sea en las condiciones anaeróbicas del período invernal, que en aquéllas marcadamente anóxicas de la estación caliente. Obviamente en un ambiente con mayor intercambio de agua la condición de anoxia se alcanza con mayor dificultad, a menos que las condiciones particulares del fondo o de contaminación y por consiguiente la actividad biológica se vuelve más importante y mayormente diversificada.

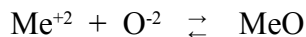
En los ambientes marinos la presencia de la posidonia oceánica permite mantener la concentración de oxígeno disuelto, en valores casi constantes, gracias a la actividad fotosintética que ésta desarrolla con mecanismos idénticos a los de las plantas aéreas. El equilibrio químico-físico que se genera en estas condiciones es, por consiguiente, marcadamente favorable al desarrollo de especies no siempre directamente perjudiciales a los materiales, pero que pueden alterar la superficie. Son comunes las esponjas que se adhieren a la superficie de los

materiales de piedra y metálicos para formar pátinas adherentes generalmente muy pigmentadas, pero aún más comunes son las especies incrustadas que recubren las piezas expuestas con gruesas y compactas concreciones. En muchos otros casos estas mismas especies pueden agredir químicamente los materiales arqueológicos dando origen a formas de degradación típicas, como en el caso de la esponja endolítica *Cliona celata* que causa corrosión a *pitting* de los pisos de mosaicos de composición carbónica en el parque arqueológico sumergido de Baia (Ricci et Al 2007). Es igualmente evidente que estos procesos de degradación, basados en reacciones enzimáticas se desarrollan cuando las condiciones ambientales de temperatura y concentración de oxígeno son favorables, pero también si existe afinidad química entre el sustrato y la especie colonizadora; por otra parte, al cambiar los valores óptimos de los parámetros ambientales, las reacciones enzimáticas se reducen hasta detenerse, dando origen a procesos cíclicos que, en su complejo, resultarán mucho más destructivos y dañinos de un único y aislado evento.

Desde el punto de vista de la actividad química el oxígeno participa en todos los procesos oxidantes que transforman los materiales en compuestos generalmente más estables en el ambiente huésped. Los materiales más sensibles a la acción oxidante son los metales, los cuales tienden a transformarse en los óxidos más estables en las condiciones de yacimiento según un mecanismo que sigue la regla de las reacciones de óxido-reducción con base en la cual el metal (Me) pierde dos electrones de su estructura electrónica externa transformándose en el ión correspondiente, mientras al mismo tiempo, el oxígeno adquiere en su estructura electrónica externa los dos electrones transformándose en el correspondiente anión:



Combinando las dos reacciones se obtiene la ecuación del equilibrio:



Que representa el esquema general de oxidación de los metales en presencia de oxígeno, regulada por la constante de equilibrio:

$$K_{\text{redox}} = [\text{Me}^{+2}] \cdot [\text{O}^{2-}] / [\text{MeO}]$$

Si tenemos presente que el oxígeno se disuelve en agua según la ley de Henry,

nos damos cuenta del hecho que esta reacción representa la evolución natural de las piezas metálicas en los ambientes subacuáticos. Es, sin embargo, igualmente evidente que la concentración del oxígeno determina la velocidad de la reacción misma, tanto que en una situación anóxica como aquélla del lago de Varese los procesos oxidantes se reducen hasta casi anularse en la estación caliente. Al contrario, en ambientes caracterizados por elevada energía de intercambio, la velocidad de oxidación se incrementa sustancialmente, al punto que a menudo los objetos metálicos más sensibles se transforman completamente en los óxidos correspondientes perdiendo forma y consistencia.

Los hallazgos metálicos del asentamiento del Lavagnone

El asentamiento está constituido por una poblado de la Edad de Bronce (Perini 1986) situado sobre la orilla de un lago morénico, que en la época de la excavación estaba todo enterrado y transformado en turbera, a aproximadamente 5 kilómetros al sur de Desenzano del Garda en la provincia de Brescia (Lombardía). La excavación sacó a la luz restos que consistían en viviendas sobre pilotes construidas con troncos de roble, divididos en dos o cuatro partes, según el eje longitudinal y ensamblados entre ellos con múltiples soluciones tecnológicas, todas basadas en el juego de encastrar las diferentes partes de la madera. La estratigrafía de los sitios mostraba una secuencia de capas fuertemente compactadas por residuos orgánicos degradados hasta el limo de los vegetales, siempre más limoso y granulométricamente finos en proximidad de la arcilla amarilla del fondo. Las características de las capas formadas en el curso de los siglos garantiza que el ambiente sea casi del todo privado de oxígeno, aunque sí saturado de agua y aún con un residuo de espejo de agua libre en el centro de la cuenca. En condiciones similares los procesos de oxidación se reducen casi completamente, así que los elementos metálicos conservan su estado prácticamente inalterado a excepción de reducidas áreas de corrosión en las zonas de origen más a contacto con el ambiente aéreo. La combinación, por consiguiente, de una estratigrafía de base de limos arcillosos compactos y su escasísima difusión del oxígeno en las mismas capas, reducen la velocidad de la corrosión química impidiendo que tengan lugar los procesos de oxidación.

Los clavos de los restos árabe-normando de Marsala

Durante las excavaciones de los restos del barco A en el sitio nombrado Lido Signorino en Marsala (Sicilia), se puede apreciar que los sedimentos que se habían acumulado

a los lados del casco, conservaban no sólo las huellas de los ejes del enchapado, sino también, los clavos de hierro originalmente utilizados para el ensamblaje de la embarcación (Ferroni & Meucci 1996). La naturaleza de la capa era principalmente limosa, a pesar que los clavos estaban completamente corroídos y de ellos quedaban solamente la concreción profunda englobada en la capa arqueológica. El proceso de oxidación, por consiguiente, había llevado hasta la transformación completa del metal en los óxidos correspondientes. Como veremos más adelante, el proceso es relativamente lento, pero cuando se verifica en un ambiente subacuático, no se detiene hasta la oxidación sino que procede hasta la formación de óxidos hidratados, aquellos que comúnmente toman el nombre de óxido. Los productos de la reacciones migran en el ambiente a contacto, es decir, en las capas de recubrimiento limoso o arenoso, donde se precipitan al estado sólido conteniendo partículas del terreno. Nace, así, la concreción de corrosión que reduce la difusión del oxígeno al interno de la forma, contribuyendo a reducir, aunque sea poco, la velocidad de la reacción de oxidación. En el caso del sitio del Lido Signorino, la energía del ambiente es notablemente elevada: de hecho, la profundidad máxima del depósito arqueológico no supera los dos metros, estando excavada completamente, mientras que el yacimiento arqueológico está situado a menos de treinta metros de la orilla. Esto implica una fuerte incidencia del movimiento de las olas en los equilibrios de intercambio del oxígeno en el agua, pero también en la mezcla de las capas de cubrimiento, al interior de las cuales se difunden estas mismas aguas ricas de oxígeno, provocando nuevos y más veloces procesos de oxidación de los elementos metálicos.

Los clavos de acero de los dos restos fueron sometidos a ciclos de corrosión aeróbica y anaeróbica según las condiciones de recubrimiento del sitio y del consecuente grado de oxigenación de las capas superiores. Así, la corrosión ha contribuido a destruir completamente el alma metálica de los objetos pero ha favorecido la formación de concreciones compactas que han conservado la forma. En algunos casos la proximidad de los pernos metálicos de la quilla a objetos cerámicos ha hecho que el perno venga incluido en el relleno arenoso del objeto cerámico, a su vez consolidado por los productos de la corrosión, manteniendo no sólo la forma, sino también la consistencia metálica. Al contrario, de los elementos metálicos de la carga no quedaban más que las concreciones limoníticas, tan suaves que se desintegraban en polvo en el curso mismo de la remoción de las capas de cubrimiento.

2.3. La concentración de dióxido de carbono CO₂

En condiciones normales de temperatura y presión, la concentración de dióxido de carbono en el agua es baja, ya que es poca la cantidad de CO₂ que se disuelve directamente permaneciendo en equilibrio con la presión del compuesto en fase gaseosa. La dispersión del gas disuelto en la masa líquida, sigue diferentes mecanismos que implican indiferentemente los movimientos convectivos de las masas de agua a diferentes temperaturas, o bien reacciones químicas directas con los materiales sumergidos que presentan afinidad química con las soluciones carbónicas.

Por otra parte sabemos que el gas carbónico es el producto de la actividad biológica que se desarrolla en el agua. En un ambiente marino, por ejemplo, la fotosíntesis realizadas por las praderas de posidonia oceánica es la mayor fuente de CO₂ en el fondo, pero también la actividad metabólica de las diferentes especies biológicas animales es productora de dióxido de carbono, como, además, es cierto en cualquier ambiente acuático. Los mismos procesos químicos de demolición de las sustancias orgánicas, una vez pertenecientes a especies vivas, producen además del metano, y también el CO₂. Las más elevadas concentraciones de dicho gas se encuentran en las capas de agua próximas al fondo, independientemente de la naturaleza y composición química del espejo de agua.

En dichas condiciones se disparan dos clases de procesos, generalmente sinérgicos: la absorción del CO₂ por parte de organismos vivos por actividad metabólica (todos los animales que generan cáscaras protectoras carbónicas tienen la necesidad de utilizar el dióxido de carbono) pero también la precipitación química de carbonatos insolubles en el microambiente en el cual se verifican condiciones de sobresaturación de dicha especie química. La formación de concreciones carbónicas, por lo tanto, se convierte en el proceso químico o bioquímico prevalente en las capas del fondo. El fenómeno es notoriamente más evidente en los ambientes marinos que en aquellos de agua dulce, sobre todo por la mayor incidencia de las especies biológicas a quimismo carbonático. Es, por consiguiente, más común que los objetos arqueológicos que han quedado expuestos a la acción de dichos organismos y en general al ambiente, sean cubiertos por espesas capas de concreciones carbónicas que a veces son tan compactas que sellan la capa que aflora.

Los restos de Santa Caterina en Nardò (Lecce)

Los restos fueron descubiertos en 1982 por el arquitecto Roberto Bozza, que

describió el sitio como un acumulo de material cerámico completamente sellado emergente del fondo rocoso a una profundidad de aproximadamente 22 metros. La capa superior del yacimiento estaba constituida por fragmentos de ánforas recubiertas de formaciones calcáreas y esponjas adheridas a la superficie expuesta y soldadas entre ellas por una espesa y compacta concreción de carbonatos. Las condiciones del fondo y la profundidad del sitio eran favorables para el desarrollo de especies incrustantes, pero también para la concentración de dióxido de carbono, cuya acción sinérgica hacía incrementar notablemente la probabilidad de formación de depósitos compactos de carbonato de calcio. Las operaciones de exploración y excavación subacuática, inmediatamente puestas en marcha por la Superintendencia Arqueológica de Taranto, proporcionaron información de mayor detalle sobre el lugar: se trataba de una nave mercantil con una carga de ánforas de vino greco-italicas que databan del siglo II-III antes de Cristo, aún bien apiladas, a excepción de la capa más superficial que se había fragmentado durante el naufragio y en el curso de los siglos por inevitables daños mecánicos durante el yacimiento. Durante la excavación de prueba, fue puesta a la luz una pequeña porción del borde externo del casco de la embarcación, de una longitud total de aproximadamente 23 metros, que resultó haber sido construido con doble recubrimiento del casco y un recubrimiento externo en láminas de plomo. Al contacto de la pared de la bodega se destacaban todavía dos o tres órdenes de ánforas apiladas según la disposición original y mantenidas con precisión en su lugar por la capa más externa de fragmentos que estaban soldados por la concreción. Una situación de conservación excepcional y seguramente favorable para la conservación de la estructura de madera de la nave, protegida por una espesa y homogénea capa de cubrimiento desde el hundimiento. El descubrimiento se juzgó tan importante, que fue puesto en marcha un proyecto de recuperación y restauración que preveía, por parte de la alcaldía de Nardò, la constitución de un laboratorio de restauración especialmente equipado donde se debería haber desarrollado toda la actividad de conservación de la carga y de los restos mismos. Mientras tanto, la conservación *in situ* fue garantizada con una ordenanza de prohibición de inmersión y pesca en el área y del secuestro del tramo de mar por parte de la magistratura. Pero, como sucede con frecuencia, a las buenas intenciones no siguieron hechos concretos y decisivos, de modo que, mientras el laboratorio de restauración está aún en vía de realización, los restos han sido objeto de numerosas intrusiones que han afectado parte de la estratigrafía arqueológica, poniendo al descubierto las capas internas del yacimiento, originalmente mejor conservadas. Actualmente el sitio está protegido por una cubierta de materiales sintéticos enganchados al fondo, que aísla completamente el área de intrusiones, pero que genera condiciones ambientales non

necesariamente favorables para la conservación de los materiales.

Por cuanto la formación de depósitos de carbonato contribuya a proteger los objetos, se debe considerar, sin embargo, los daños que la presencia de excesivas cantidades de CO₂ puede provocar a los objetos. El gas, de hecho, una vez esté en contacto con el agua se transforma en una especie ácida, el ácido carbónico, según la sencilla ecuación química:



La presencia de esta nueva especie química da origen a diferentes procesos que involucran directamente la química de cada uno de los materiales, activando reacciones que los transforman en composiciones diferentes, energéticamente más estables, pero también productos de degradación. Obviamente la velocidad de las transformaciones y de la alteración depende de la afinidad química entre el material y el ácido carbónico, así que podría ser incluso posible establecer una escala de resistencia de los diferentes materiales al ataque ácido, excepto, cuando se verifica que ésta es puramente teórica, visto que la química de los materiales está regulada también por otros factores ambientales.

Es cierto, sin embargo, que la máxima compatibilidad química es aquella existente con los materiales a matriz de carbonato, los cuales pueden ser directamente transformados en especies solubles con mecanismos de reacción simple y a veces también rápidas, mientras para otras clases de objeto, como por ejemplo las cerámicas, los procesos de alteración son más lentos. Sin embargo, no siempre, los mecanismos de transformación expuestos a estas condiciones llevan a la destrucción del objeto, aunque en la mayor parte de los casos la degradación que ellas sufren altera profundamente su aspecto.

2.4. La salinidad

La presencia en el ambiente subacuático de especies salinas solubles provocan procesos de diversa naturaleza, cuyos efectos pueden ser a veces, incluso devastadores para la conservación de materiales. Una vez más, la composición del objeto es vinculante y determina el mecanismo de acción de las diferentes especies químicas en contacto; así un mármol o una cerámica podrán sufrir daños mecánicos una vez extraídos del ambiente de yacimiento, mientras no están directamente degradados *in situ*, mientras todos los elementos metálicos podrían

ser objeto de reacciones químicas de alteración ya en el sitio de yacimiento. El proceso de corrosión electroquímica, de hecho, se produce no sólo porque existen las condiciones favorables a la reacción de óxido-reducción, sino porque el medio en el cual éstas reaccionan se producen está en grado de transportar la corriente eléctrica, o bien los electrones intercambiados en el proceso redox. Por otra parte las mismas especies salinas presentes en el agua, principalmente los cloruros y los sulfatos, están en grado de mezclarse con los iones metálicos, que durante el proceso de corrosión no son puestos en libertad, para dar origen a compuestos estables a los cuales se debe la formación de las pátinas de corrosión.

El ambiente de yacimiento es, por consiguiente, el otro elemento que ayuda a determinar la velocidad de todo el proceso: todos los ambientes de agua dulce están caracterizados por un relativamente bajo tenor de especie salina (menos la contaminación externa) y en ellos los mecanismos electroquímicos se desarrollan a velocidad reducida, al contrario que en los ambientes marinos o salobres, en los cuales las concentraciones salinas son en promedio mayores y por lo tanto inducen una elevada velocidad de corrosión electroquímica.

El Sátiro de Mazara del Vallo (Trapani)

La estatua de bronce del sátiro danzante fue descubierta casualmente por pescadores profesionales en el fondo del Canal de Sicilia a una profundidad de 480 metros aproximadamente, en un área preparada para la pesca de camarones. Mientras pasaban la red sobre el fondo, fueron recogidos diferentes elementos de bronce evidentemente parte de una carga de anticuario proveniente de Grecia: una pata de elefante y una estatua de un niño sin una pierna eran las piezas más preciosas y en un estado de conservación aparentemente más que satisfactorio.

La elevada profundidad del lugar y además su extensión, teniendo en cuenta la marcada dispersión del material seguramente causada por la actividad pesquera misma, había desfavorecido los procesos de óxido-reducción de las aleaciones gracias a la baja concentración de oxígeno, pero no había impedido que la superficie expuesta de las piezas sufrieran los efectos de la corrosión electroquímica. Los depósitos de calcita y aragonito se alternaban en pátinas menos estables en las cuales los cloruros de cobre contribuían a mantener activos los procesos de óxido-reducción y de transformación de los metales de la aleación en compuestos químicos de diferente estructura y composición.

Las investigaciones hechas por el laboratorio de biología del ICR antes de la restauración habían confirmado que los depósitos de carbono habían sido debidos al establecimiento de diferentes formas de organismos relacionados

con los Serpèulidi (gusanos filtradores que se establecen sobre la superficie del objeto, generando un conducto calcáreo en el cual viven), las Madréporas e Bivalvos (Ricci, Bartolini 2005). Desafortunadamente los tratamientos de lavado preventivo efectuados sobre la estatua después de la recuperación, impidieron determinar a los biólogos si sobre las superficies metálicas se fueron desarrollando colonizaciones de bacterias sulfato-reductoras, cuya presencia habría permitido la identificación de marcas de sulfuros de cobre en contacto con el metal. En este caso se habría confirmado el papel de los agentes biológicos como iniciadores y activadores de los procesos de degradación química, ya que a la interfaz con el metal se vendría a generar una clase de bio-película capaz de alterar las condiciones locales de pH y de concentraciones de oxígeno y de iones solubles que pueden modificar la química de la corrosión.

Área de origen	Sigla progresiva al externo del metal	Componentes Principales	Componentes Secundarios	Componentes en los indicios	Otros
Pecho	S1	Ar - C - An	-	Ce	-
	S2	Ar - C - An	Ce	-	-
	S3	Ar - Ce	An - C - KF	-	Org
	S4	Ar - Ce - An - C	Pa	-	-
Pierna izquierda	S7	-	-	S	Org
	S8	KF - Px - C	Ce - Pa	Ar	Org
	S9	Pa - Ce - Ar - C	-	-	Org

Leyenda: Ar = Aragonita; C = Calcita; KF = Feldespato; Px = Piroxeno; S = Sulfuro; An = Anglesita; Ce = Cerusa; Pa = Paratacamita.

Tabla 2:

Distribución de los productos de corrosión en las pátinas y en las incrustaciones

Esta hipótesis parece ser confirmada por los resultados de las investigaciones químicas efectuadas en los productos de corrosión y en los depósitos adherentes a la superficie metálica (D'Ercoli et Al. 2005), en los cuales se reveló la presencia de un sedimento de color negro en el borde de la pierna izquierda compuesto por sustancias orgánicas y por sulfuros: presumiblemente la bio-película descrita por los biólogos. Resumiendo en una tabla (Tabla 2) la composición de las capas y de los depósitos analizados mediante análisis de difracción Rx (XRD) se puede observar que en las dos series estratigráficas S1-S4 y S7-S8, los productos de corrosión de la aleación son mayormente concentrados en contacto con el metal y, generalmente, bajo una capa que contiene sustancias orgánicas. La paratacamita, correspondiente a la fórmula $(Cu,Zn)_2(OH)_3Cl$, está concentrada en la interfaz metal/pátina de corrosión y confirma la presencia de una corrosión activa de tipo

pitting. La presencia en las capas más superficiales de las pátinas de corrosión de la anglesita, un sulfato de plomo (PbSO_4) y de la cerusa, un carbonato de plomo (PbCO_3), indicarían que el ambiente de yacimiento estaba caracterizado por elevadas concentraciones de CO_2 (como lo confirma el desarrollo de las especies biológicas incrustantes) y de una concentración salina constante, tanto como para favorecer las reacciones de intercambio iónico de los compuestos sulfáticos a favor de la formación del compuesto más estable en las condiciones ambientales. Estas características particulares del ambiente marino eran, además, favorecidas por la naturaleza misma del fondo que como indica la presencia de feldespatos y piroxeno en los depósitos adheridos a las superficies del metal, es de origen volcánico.

Un segundo problema, aunque sea de diferente naturaleza, está representado por el incremento de la actividad metabólica de las especies biológicas. Todos los microorganismos patógenos utilizan las sales como terreno privilegiado de crecimiento, así que los productos del metabolismo no deberían ser directamente dañinos para el material sustraído de crecimiento de las especies biológicas, vendría aumentada de cualquier manera su capacidad de concreción y el efecto completo sobre la degradación de los objetos, independientemente de su composición material.

2.5. La luminosidad

La luz es uno de los factores ambientales que juega un papel activo en todos los procesos de demolición o transformación de los materiales: es, incluso, el medio que transfiere energía del ambiente aéreo al subacuático favoreciendo todas las reacciones químicas y biológicas que en él tienen lugar.

Ya que la radiación luminosa viene absorbida por el medio agua en función de la longitud de onda de sus componentes cromáticos, es evidente que el efecto de la radiación luminosa será tanto mayor cuanto menor sea la profundidad del sitio y cuanto mayor sea la visibilidad, o bien cuanto menor sea la turbiedad. Los diferentes componentes cromáticos, por consiguiente, se anulan con la profundidad (fig. 6) y de consecuencia la contribución energética de la radiación luminosa se reducirá progresivamente, hasta anularse a una profundidad valorada de aproximadamente -400 metros.

La incidencia de la luz influye directamente en el crecimiento de las especies biológicas y su actividad metabólica: las especies se seleccionan con la profundidad y modifican de consecuencia sus ciclos vitales, pero en el rango batimétrico en el cual se opera (comprendido hasta los -40 metros) esta influencia es menos perceptible. En conjunto, sin embargo, ya que a una disminución de la contribución energética corresponde una menor energía cinética de las partículas, en las capas menos luminosas se tendrá también una reducción de la actividad química de los reactivos, es decir una disminución de la cinética de la reacciones químicas.

Fig. 6:
Absorción selectiva de los
componentes cromáticos
de la luz.



La transparencia del agua es también un factor limitante ya que la luz incidente viene difractada por las partículas suspendidas en sus componentes espectrales, reduciendo, de consecuencia, el valor de energía transmitido al ambiente. En los lugares caracterizados por una fuerte suspensión, los efectos de la luz, el incremento de la temperatura y el aumento de la cinética química, resultarán menores que en un ambiente de las mismas características morfológicas pero con agua más límpida o, de cualquier manera, con menor concentración de materiales en suspensión ya sea de naturaleza biológica que mineral. Las características morfológicas de los lugares y la naturaleza misma de las costas y el fondo, por lo tanto, influyen directamente en los efectos de la radiación luminosa incidente ya sea en el ambiente de yacimiento que en el estado de conservación de los materiales arqueológicos.

2.6. El grado de acidez (pH)

La química nos confirma que todos los materiales sufren variaciones de composición

y de estructura cuando están en contacto con el ambiente cuyo grado de acidez es diferente del llamado valor de neutralidad correspondiente a $\text{pH}=7$. La escala de acidez comprende ya sea valores básicos en el intervalo $\text{pH}=7\div 14$, que en valores ácidos en el intervalo $\text{pH}=0\div 7$. Obviamente las reacciones químicas que vienen activadas son diferentes en los dos campos de acidez, pero en cada caso llevan a una modificación del estado del material y a su progresiva degradación.

En los ambientes subacuáticos no sujetos a contaminación el valor de la acidez está generalmente ubicado en el campo de existencia de los ácidos, pero no es nunca muy elevado ya que se aparta ligeramente de la neutralidad en situaciones en las cuales se pueden alcanzar incluso valores de pH decididamente ácidos, es decir más próximos al cero o de todas maneras inferiores a $\text{pH}=4$. Obviamente estos mismos valores están unidos a los equilibrios químicos que se desarrollan en los ambientes de yacimiento y a las especies químicas que los generan, referibles sobre todo al ácido carbónico H_2CO_3 y al ácido sulfúrico o hidruro de azufre H_2S .

Las estatuas de mármol de la gruta azul de Capri

En el verano de 1964 fueron hallados en el fondo de la gruta azul de Capri numerosos fragmentos de mármol pertenecientes al aparato decorativo del ninfeo, dedicado a Neptuno por el emperador Tiberio; resultaron de particular interés dos estatuas que representan la una un tritón y la otra al mismo Dios al cual era dedicado el antro. El descubrimiento tuvo, en su época, gran importancia, no sólo porque mostraba un uso de la gruta que explicaba las diferentes anomalías del ambiente, como la presencia de nichos y de una cierta simetría en la organización espacial de las paredes, sino por el renovado interés para la arqueología subacuática y las actividades a ella relacionadas. Las dos estatuas, por consiguiente, representaban una oportunidad única para llamar la atención hacia el problema, que las autoridades mostraban no tener desde hacía varios años. Debido a que la recuperación había sido efectuada por el núcleo de buzos de los Carabineros, ese Comando General pidió la disponibilidad del Ministerio BCA para exponer las piezas en el Salón Náutico de Génova.

En realidad el estado de conservación de las dos piezas no aparecía ser de los mejores, ya que las estatuas mostraban de manera evidente tanto una acentuada corrosión de la superficie, como una difusa y elevada craterización del mármol. Una parte del daño podía ciertamente ser atribuida a la acción de agentes biológicos litodomios, como los dátiles de mar, que con sus ácidos disuelven los carbonatos generando profundas cavidades en las cuales ellos mismos se alojan, pero las alteraciones a pitting y la corrosión laminar se producían esencialmente por la interacción

del sustrato con soluciones agresivas. Las características geomorfológicas del ambiente, caracterizado por la presencia de manantiales subterráneos y de actividad karst, justificaban las elevadas concentraciones de ácido carbónico a las cuales se debían los procesos químicos de alteración de la superficie.

En los años sucesivos las estatuas fueron restauradas y expuestas en el museo arqueológico de Capri, pero es sólo en 2009 cuando se lanza un proyecto que prevé la reorganización museística del ninfeo con la recolocación *in situ* de copias de las estatuas, en modo análogo a lo realizado con el Ninfeo de Punta Epitafio a Baia (Nápoles). Mientras, en agosto de 2009 la gruta azul fue cerrada al público por una forma de contaminación del agua de cuyos orígenes, aún hoy, no se tienen datos.

Independientemente del tipo de compuesto que modifica el pH del ambiente, se ha verificado que la actividad metabólica de las especies biológicas, basada principalmente en su reacción enzimática, se desarrolla preferentemente en condiciones óptimas de pH y de temperatura. A esta lógica, del todo natural, están sujetos todos los organismos que desarrollan su ciclo vital en un ambiente subacuático, sea que se trate de organismos complejos, sea que ellos pertenezcan al mundo de los organismos unicelulares o de los microorganismos patógenos, como las bacterias y los hongos microscópicos.

A las reacciones enzimáticas de demolición de las estructuras proteicas que contienen átomos de azufre, producidas por bacterias reductoras de azufre, se debe la producción de sulfuro de hidrógeno H_2S cuya presencia contribuye a generar un microambiente fuertemente ácido. Se trata, obviamente, de condiciones locales y circunscritas al área de producción de la especie química primaria, pero los materiales sensibles a tales condiciones pueden sufrir modificaciones químicas y estructurales profundas, que alteran la naturaleza y la forma.

Los efectos de estos mecanismos son particularmente evidentes en las pátinas de corrosión de piezas metálicas descubiertas en ambientes marinos costeros caracterizados por la presencia de praderas de posidonia oceánica, cuyo follaje, una vez que ha sido arrancado del rizoma, tiende a acumularse en capas compactas que recubren el fondo y los materiales expuestos. Cuando al interno de estas capas se desarrollan las reacciones de demolición enzimática de las proteínas en puente de azufre se tiene la formación de ácido sulfúrico y la activación de los procesos químicos de degradación de los materiales que con esta especie química entran en contacto.

Los bronce de Punta del Serrone (Brindisi)

En el verano de 1992 algunos pescadores subacuáticos deportistas descubrieron en el fondo del mar al frente de la Punta del Serrone, no distante del puerto de Brindisi, algunos elementos de bronce que hacían parte presumiblemente de una carga anticuaria. Las aproximadamente 200 piezas yacían en un fondo mixto de piedra, arena y posidonia a una profundidad de aproximadamente 16 metros y estaban evidentemente sujetos a los descubrimientos cíclicos, dadas las características de la costa y la exposición a las marejadas.

Las piezas eran de tipología y cronología diferentes (los arqueólogos han proporcionado una fecha oscilante entre el siglo IV a.C. y el III D.C.), por consiguiente también su composición variaba con la proveniencia y la edad. Es importante subrayar que la Superintendencia competente puso en marcha inmediatamente las operaciones de recuperación de los materiales y al mismo tiempo convidó al Instituto Central de la Restauración de Roma para las operaciones de primera intervención y de conservación temporal, que tuvieron lugar en el Museo arqueológico de Brindisi en un laboratorio especialmente equipado y con procedimientos enfocados y puestos en marcha para aquella particular ocasión (C. Meucci 1992).

Todos los fragmentos mostraban marcadas señales de alteración y estaban recubiertos de pátinas e incrustaciones de diferente naturaleza y origen: más frecuente las concreciones de carbono de evidente naturaleza orgánica (serpulidae y madreporarias), diversamente difundidas las pátinas de corrosión que se diferencian por colores, compactación y estado cristalino.

Los análisis hechos a algunos fragmentos (Studio Artea 1993) llevaron a determinar que la composición y la mineralogía de las pátinas (fig. 7) eran referibles a productos de diferente naturaleza, cuya formación estaba asociada tanto a la ubicación subacuática, como a los cambios que se produjeron en el curso del almacenamiento. En especial la cerusita (PbCO_3) podía ser producida por la carbonatación directa de las hidrocerusitas ($\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$), así como algunos depósitos de polvo amarillo referibles al litargirio (PbO) individuado por vía microscópica. Al contrario, las formaciones de casiteritas (SnO_2) y de anglesitas (PbSO_4) indicaban una corrosión preferencial de las aleaciones del bronce en condiciones de oxigenación del lugar, como era imaginable por la conformación del fondo.

La presencia de chalcólita (Cu_2S) y de tenorita (CuO) confirmarían la presencia de una actividad agresiva de origen biológica con la formación de una biopelícula activa en los procesos de corrosión electroquímica, cuyos productos finales son los cloruros de cobre en forma de paratacamita ($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$) y de plomo como la cotunnita (PbCl_2).

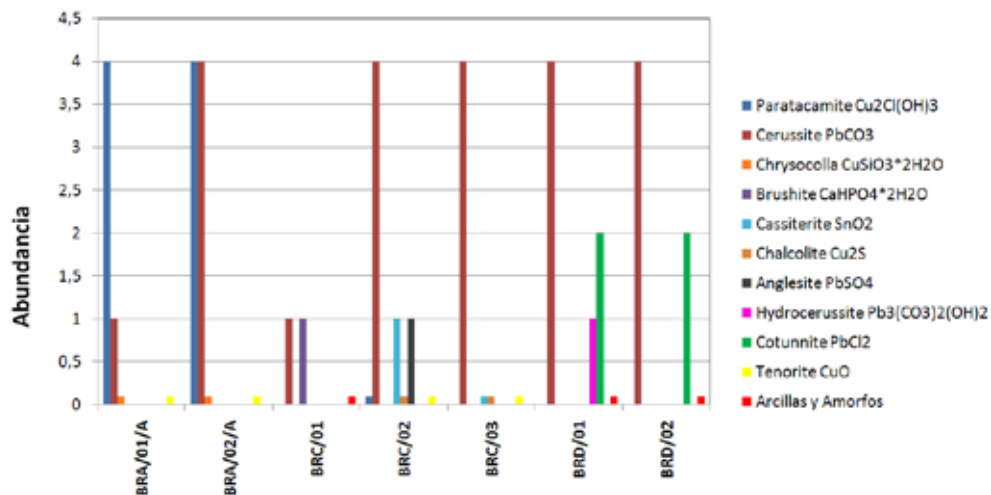


Fig. 7:

Distribución de los productos de corrosión en las pátinas y en las concreciones de bronces.

Es interesante notar que en los depósitos se observa, más que los materiales arcillosos que no fueron identificados por el analista, la presencia de brushite ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y de crisocola ($\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) cuyo origen se puede atribuir a la interacción directa de sustratos de carbonato con productos contaminantes fosfáticos y de los materiales metálicos en curso de alteración con silicatos ácidos; las dos reacciones necesitan de un ambiente a pH ácido para poderse completar.

La acción de los ácidos minerales y orgánicos en los metales se explica con la solubilización directa de los elementos que lo componen. Las piezas de un solo material desarrollan reacciones relativamente simples ya que es limitado el número de las especies químicas involucradas: en la reacción de óxido-reducción que tiene lugar, de hecho, los átomos del metal se oxidan pasando al estado de iones, mientras el ión hidronio se reduce transformándose en una especie gaseosa volátil. El proceso es irreversible y es movido hacia la ionización a menos que no venga a menos una de las dos fuentes de sustancias reactivas (en este caso es favorita la especie ácida). Dicho mecanismo, además, da cuenta de la formación de concreciones que recubren las superficies de las piezas metálicas sumergidas. El caso del Sátiro de Mazara del Vallo y aquel de los bronces de Brindisi, descrito anteriormente, son al respecto emblemáticos, ya que es la presencia de una delgadísima capa de bio-película en la interfaz metal/producto de corrosión la

que justifica, a través de la simple solubilización de los metales de las aleaciones, la activación de los procesos de corrosión electroquímica.

2.7. La presencia de especies biológicas

Como ya se ha descrito en otras secciones, las especies biológicas ubicadas en los ambientes subacuáticos reaccionan sobre los diferentes materiales con mecanismos diferentes y específicos relacionados al metabolismo de la especie biológica, pero también condicionados por la naturaleza del sustrato.

Las reacciones de demolición primaria se desarrollan sobre todo a cargo de los materiales de naturaleza orgánica, cuya composición principalmente celulosa favorece el desarrollo de bacterias y hongos celulolíticos, que se asientan al interior de la estructura de madera donde reaccionan directamente cuando las condiciones ambientales son favorables. Por otra parte, daños de notable importancia son evidentes en piedras de carbonato atacadas directamente por organismos litodómicos, pero también en estructuras de madera en las cuales se haya asentado la *Teredo Navalis*, un bivalvo que se desarrolla a lo largo de las fibras de la madera excavando largas y profundas galerías, cuyas paredes son gradualmente revestidas e irrigadas por una espesa concreción carbónica en forma de tubo.

Los restos de Torre Flavia en Ladispoli (Roma)

Los restos de esta embarcación de la época de Augusto yacen a la profundidad de aproximadamente 12 metros en una zona de la costa del Lazio que, desde un punto de vista geológico, presenta un fondo principalmente arenoso con esporádicos afloramientos del subyacente banco rocoso conformado por un biocalcáreo localmente conocido como Macco.

El descubrimiento se hizo gracias a un buzo deportista que durante una cacería subacuática, identificó unas grandes dolium emergentes del fondo en medio a una cantidad elevada de fragmentos referibles al resto de la carga: un yacimiento virgen que parecía prometer posteriores descubrimientos si se excavaba con los correctos criterios estratigráficos (D'Atri et al. 1987).

En el óptica de definir un proyecto total de conservación de los materiales de la carga y de los restos del naufragio, la Superintendencia de la Etruria meridional, competente por el territorio, involucró a la Universidad de Roma y al Instituto Central de la Restauración para que elaboraran, cada uno con su propia competencia, un proyecto de intervención y una lista de prioridad. Los trabajos

de excavación y documentación se pusieron en marcha en el verano de 1984 y se desarrollaron en los años sucesivos, permitiendo caracterizar completamente el lugar y el contexto arqueológico.

Con el fin de definir un protocolo de intervención conservativo general, en el curso de las diferentes campañas fueron tomadas varias muestras del casco de la embarcación, que fueron sometidos a un análisis de caracterización en el laboratorio del Instituto Central de la Restauración de Roma; los resultados de las investigaciones permitieron tanto individuar las especies de maderas utilizadas para la construcción de la embarcación, como determinar su grado de alteración metiéndolo en relación con la posición estratigráfica y con la función desempeñada (Meucci 1993).

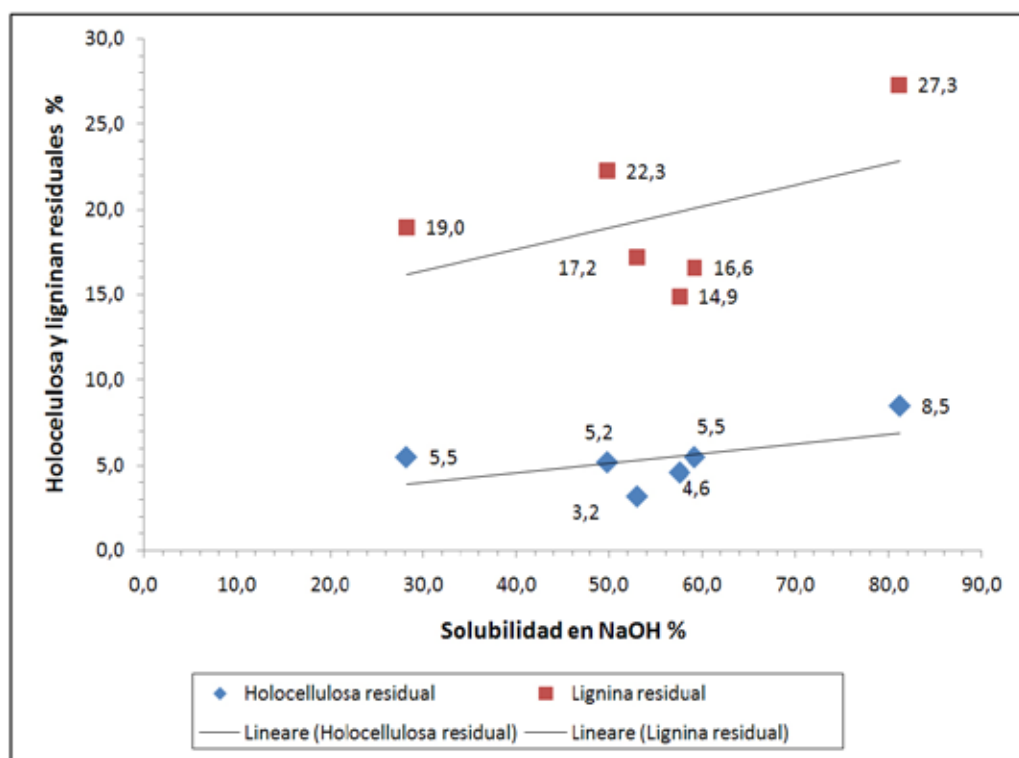


Fig. 8:

Representación de la relación entre composición química residua y solubilidad en NaOH.

Unas de las observaciones surgidas de esta primera aproximación sistemática fue que la degradación de los elementos de madera era muy avanzada para ser debido sólo a procesos químicos de alteración, tanto que se procedió a una ampliación

de la investigación conjugando las indagaciones biológicas con oportunas ampliaciones cuantitativas de los datos químicos ya adquiridos (D'Urbano et al. 1989). Los resultados fueron confortantes ya que las investigaciones permitieron verificar que la degradación se había desarrollado principalmente a cargo de la fracción celulósica de la madera y que sólo en raros casos había sido débilmente atacada la lignina; al contrario las maderas analizadas resultaron ser mucho más solubles en soluciones de hidróxido de sodio, confirmando una acentuada despolimerización de los componentes químicos de la madera.

Un atento análisis de los datos analíticos en su momento adquiridos permitió verificar que un cierto número de muestras entre aquéllas examinadas, mostraba una pérdida de sustancias de madera incompatibles con la presencia de específicos procesos químicos de degradación: dichas muestras resultaron sujetas al ataque de bacterias y hongos celulosolíticos, cuya actividad había contribuido grandemente a la demolición enzimática de la oleocelulosa. La figura 8 pone en evidencia dichos fenómenos evidenciando que las muestras mayormente alteradas se ponen por debajo de la línea que representa los dos conjuntos.

La pérdida de lignina, por consiguiente, sería imputable a una pérdida de coherencia de la estructura del tejido de la madera y a procesos de demolición relacionados, más que a mecanismos químicos, a las fuerzas mecánicas y a la acción solvente del agua.

Otra acción directa sobre los materiales es aquella que da origen a la formación de pátinas adherentes, que, en la mayor parte de los casos, recubren las superficies de las piezas expuestas modificando forma y color. Aunque las especies incrustantes no son siempre perjudiciales, la formación de pátinas orgánicas fuertemente pigmentadas puede interferir con los tratamientos de conservación ya sea en la fase de primera intervención, que durante la restauración. Ejemplo típico son las esponjas rojas concrecionantes de dermaesqueleto silíceo que se desarrollan en ambiente marino principalmente en piezas líticas o metálicas; por esto dichas concreciones pueden ser consideradas agradables a la vista de algunos coleccionistas aún ligados a la visión romántica de los hallazgos arqueológicos, las que representan un grave problema de conservación en cuanto causan la alteración cromática del sustrato.

De menor dificultad de intervención, pero de igual gravedad en la degradación, son las concreciones de carbonato, cuya formación por las especies biológicas puede ser verificada por daños del sustrato si éste es químicamente afín o, de

cualquier manera, con una interacción directa con la superficie externa del objeto, como en el caso de los materiales metálicos o cerámicos.

2.8. La profundidad del sitio

La profundidad en la cual se encuentra el yacimiento arqueológico, influye directamente sobre algunos de los otros parámetros a los cuales está relacionada la conservación del objeto. Como se ha visto anteriormente, al espesor de la masa de agua atravesada está unida la absorción selectiva de la radiación luminosa, cuya ausencia desencadena diferentes procesos de alteración de materiales y de modificación de las condiciones ambientales. A la presencia de radiación luminosa está unida la velocidad de crecimiento de las especies biológicas con consecuentes variaciones tanto de la actividad de concreción, como de la concentración al fondo de oxígeno y de dióxido de carbono, condiciones, éstas, que modifican el pH del agua en las capas más cercanas al fondo.

Otro factor importante para la conservación de los materiales es el relacionado con los daños mecánicos y con las transformaciones químicas y estructurales que ellos pueden sufrir en función de las condiciones generales del lugar: a baja profundidad los materiales arqueológicos pueden ser objeto de ciclos de cobertura/exposición en base a la tipología del sitio mismo (costa marina, cuenca lacustre, río, etc.) y a la velocidad de sedimentación del limo o de la arena transportada. Cada una de éstas particulares condiciones genera procesos de alteración típicos, que van a golpear y modificar el estado de conservación y la velocidad de alteración de diversos materiales arqueológicos.

2.9. El movimiento ondoso y la velocidad de las corrientes

Estos dos factores son determinantes para la conservación de los materiales y de los sitios ya que a ellos están relacionados las variaciones de otros parámetros, como la concentración de oxígeno disuelto y la carga biológica dispersa, causa de alteraciones primarias de muchos materiales.

La consecuencia más importante de la presencia de corrientes de fondo está en la variación de la velocidad de recubrimiento del yacimiento arqueológico y viceversa, de aquella de exposición de las capas arqueológicas, procesos que se verifican con dinámicas diferentes según el tipo de fondo y del ambiente, más que de la morfología del sitio mismo.

Como ejemplo presentamos, a continuación, algunos casos particulares que ilustran tres condiciones diferente de yacimiento.

El lugar palafítico de Bodio Keller en el lago de Varese

El asentamiento se presenta bastante circunscrito a menos de presencias obliteradas del cañaveral que se desarrolla por bastantes metros a partir de la orilla. Los palos perimetrales están dispuestos con regularidad y definen un área casi rectangular al interior de la cual, los palos se encuentran según alineamientos regulares y ortogonales entre ellos (fig. 9). A la izquierda del cañaveral la costa ha sido regulada con un muro que delimita el parque de una villa para terminar en la esquina de un tobogán de cemento dentro del cual parece correr un afluente de carácter torrencial o bien de aguas meteóricas.

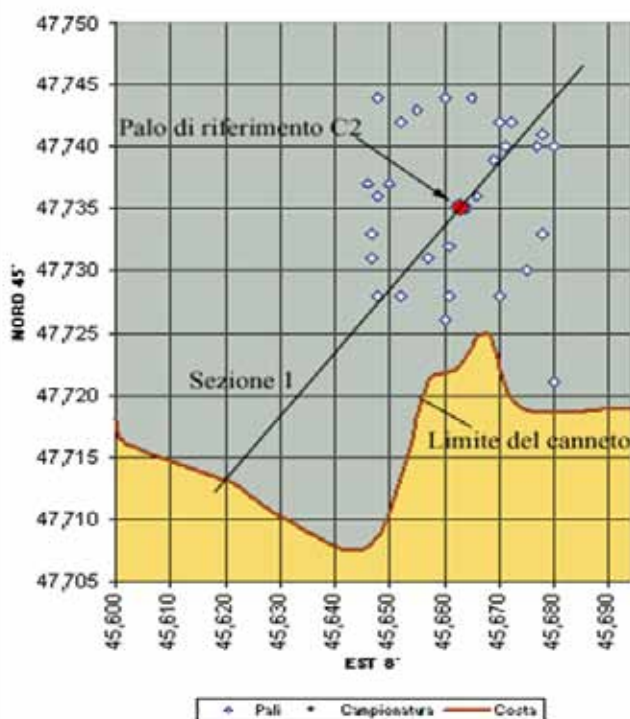


Fig. 9:
Planografía del sitio
de Bodio Keller

Esta particular conformación de la costa influye directamente en el estado de conservación del sitio, ya que facilita el alejamiento de los limos sedimentados en condiciones de vientos fuertes, sobre todo si provienen del norte. El

descubrimiento de la capa arqueológica fue verificado durante la campaña invernal y sus efectos eran todavía visibles en la siguiente campaña en primavera. Cuando la capa limosa había sido removida de la corriente, aparecía el fondo natural del lago constituido por una capa compacta de limo blancuzco aparentemente de naturaleza carbonática esparcida con guijarros y raíces de plantas acuáticas las cuales eran aún visibles en yacimientos primarios de fragmentos de cerámica no muy pulida, huesos de animales y pequeños objetos. El depósito limoso alcanza un espesor de aproximadamente 20 cm., suficiente para esconder las cabezas de los palos más consumados, pero que deja emerger todavía la punta de aquellos mejor conservados o de mayores dimensiones. El diámetro de los palos varía de 12-15 centímetros de los elementos más pequeños y cercanos, hasta los 20-22 cm. de aquellos que definen los alineamientos. Estos mismos emergen del fondo con una altura de aproximadamente 25 cm. y la mayor parte son de punta cónica.

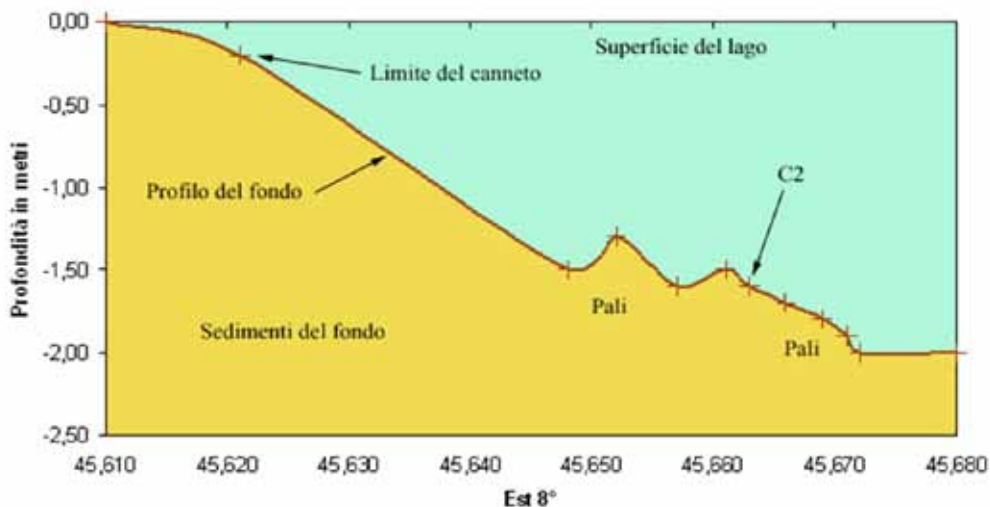


Fig. 10:
Sección transversal del sitio en correspondencia del palo de Referencia C2

El techo de la capa arqueológica es irregular (fig. 10) por la presencia de piedras y de guijarros originalmente preparados para definir el nivel de pisoteo, hoy fuera de posición posiblemente causado por la intensa frecuentación humana en el área. Sobre la capa arqueológica son bien visibles fragmentos de embarcaciones modernas de madera y de fibra de vidrio, pero también pequeñas esferas coloradas y de olor fuertemente aromático atribuible a descargas industriales. El estado de conservación del material orgánico parece bastante satisfactorio, aunque si el

ambiente de conservación modifica mucho sus características con la estación: agua límpida y actividad biológica reducida en el período frío, mientras en la estación cálida la turbiedad es elevada y se incrementa el desarrollo de plantas acuáticas y de mucílago que reducen drásticamente el nivel de oxigenación del fondo.

Las obras de muelle del río Tíber en la localidad Nuevo Puente Sublicio, Roma

Como se sabe, la forma de la cuenca fluvial es determinada por la fuerza de la corriente más que por la geología de los territorios atravesados por el curso del agua; un río que presenta a lo largo de su trayecto muchos meandros y curvaturas, tiene generalmente un reflujo estabilizado y no presenta marcadas variaciones de su caudal, a menos que eventuales excepciones. En estas condiciones de equilibrio la corriente del agua activa dos procesos opuestos: excavación de la orilla en la concavidad de la curva y deposición de limo y arena transportados en la orilla opuesta. De tal manera el cauce se mueve lentamente y modifica la forma del río incidiendo, algunas veces, sobre el estado de protección y de conservación de los materiales arqueológicos que están localizados sobre la orilla.

En el tramo del río Tíber inmediatamente abajo del Nuevo Puente Sublicio, la curvatura del cauce generó las condiciones de la excavación de la orilla derecha que puso en evidencia los restos de las obras de muelles de la edad romana (Le Gall 2005) construidas arrojando hormigón en encofrados de madera. Durante las exploraciones de 1991 se pudo constatar el óptimo estado de conservación del tablaje de roble aún en posición, favorecido, hasta aquel momento, por la cobertura de los muelles por la arena transportada del río y allí acumulada en el curso de los siglos precedentes.

La variación de la velocidad de la corriente, en consecuencia de la construcción de dichos muros en época sabauda, o bien del revestimiento de las riberas con óperas en mampostería, había modificado la dinámica del transporte de la arena así que los muelles en la orilla derecha habían sido expuestos, mientras en la orilla izquierda se debía periódicamente proceder a obras de dragado para garantizar la correcta salida del agua y reducir la presencia de arena en la orilla.

El ancla de hierro en la localidad de Cala Sintias (Cagliari)

La pieza fue hallada aproximadamente a tres metros de profundidad y a menos de 40 metros de la orilla después de una violenta tormenta y al aparecer una corriente del norte, que, golpeando el litoral, había quitado aproximadamente un metro de

arena exponiendo un nivel de hace cerca de 1700 años. El ancla se encuentra en una posición horizontal con los brazos apoyados directamente sobre un lecho de piedras y la caña que culmina con un grande anillo terminal (fig. 11) para asegurar los amarres. Las dimensiones actuales determinables son de cm. 137 de longitud total, por un ancho de cm. 68 del ápice de los brazos, mientras el ángulo de curvatura de los brazos parece ser próximo a 30 grados. La fuerte concreción del objeto impide la determinación de sus características constructivas y de sus medidas reales, así como de determinar con cierta aproximación el estado de conservación. El hecho es que el elevado espesor de las capas de corrosión y la concreción de los guijarros indicarían un proceso de corrosión en un ambiente anaeróbico prevalente sobre el aeróbico, que se puede verificar sólo en la fase de descubrimiento y exposición a las condiciones oxidantes del nuevo ambiente.

Fig. 11:
Trazado en planta del ancla
de Cala Sintias



Que el proceso redox fuera activo estaba demostrado por la formación en poco tiempo de una hilatura de color rojo anaranjado de hidratos de óxido de hierro en la parte alta de la concreción de la caña, la cual, evidentemente, conservaba aún un alma metálica. Las cambiantes condiciones del mar en el arco de menos de 15 días provocaron una nueva cobertura del objeto y el restablecimiento de las condiciones de yacimiento originarias, pero no la interrupción inmediata del proceso de óxido-reducción, visto que la mezcla del fondo había hecho alzar el nivel de oxígeno disuelto en los sedimentos; en estas condiciones la corrosión se desarrolla hasta un agotamiento del oxígeno y del restablecimiento de las condiciones reductivas.

Es evidente que cada variación significativa de las corrientes determina una modificación del ambiente de yacimiento y un cambio, frecuentemente radical, de las condiciones de conservación. De todos estos parámetros es necesario evaluar la incidencia y ciclicidad para plantear correctamente las operaciones de conservación *in situ* de los diferentes materiales, pero también cuáles son los procesos de intervención más idóneos si se debiera decidir a efectuar la recuperación de los objeto y su tratamiento de restauración en laboratorio.

2.10. Las características del fondo

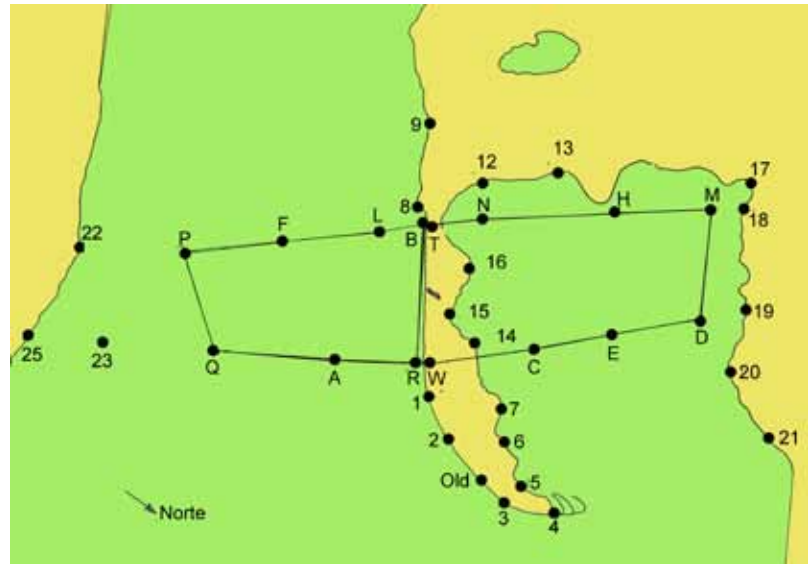
Relacionados con los parámetros ya discutidos, las características geomofológicas de los fondos influyen en el estado de conservación de los materiales y de los sitios de manera diversa. En presencia de un fondo rocoso la velocidad de recubrimiento es baja y por consiguiente el yacimiento resultará ser expuesto a todos los procesos de degradación relacionados con una fuerte oxigenación y, presumiblemente, a una elevada actividad biológica. Al contrario, en un fondo limoso o arenoso con elevado aporte de sedimentos, permitirá un rápido cubrimiento del yacimiento arqueológico y una mejor conservación de los materiales, debido a que muchos de los mecanismos de alteración de los materiales se detienen cuando el lugar entra en un estado de sellamiento. En síntesis podremos decir que las características del fondo:

- Determinan la velocidad de recubrimiento del sitio,
- Determinan las condiciones oxidantes y reductoras del sitio,
- Determinan la capacidad del ambiente de activar la formación de concreciones de carbonato,
- Influyen la tipología y la velocidad de la degradación biológica.

El naufragio de las antefijas de Cala Sintias

El sitio fue descubierto en 1993 por Ferdinando y Franco Calderini, responsable del Centro de inmersiones Spazio Mare, en el curso de una inmersión explorativa de los fondos al frente de la playa de Cala Sintias en la ciudad de Castiadas: se trata de un naufragio aún hoy completamente íntegro excepto por las recuperaciones efectuadas en el curso de las sucesivas campañas de estudio conducidas por la Superintendencia arqueológica de Cagliari y del Instituto Central de la Restauración en los años 1995-1998, durante las cuales fueron removidos del fondo sólo las piezas que se destaparon.

Fig. 12:
Planta del
yacimiento
elaborada
con colores y
símbolos



El yacimiento está constituido por una carga de piezas del siglo I DC que transportaba un imprecisado pero elevado número de elementos de arcilla para la realización de un techo, además, ánforas tipo Dressel 21-22, producidos en la Rejon Campania y usualmente utilizados para el transporte de fruta seca (Salvi 1994). La carga, constituida principalmente de antefijas y tejas, se extiende en un área de cerca de 500 metros cuadrados sobre un fondo mixto de roca, arena y posidonia a una profundidad promedio de 29 metros.

La particular conformación del fondo y las características del ambiente han favorecido el desarrollo de extensas praderas de posidonia oceánica, que han cubierto en buena parte los restos arqueológicos, tanto para formar en el lado este una matte de 180 cm. de altura. En la base de esta matte se identifica un alineamiento ordenado de tejas, dispuestas en dos filas sobrepuestas, que denuncian la presencia de la carga, aún apilada según la disposición original. Inmediatamente de frente se abre una plazoleta de arena, en la cual afloran rocas de la antigua línea de costa además de elementos íntegros y fragmentados de la carga, casualmente distribuidos en la arena a causa de las corrientes del fondo.

El límite al oeste del claro coincide con una pradera de posidonia de formación más reciente, que recubre una serie de antefijas dispuestas en filas paralelas y sobrepuestas, aunque hicieran parte de la carga de la embarcación (fig. 12). En base a los hallazgos efectuados en el curso de las campañas 1997-98, se ha pensado que la embarcación pudiese yacer inclinada sobre un lado con la quilla a tierra y el lado de estribor apoyado directamente sobre el fondo, que

en aquel punto desciende suavemente hacia mar abierto. Esta posición de los restos justificaría la particular distribución de la carga y su vasta dispersión, pero indicaría también que el casco de la nave, o lo poco que debería quedar, yace bajo la pradera de posidonia más reciente, hipótesis que parecería confirmada por el perfil mismo de la formación, que se eleva máximo un metro del nivel enfrente de la plazoleta de arena. Los restos, por consiguiente, habrían permitido la acumulación de sedimentos transportados por la corriente y posteriormente, el asentamiento de la posidonia probablemente también se habría beneficiado de la presencia de materiales orgánicos en descomposición.

Con el fin de verificar tales hipótesis, en el curso de la campaña de estudio de 1997 fueron efectuadas extracciones de muestras del fondo siguiendo las directrices individuadas por la base, a la cual se había enganchado el trazado, tesis para verificar sea la presencia de materiales arqueológicos debajo de la matte, sea para caracterizar las capas de recubrimiento metiéndolas en relación con la estratigrafía precedentemente encontradas en el sitio.

El estudio de las muestras estratigráficas, ejecutado con los instrumentos propios de la geología y de la sedimentología (Mafferi 2000), ha proporcionado información preciosa sobre la composición de las capas de recubrimiento del fondo, tanto para permitir hacer una hipótesis sobre la dinámica de cubrimiento de los restos después de su hundimiento.



Fig. 13:
Estratigrafía del sitio

En el curso de las investigaciones arqueológicas y de las campañas de descubrimiento y muestreo de los materiales, se había podido comprobar la existencia de una estratigrafía bastante simple y definida, sobretodo a partir de la base de la mattemás antigua, sujeta a fenómenos cíclicos de erosión causados por las corrientes del fondo. En particular la capa arqueológica constituida por los alineamientos de las tejas sobrepuestas apoyadas sobre una capa de arena grisácea, relativamente fina y sutil, denominada US(4) bajo la cual se vislumbraban dos formaciones diferentes: la US(5), constituida por una arena fina y clara y la US(6) de consistencia más compacta, color gris oscuro y composición marcadamente más limosa. El material arqueológico era a su vez recubierto por una capa de arena relativamente gruesa y de una capa de posidonia de espesor muy variable entre la parte de asentamiento antiguo hacia el este y la nueva pradera en el lado hacia la tierra.

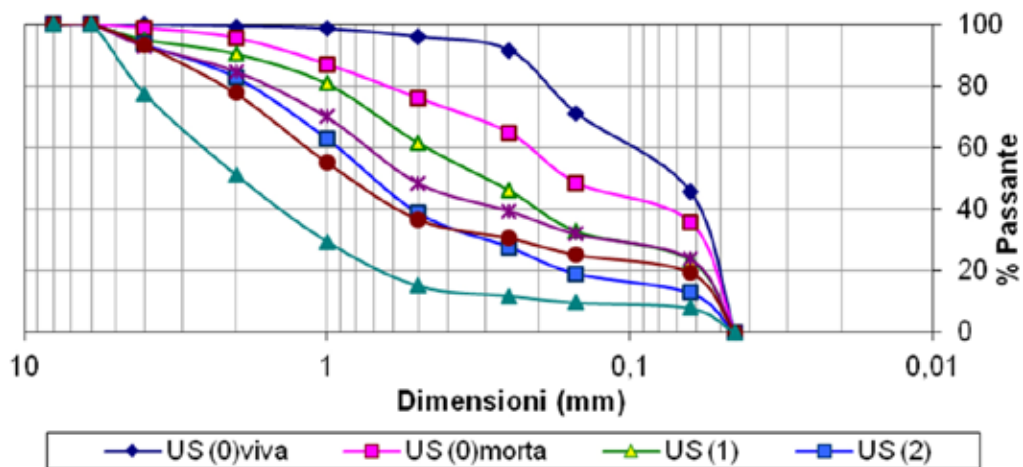


Fig. 14:

Tendencia en comparación de las curvas granulométricas promedio de las unidades estratigráficas individuadas en el área de los restos de las antefijas.

A esta esquematización se había hecho referencia en un primer momento efectuando la toma de muestras de cada capa visible (fig. 13), cuyo análisis habría proporcionado una primera información sobre su composición, para confrontar, posteriormente con los resultados del análisis estratigráfico de las muestras tomadas siguiendo directrices precisas.

La lectura de las secciones de fondo inmediatamente se reveló compleja y difícil de interpretar sin un adecuado soporte analítico: el aspecto de muchas

de las capas de recubrimiento es a menudo muy similar en cuanto a color y granulometría, así que algunas veces no es posible distinguir con certeza el límite de la sedimentación y atribuir, de consecuencia, la capa en una precisa fase disposicional. La secuencia estratigráfica de las muestras era, sin embargo, siempre definible a tal punto de poder aislar cada uno de los niveles y muestrearlos separadamente para ponerlos en marcha en las investigaciones científicas.

El aspecto más interesante de toda la investigación resultó ser el análisis granulométrico de cada unidad, que proporciona la curva de distribución de las fracciones de partículas de sedimento que pasan a través de tamices de malla definida. La curva que se obtiene es característica del sedimento y puede ser confrontada con aquellas de las demás capas de tal manera que se puedan individuar analogías o diferencias entre ellas. La figura 14 muestra la tendencia de las curvas obtenidas de las diferentes unidades estratigráficas analizadas, agrupadas por analogía para poder calcular el valor promedio.

Las curvas describen una zona de distribución bastante amplia que permite separar las diferentes unidades estratigráficas. Al fondo encontramos la US(6), de composición limosa y de granulometría fina, cuyo origen deriva tanto de la degradación del sustrato rocoso, como de la alteración progresiva, pero lenta, de una fase biológica más antigua asentada en la roca. Las US(5) y US(4) presentan ligeras variaciones de la granulometría, pero con composición del todo confrontable, que confirman la tendencia de acumulación de materiales prevalentemente minerales de origen detrítico y de contribución externa inducida por las corrientes y el movimiento ondoso. Sobre esta capa, que ya en la antigüedad tendían a nivelar el fondo, se depositan los restos, denominados US(3), y se dispersa el material arqueológico.

El proceso de acumulación de sedimentos genera la US(2), rica en fracciones de naturaleza organogénica (madrépora y conchas), que recubre parcialmente el yacimiento arqueológico y contiene los materiales que cada vez vienen extraídos naturalmente del estado primario. Se desarrolla, así, la primera pradera de posidonia, la más exterior y alta, que recubre parte de la carga dispersa y aumenta hasta formar una barrera protectora hacia mar abierto.

Esta nueva morfología favorece la disposición de la US(1), que está constituida por arena detrítica cuarzosa y en continua evolución según las corrientes del fondo, que recubre las piezas dispersas y viene retenida en parte por los rizomas de la posidonia. De diferente estructura las dos unidades pertenecientes a la matte, respectivamente la US(0)Muerta e la US(0)Viva, ya que son representadas por fracciones arenosas en promedio gruesas y diferentemente dispersas: ligeramente más fina y compacta la fase pertinente a los rizomas muertos y

en lenta descomposición, más suelto y ventilado el sedimento en el cual son inseridos y los rizomas activos de la posidonia en su fase vegetativa.

Parece claro como las características del fondo puedan influir en la conservación de un sitio y de los materiales que de él hacen parte, pero parece también evidente que el efecto final de protección o degradación del material arqueológico es el resultado de una sinergia compleja entre todos los factores que contribuyen a definir el ambiente de yacimiento.

3. LOS SITIOS DE YACIMIENTO

La influencia de cada uno de los factores que caracterizan los ambientes de yacimiento generalmente cambia con el tipo de ambiente natural en el cual el sitio se encuentra. Para una mayor claridad de exposición examinaremos a continuación las tipologías ambientales correspondientes a una mayor frecuencia de hallazgo, buscando evidenciar caso por caso cuáles son los factores que más influyen en los procesos de degradación de los materiales.

3.1. Ríos

Los hallazgos arqueológicos en el cauce de los ríos son relativamente modestos, a menos que estos no presenten particulares condiciones de desplazamiento o variaciones de curso; por otra parte una gran influencia sobre la probabilidad que se forme un yacimiento arqueológico fluvial es debida al carácter mismo del curso del agua, ya que es evidente que un río de carácter torrencial con el caudal extremadamente variable en función de las condiciones meteorológicas, difícilmente podrá dar origen a capas sedimentarias capaces de proteger adecuadamente el material arqueológico. Al contrario un río en fase madura, con el cauce estabilizado a un caudal de régimen constante, o de cualquier manera con variaciones relativamente importantes en el curso del año, permiten tener tanto fenómenos de erosión como de deposición en la orilla según el caudal, la velocidad de la corriente y la tortuosidad del trayecto. Sitios arqueológicos en la orilla, podrán estar bien conservados o expuestos a la acción de degradación si se encuentran en el área de acumulación o de excavación. La corriente, por consiguiente, unida al tipo de sedimento transportado, juega un

papel fundamental en la probabilidad de conservación del lugar.

El nivel de oxigenación es generalmente alto, así que todos los procesos de oxidación se desarrollan con una velocidad elevada, mientras la influencia de la radiación luminosa, de la concentración de CO₂ y del pH es relativamente menos importante. La presencia de una especie biológica, por el contrario, puede jugar un papel primario según la posición del yacimiento arqueológico: en el caso de localizaciones al centro del cauce, donde generalmente al corriente es mayor, el crecimiento de especies de algas o de plantas es escasamente favorecida, mientras podrán verificarse desarrollos localizados de especies micro-biológicas agresivas sobretodo en lo que respecta a los materiales orgánicos.

La situación cambia en orillas donde la acumulación de sedimentos y la reducida velocidad de la corriente favorecen el crecimiento de plantas y de algas, que modifican las condiciones de yacimiento con los mecanismos descritos en los párrafos precedentes. En estas condiciones es evidente que los materiales podrán sufrir los procesos de alteración en función de su naturaleza y de sus características intrínsecas. En general, de cualquier manera, podemos decir que los materiales orgánicos y aquellos metálicos son los que más rápidamente se degradan, mientras que las piezas cerámicas y de piedra tienen una buena resistencia a la alteración.

Los canales y los ríos de poco caudal y baja velocidad de corriente son aquellos que más favorecen la formación de yacimientos protectores, ya que la velocidad de sedimentación es generalmente mayor de aquella de excavación; en estas condiciones los materiales arqueológicos son cubiertos por capas más o menos espesas y compactas de limo y arena que disminuyen los procesos de degradación activos de muchos factores potencialmente agresivos. Materiales orgánicos, metálicos y cerámicos tienen, así, una elevada posibilidad de no sufrir alteraciones importantes ni de composición química ni de estructura.

En todas las situaciones ambientales, finalmente, y en general para todos los materiales orgánicos, es cierto que la baja temperatura del agua favorece su buena conservación ya que disminuye la cinética de las reacciones químicas de degradación y el desarrollo de las especies biológicas patógenas.

Las piraguas del Rio Bacchiglione (Padova)

Como en tantos otros casos, también las embarcaciones de un sólo tronco del río Bacchiglione de la provincia de Padua, fueron descubiertas fortuitamente durante trabajos de extracción de arena por parte de una empresa local: quizás a causa de los trastornos del fondo, o quizás por un golpe del cubo de la retroexcavadora, apareció en la superficie la parte terminal de un grande tronco cuidadosamente excavado

para hacer una embarcación. La exploración realizada por la Superintendencia arqueológica del Véneto con el soporte técnico del Club de buzos de Padua permitieron verificar que la pieza era de grandes dimensiones con la longitud de una porción superior a los 11 metros, mayor que otras embarcaciones del mismo tipo, ya que de dimensiones inferiores eran las encontradas en aquel tramo del río. Obviamente, después de esta emergencia, fueron suspendidas las operaciones de excavación de arena y se puso en marcha el desarrollo de un proyecto para la recuperación de la embarcación con la contribución del Museo Cívico de Padua, donde finalmente se alojan los hallazgos, y de las alcaldías interesadas en la recuperación. Para octubre de 1972, a apenas dos meses del descubrimiento, se efectuó la recuperación de los cascos que resultaron estar bien conservados y de buena factura, tanto de poder atribuirlos a la edad de bronce, también por el descubrimiento en la misma área de piezas metálicas referibles al mismo período. Obviamente la noticia tuvo un gran eco tanto en la prensa local como en la nacional ya que, en efecto, era la primera vez que se hallaba una piragua entera de una longitud de aproximadamente 19 metros efectuando la recuperación con procedimientos atentos a la conservación y lo más importante dentro del contexto de un proyecto global de restauración y exposición en museo.

En espera de la realización de la restauración, las piraguas fueron alojadas en las instalaciones del antiguo matadero de la localidad de Selvazzano y sometidas a una simple limpieza del lodo del fondo y a un mantenimiento de rutina para mantener el estado de saturación del agua; mientras tanto fueron tomadas algunas muestras de madera para comenzar los análisis de datación mediante la técnica del $C14$ en los laboratorios del Instituto de geoquímica de la Universidad de Roma. Al mismo tiempo, el Instituto de madera de Florencia proporcionaba los análisis sistemáticos de la esencia leñosa revelando, por una parte, que todas las piraguas habían sido obtenidas de troncos de roble, pero también que el estado de conservación de los materiales era demasiado bueno para una datación tan antigua como aquella sostenida sobre bases arqueológicas.

La solución del problema vino sólo hasta 1979 cuando los análisis de datación confirmaron que todas las embarcaciones eran contemporáneas, pero únicamente datables al 700-800 D.C., es decir de la Edad Media. Un error de interpretación del dato arqueológico, esto, indudablemente causado por la presencia de los materiales de más antigua datación en relación con los cascos, pero refutable, inmediatamente, en base al óptimo estado de conservación de la madera, favorecida por las condiciones de yacimiento y por el sellado de las piezas en una espesa capa de arena, y por la ausencia de una precisa conexión entre las diferentes piezas, no habiendo realizado una investigación arqueológica con criterios estratigráficos.

3.2. Lagos

Las características de los ambientes lacustres pueden cambiar incluso mucho en consecuencia de la génesis misma de la cuenca y de su extensión: los grandes lagos alpinos del norte de Italia, así como aquellos de Norteamérica o de las regiones andinas tienen profundidad y masa crítica de notable importancia, así que en ellos se vuelven importantes algunos factores de degradación, como la velocidad de las corrientes y la intensidad del movimiento ondoso, pero también la difusión de la radiación luminosa, las características del fondo y la composición mineralógica de la cuenca misma.

Las concentraciones de oxígeno son generalmente elevadas, pero en situaciones particulares de sedimentación se pueden verificar condiciones reductoras que favorecen la conservación de metales, así como la baja salinidad y la acidez casi próxima a la neutralidad. La actividad biológica se diferencia en las diferentes formas relacionadas con la morfología de la cuenca, aunque si, en cada caso, ésta será máxima en proximidad de las orillas e influirá en la degradación de los materiales en función de sus características estructurales de composición.

Las cuencas lacustres de menor dimensión y caracterizadas por el depósito de sedimentos limosos presentan una mayor tendencia a la buena conservación de los materiales, independientemente de su profundidad y de la génesis geológica. Aunque si completamente diferentes en cuanto a composición del fondo, morfología y génesis, el lago de Varese y el de Bracciano (Roma) han mostrado la misma capacidad de garantizar la conservación de sitios palafíticos asentados en la orilla gracias a la elevada velocidad de sedimentación y de cubrimiento de los yacimientos. Obviamente las condiciones reductoras que se establecen en el fondo retrasan los procesos de oxidación de los materiales y de óxido-reducción de los metales, tanto que en estos sitios es posible recuperar piezas cerámicas aún con el brillo del barniz u objetos de hierro sin productos de corrosión.

En cuanto a la influencia de los factores biológicos, vale cuanto ya se ha dicho en los párrafos anteriores, ya que también en estas cuencas lacustres se tiene una neta diferenciación entre la actividad de las especies de algas y las plantas lacustres, y aquella bioquímica de los microorganismos, tales como hongos y bacterias.

El pueblo neolítico de “La Marmota” en el lago de Bracciano (Roma)

La excavación de este pueblo neolítico tuvo inicio en 1989 cuando, durante los trabajos de excavación del fondo para tender una tubería de captación de agua

para alimentar la red hídrica de la ciudad de Roma, se encontraron numerosos fragmentos de palos de trabajo claramente pertenecientes a un sitio palafítico.

El yacimiento se encuentra a aproximadamente 350 metros de la orilla a una profundidad que varía de los 14 a los 18 metros en la localidad de “La Marmota” en un ambiente caracterizado por la presencia de algas y de sedimentos limosos, que hasta el momento del descubrimiento, habían sellado el yacimiento arqueológico en una capa estéril, garantizando la buena conservación de los materiales.

Ya en la primera campaña de emergencia realizada en el mismo año fueron recuperados aproximadamente 200 elementos leñosos pertenecientes a los palos de apoyo de las cabañas y también al tablaje del suelo, todos con un estado de conservación que se podría decir discreto desde el punto de vista del mantenimiento de la forma, mientras era preocupante desde el punto de vista del estado de compactación de la fibra de la madera: los fragmentos leñosos mostraban claras señales de degradación tanto por su marcada consistencia espumosa (índice de una elevada pérdida de celulosa), como por la discontinuidad estructural en las secciones transversales, acentuada por el crecimiento de algas filamentosas al interno de los grandes vasos de la madera. La presencia de estas algas, además, testimoniaba que aquellos elementos leñosos habían sido sacados del fondo al momento de su extracción forzada y que, por consiguiente, habrían podido ser fácilmente individuados si se hubiese hecho una exploración subacuática antes de la puesta en marcha de los trabajos de excavación. Por otra parte, este particular yacimiento justificaba también la fuerte degradación de los leños y su poca resistencia mecánica.

La continuación de las excavaciones a partir de 1992 puso en evidencia algunas estructuras de cabañas, aún bien conservadas debajo de la espesa capa de limo del fondo, al punto de poder pensar en una reconstrucción en escala 1:1 del pueblo en la misma localidad de descubrimiento del antiguo. Fueron además, identificadas dos piraguas aún bien conservadas, una de las cuales fue posteriormente recuperada y sometida a restauración. Se trata de una embarcación de longitud de aproximadamente 10 metros obtenida de un tronco de árbol de roble mediante la excavación con hacha de piedra y provista de refuerzos transversales internos con el fin de hacerla más apta para la navegación inclusive en aguas más movidas que las de aquel lago. La cuidadosa elaboración del casco, sea al externo que al interno, confirma la pericia de los maestros del hacha de la época: el descortezado del tronco mejora el deslizamiento en el agua, el casco plano favorece el planeo del barco, mientras que la quilla en la zona de popa facilita la maniobra con el remo timón. Todas estas indicaciones confirmaban que la población debía tener una vocación marítima marcada, como también lo demuestran los numerosos modelos de arcilla encontrados en las cabañas.

Una anotación particular se debe hacer por las piezas cerámicas, las cuales, además de presentar una notable variedad de formas y de decoración, mantenían, al momento de la recuperación, el estado de resplandor metálico propio de una pieza inalterada. Este fenómeno era debido tanto a la particular técnica de alisado de las paredes antes del cocido, como a las particulares condiciones de conservación en la fase de yacimiento. La capa sellante de sedimento limoso garantizaba una baja concentración de oxígeno y condiciones constantes de temperatura y acidez, que venían disminuidas al momento de la excavación y que se anulaban hasta volcarse en el momento de la recuperación. De hecho, en el momento mismo en el cual la pieza perdía agua secándose sin haber sufrido las necesarias intervenciones de primera restauración, su superficie perdía aquel característico brillo metálico que subrayaba la cuidadosa elaboración.

3.3. Turberas

Las turberas son las últimas fases de entierro de pequeñas cuencas lacustres generalmente subalpinas o morenas: la cuenca hídrica privada de emisarios, se entierra siempre más, gracias a los sedimentos de aporte externo hasta transformarse primero en pantano y finalmente en turbera. En este ambiente se encuentra generalmente una elevada concentración de materiales celulosos en transformación lenta y anaeróbica, dadas las fuertes condiciones de reducción del sistema. En el proceso de degradación el tejido leñoso cede al ambiente agua algunas fracciones solubles, como los taninos y los tanatos, mientras la celulosa y la lignina del tejido leñoso sufren un proceso químico de mineralización que reproduce la transformación en carbono. La elevada concentración de tanino favorece, además, la conservación de materiales orgánicos, sea de celulosa que de base proteica, mientras las fuertes condiciones de reducción, permiten una reducción completa de los procesos óxido-reductivos de los metales.

La turbera de Fiavé (Trento)

El sitio tuvo origen alrededor del 2100 a.C. cuando vino fundado, en la ribera de un vasto y profundo lago morénico, un pueblo sobre palafitos que se extendió sobre una amplia superficie y que tuvo un largo período de frecuentación. La comunidad allí establecida desarrolló una notable habilidad manual y debió gozar de largos períodos de tranquilidad como lo demuestran la amplitud de la población antigua y la fundación de un segundo asentamiento alrededor del 1400-1300 a.C. (Perini 1983).

El descubrimiento del poblado fue completamente accidental y se debió a la utilización de la turba como material de combustible por parte de la ‘Cinquen et Ennis’ una empresa local que, a partir de 1855, inició la extracción del material del ‘Palù’ que ocupaba el cauce de antiguo lago.

Las primeras investigaciones arqueológicas se remontan a 1883, pero fue sólo hasta 1969 cuando el Museo Tridentino de Ciencias Naturales dio inicio a una investigación sistemática que se prolongó hasta 1976. Los resultados de las excavaciones sistemáticas (Perini 1971) son de gran importancia por la reconstrucción de las técnicas constructivas de las habitaciones, como también por la exactitud de la descripción y del estudio de la cultura material de los dos asentamientos (Perini 1987) objeto de las investigaciones.

Además de los numerosos descubrimientos de industria lítica, característicos de todas las poblaciones de este período, fueron recuperados varios objetos metálicos, especialmente cuchillos y hachas de bronce, como también alfileres, agujas y adornos, todos perfectamente conservados gracias a las condiciones de sellado del sitio en capas fuertemente reductivas. Esta misma condición de carencia de oxígeno favoreció también la conservación de los materiales orgánicos y de múltiples piezas de hueso referibles a la vida diaria de los dos poblados. De hueso estaban hechas las agujas y los punzones, los peines y los pendientes de los collares, también las asas de los cuchillos. Su estado de conservación parecía más que bueno al momento de la recuperación, a pesar de la tendencia de estos materiales a perder consistencia cuando en su estructura queda solo la parte inorgánica desapareciendo la fracción orgánica de naturaleza proteica. En este proceso de alteración la porosidad del material, liberada por el componente orgánico, se satura rápidamente con agua del sitio favoreciendo la distribución de sales disueltas en cada parte de la pieza. Si bien en algunos casos la circulación de especies salinas puede incrementar la resistencia de material con mecanismos de mineralización, en otros la agresividad de las soluciones circulantes puede causar la fragilización. En condiciones de circulación de agua tánica y pobre de oxígeno la conservación es claramente favorecida.

De gran interés fueron después, los materiales orgánicos descubiertos en el curso de las excavaciones: cucharas, cuencos, recipientes, una pica y una hoz, ganchos de arado y asas de hacha mostraban un estado de conservación sorprendente a pesar de los miles de años de yacimiento en un ambiente subacuático. Hay que decir, sin embargo, que la conservación de las piezas no implica necesariamente que el material no haya sufrido daños irreversibles en el curso de su yacimiento arqueológico. Todos estos materiales, de hecho, fueron inmediatamente sometidos a tratamientos conservativos hasta conducirlos a la restauración con

metodologías técnicamente avanzadas. De esta manera se pudo conservar un sombrero tejido en un telar de madera, único en su género, mientras que los restos de una canasta fueron embebidos en resina epoxi, haciendo imposible conservarlos en su totalidad.

En el complejo la operación completa es digna de elogios por la organización total del trabajo y por la atención prioritaria puesta a la conservación de los materiales recuperados. Por el contrario hay que destacar como, en el curso de las excavaciones la falta de realización de obras de protección temporal haya llevado a la degradación de los palos y de las estructuras de los palafitos, con un daño irrecuperable a éstas.

3.4. Pozos y cisternas

Se trata de ambientes bien particulares que en la realidad italiana han adquirido importancia ya que conservan pistas de la vida cotidiana de los lugares en los cuales se encuentran; a menudo estas cavidades han sido utilizadas como rellenos sanitarios antes de ser enterrados por eventos fortuitos o intencionales.

Las condiciones de conservación naturales son aquellas de una cauce de agua dulce, a pH neutro y bajo contenido salino, sin corrientes y con una elevada velocidad de sedimentación de sólidos suspendidos. Se generan así condiciones fuertemente reductivas en ausencia de la actividad biológica que generalmente permiten una buena conservación de los materiales.

Por el contrario, el uso de una cisterna como relleno sanitario de materiales de diferente naturaleza genera condiciones de acidez y de contaminación biológica y química incluso bastante agresivas con las piezas, sobre todo si se considera que se encuentra en un ambiente de limitada circulación de agua. Estas condiciones se presentan menos cuando el sitio se sella por enterramiento debido a causas naturales o a eventos traumáticos. Se reduce la circulación de oxígeno en las capas y los procesos de degradación biológico y químico-físico se detienen o evolucionan con una velocidad muy baja.

El estado de conservación que se verifica en las piezas extractadas de estos sitios, por consiguiente, representa en la mayor parte de los casos, la degradación de la pieza al momento del entierro.

Los materiales bizantinos de Crecchio (Chieti)

En los años 1988-1991 fueron conducidas, por obra de la Superintendencia

arqueológica de los Abruzos con el apoyo del Archeoclub de Italia (sección de Crecchio), excavaciones sistemáticas en el área del Castillo de Crecchio (sobre la costa adriática) que terminaron con la recuperación de un patrimonio de notable valor (Staffa & Pellegrini 1993).

Particularmente productivo por número y calidad de los materiales encontrados, fue la excavación de la cisterna del asentamiento romano-bizantino de Vassarella-Casino Vezzani de Crecchio, ya que el sellado del sitio garantizaba la posibilidad de analizar un contexto aislado y precisamente datable de los siglos VI-VII de la dominación bizantina del área.

Al momento de la excavación, la cisterna, que había sido realizada con hormigón y revestida con un revoque hidráulico, aparecía parcialmente derrumbada y llena de agua y fango; condiciones que hacían la excavación más difícil, pero que podían haber garantizado una discreta conservación de los materiales. Desde las primeras fases de actividad, los arqueólogos comprendieron que se encontraban de frente a un yacimiento bien definido desde el punto de vista temporal en el cual se habían acumulado numerosos objetos cerámicos de origen oriental y africano.

De particular interés resultaron algunas piezas de bronce (tazones, cucharones, asas de jarras) referibles a importaciones del Oriente y a una producción copta con un estado de conservación variable: en algunos casos se conservaba la superficie original aún brillante sin pátina de corrosión, mientras las piezas de mayor uso eran mucho más degradadas y presentaban vistosas señales de restauración antigua. Para todos se deducía que la degradación había sucedido en la fase de yacimiento con mecanismos electroquímicos relacionados a las variables condiciones de entierro (circulación de agua y presencia de oxígeno).

El mayor problema de conservación de los materiales extraídos de la cisterna, era lo referente a los hallazgos orgánicos: algunos elementos de una silla incluido el asiento de paja, bandejas, fragmentos de cajas, peines, que al análisis confirmaron una degradación promedio aproximadamente del 75% independientemente de la especie arbórea de pertenencia. Se trata de un valor elevado compatible con un ambiente de conservación en el cual a la circulación de agua va acompañado de una elevada contaminación biológica, ambas causadas por la pérdida de materiales celulosos del tejido leñoso³.

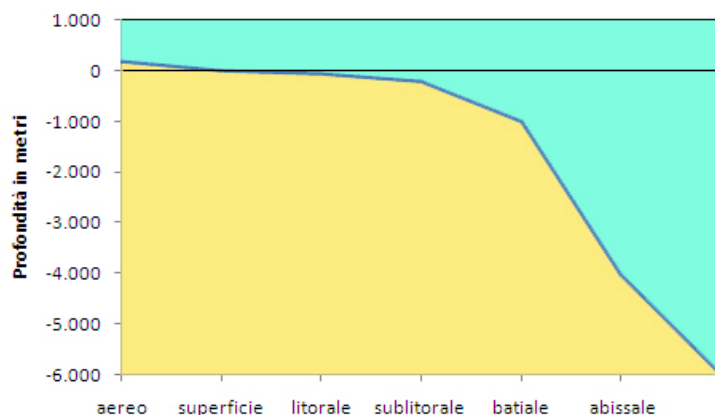


Fig. 15:
Clasificación de los
ambientes marinos

3.5. Mar

El ambiente marino se diferencia de todos los otros ambientes subacuáticos sea por la elevada concentración salina, sea por la variedad de situaciones que en ella se pueden encontrar. La figura 15 muestra las zonas de pertenencia de los ambientes marinos en relación al ambiente aéreo identificando los respectivos límites de profundidad: la zona litoral muestra hasta los -50 metros de profundidad y es aquella que viene normalmente investigada con medios tradicionales. La zona sublitoral alcanza una profundidad de -200 metros y es aquella que actualmente viene investigada con medios especiales, mientras las zonas batial y abisal, a pesar de que conservan los restos arqueológicos de los naufragios mejor que las otras, son objeto de investigaciones exclusivamente científicas y orientadas a la explotación de materias primas. Obviamente los valores de los parámetros ambientales cambian en las diferentes profundidades, y por consiguiente, se modifican también la velocidad y el mecanismo de alteración de los materiales; la zona litoral es aquella que mayormente es afectada por estas variaciones y en ella también la morfología de la costa asume un papel importante visto que algunos de los parámetros mayormente responsables de la degradación sufren notables variaciones (Tabla 3).

Los datos indicados se refieren a dos tipos de ambientes, que bien aproximan la mayor parte de las situaciones en las cuales pueden encontrarse los yacimientos arqueológicos: como se puede ver, las variaciones más

3. cfr. Staffa & Pellegrini (cit.), pp. 54-57.

significativas para la conservación son aquellas de la concentración de H₂S y del potencial redox, pero también las modificaciones aparentemente mínimas, del pH y de la concentración de oxígeno se vuelven importantes para la conservación de los diferentes materiales cuando se meten en relación con el tipo del yacimiento y con el particular ambiente de ubicación. En general, se intuye de inmediato que los yacimientos de profundidad tienen una elevada probabilidad de excelente conservación, mientras es por lo general cierto que en las cuencas cerradas, los procesos de degradación son relativamente más lentos según el tipo de material y de las condiciones de protección y de cubrimiento del sitio.

Parámetro	Ambiente marino abierto	Ambiente marino cerrado
Temperatura máxima °C	25	16
Salinidad de superficie (‰)	35	19
Salinidad al fondo (‰)	35	30
Oxígeno de superficie (cc/litro)	6	6
Oxígeno al fondo (cc/litro)	1	0
CO ₂ de superficie (cc/litro)	46	46
CO ₂ al fondo (cc/litro)	46	46
H ₂ S de superficie (cc/litro)	0	0
H ₂ S al fondo (cc/litro)	0	9
Acidez (pH) de superficie	8,2	8,0
Acidez (pH) al fondo	7,8	7,0
Potencial redox de superficie (Eh)	0,4	0,1
Potencial redox al fondo (Eh)	0,3	-0,3

Tabla. 3:

Variación de los parámetros ambientales en ambiente marino

Los despojos del Mar Negro

El Mar Negro representa un evidente ejemplo de cuánto las condiciones de oxigenación de las aguas y su eventual contaminación con sustancias disueltas de diferente naturaleza pueden, en casos totalmente favorables, hacer posible la desaceleración de la degradación, en particular, de los materiales orgánicos. La profundidad de los yacimientos, además, aumenta la probabilidad que al menor daño bioquímico se sumen la ausencia de movimiento ondoso (estrés mecánico) y el cambio de los gases disueltos (sobre todo el oxígeno), haciendo que los procesos de degradación de los materiales alcancen una velocidad próxima a cero. La presencia de

dichas condiciones ambientales en los fondos marinos del Mar Negro, pobres de oxígeno y ricos de hidrógeno sulfurado, ha hecho posible el hallazgo, a una profundidad de 91 metros, de los restos de una cabaña, cuyas paredes habían sido realizadas con un amasijo de barro y paja y un enrejado de cañas, con el contenido de objetos de su cotidianidad. El examen de los materiales, realizado por el equipo del Dr. R. Ballard, a través de observaciones directas y filmaciones de video de alta definición, realizadas gracias a un mini sumergible específico equipado para las investigaciones arqueológicas, hizo posible fechar el asentamiento al 7.500 a.C, es decir, a una fase del Neolítico en la cual la zona estaba por fuera del agua y, presumiblemente, habitada y aprovechada desde el punto de vista agrícola. Sobrepassando las hipótesis hechas sobre la sumersión del sitio y la génesis del mar interior, es necesario decir que el estado de conservación de los materiales orgánicos, como resultan en las fotografías parece del todo satisfactorio, sobre todo si se relaciona con la edad del yacimiento y con la profundidad del sitio, factor, este último, que ha contribuido en gran parte a que el yacimiento no sufriera modificaciones estructurales debidas a los movimientos del agua y a los requerimientos mecánicos que dichos movimientos generan.

De diferente consistencia, aunque sea en el ámbito de una conservación casi óptima, parece ser el casco, o lo que queda de él, de una nave griega del período entre el V y el III siglo a.C. hallada por el mismo equipo en los fondos marinos cerca de la ciudad búlgara de Varna. Si bien la profundidad del sitio es mayor que en el caso anterior y la contracción de oxígeno al fondo es prácticamente nula, los investigadores registraron una degradación de la madera bastante elevada, mientras que resultaron perfectamente conservados unos pescados salados contenidos en ánforas aún selladas. Por lo tanto, las condiciones ambientales no favorecían la conservación de todos los materiales orgánicos, sino, al contrario, favorecían reacciones de alteración que pueden ser definidas selectivas. Sin embargo, en aquellas particulares condiciones anóxicas, los procesos de alteración de la madera pueden ser causados solamente por organismos anaeróbicos, es decir por reactividad química específica: la elevada concentración de sulfuro de hidrógeno (H_2S) hace posible el desarrollo de colonias de bacterias anaeróbicas que provocan la fragmentación de las estructuras de la madera operando una química selectiva sobre las moléculas que contienen azufre, reduciendo progresivamente la resistencia mecánica del tejido de madera. La recuperación de la pieza, por consiguiente, requiere particulares

atenciones con el fin de evitar daños irreversibles a la estructura.

4. TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN Y DEGRADACIÓN DE LOS MATERIALES.

Para poder comprender los mecanismos de degradación de los materiales es necesario adquirir un conocimiento preliminar de su estructura y de su composición química, pero también de las tecnologías utilizadas para la elaboración de las materias primas y para la producción de las piezas. A fin de obtener estas informaciones de base, en seguida se examinarán las diferentes clases de materiales que pueden ser parte integrante del yacimiento arqueológico, haciendo algunas consideraciones sobre la influencia que las tecnologías de producción tienen sobre la estructura de la pieza y sobre su resistencia a la degradación.

4.1. Cerámicas y vidrio

Estos dos productos sintéticos, se obtienen a partir de materiales naturales silicios (las arcillas y las arenas) que se someten a tratamientos particulares antes de ser cocidos. El proceso tecnológico se desarrolla en tres fases diferentes:

- La purificación,
- La mixtura,
- La cocción.

Obviamente, las características peculiares del producto final son muy diferentes en las dos clases de objetos y, en el ámbito de la misma clase, éstas varían incluso mucho con la tecnología de producción.

4.1.1. Las arcillas y los minerales de las arcillas

Desde el punto de vista de la clasificación geológica, se define “arcilla” una roca clástica de origen sedimentario y a menudo incoherente que está constituida por partículas que, generalmente, tienen dimensión inferior a 30 μm . Cuando el componente de carbonato está comprendido entre el 10÷20% la roca se clasifica como “arcilla margosa”, si los carbonatos están entre el 20% y el 35% estamos en presencia de una “marga arcillosa”, una concentración de carbonatos de más

del 35% identifica una “marga”.

Las arcillas están constituidas por:

- Un “esqueleto” (dimensiones de las partículas en el intervalo 60÷4 mm.) de material no arcilloso poco activo pero con una marcada influencia sobre la permeabilidad de las arcillas mismas; la fracción cristalina de esqueleto comprende fragmentos de cuarzo, plagioclasas, K-feldespatos, micas, calcitas, dolomitas, zeolitas; la fracción amorfa está constituida por vidrio volcánico y ópalo;
- Una “matriz” de minerales arcillosos (illita, esmectita, caolinita, clorito) a reducida granulometría (menor de 4 μm.) y elevada actividad superficial debida a las pequeñas dimensiones de las partículas y al elevado desorden estructural. La matriz está en condiciones de:
 - absorber iones, agua o moléculas orgánicas,
 - absorber agua o moléculas orgánicas;
 - intercambiar iones de metales.

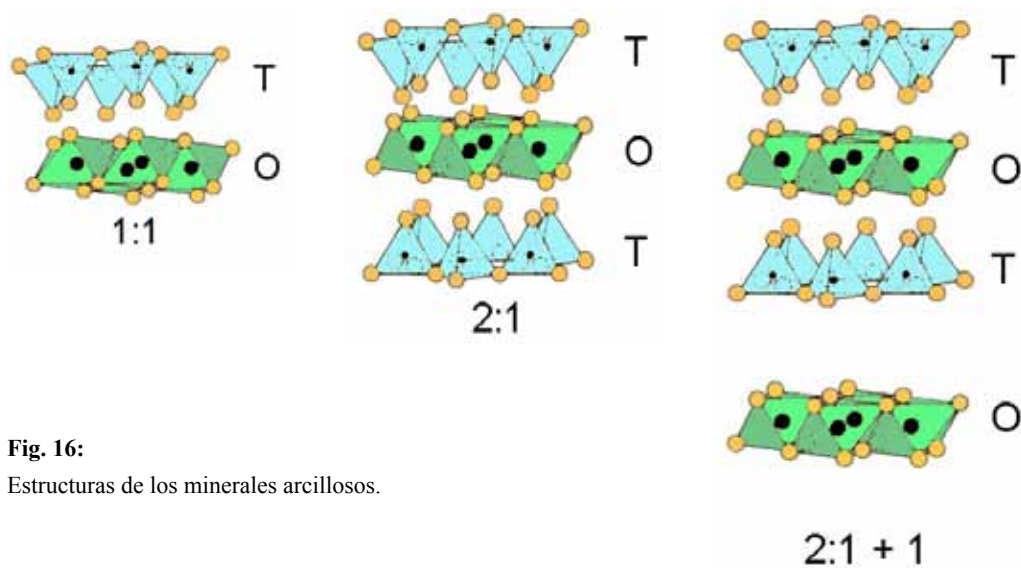


Fig. 16:

Estructuras de los minerales arcillosos.

Es posible también encontrar en la masa la presencia de micelas de sustancias orgánicas no siempre uniformemente distribuidas. La estructura de los minerales arcillosos es responsable de algunas de las características de los productos de cerámica y de las modificaciones químicas que sufren durante la cocción. Examinando en detalle la estructura microscópica de las arcillas, nos damos

cuenta que las conexiones entre los paquetes que constituyen las unidades estructurales pueden ser de tres tipos (fig. 16):

- conexión a hidrógeno en las estructuras cerradas 1:1,
- fuerzas de Van der Waals en las estructuras más complejas pero con unidades estructurales neutras,
- conexiones iónicas en las estructuras con unidades estructurales con carga.

Estas estructuras filosilicatos se agregan en cristales que tienen una diferente morfología:

- enrollados (hallosite-10 Å; estructura 1:1 abierta),
- planos a contornos hexagonales (caolinita; estructura 1:1 cerrada),
- láminas a bordes mellados (illita; estructura 2:1 con catiónicos y agua entre los paquetes).

El agua está presente en las arcillas en relación muy variable respecto a la parte sólida. Ella puede ser soltada por el mineral y regresar a su estructura más o menos con facilidad según la posición y la elasticidad de las mismas estructuras. En general, se distinguen diferentes tipos de agua: el agua al interno de la estructura de los minerales, que puede ser localizada entre los paquetes, en las cavidades y/o en los canales, y el agua de superficie, que está siempre presente como agua absorbida, es decir debida a la distribución de las cargas eléctricas en la estructura; las sedes pueden ser diferentes, pero la mejor absorción se verifica con una distribución no homogénea de las cargas.

El agua absorbida sobre la superficie funciona como agente cohesivo entre las láminas de filosilicatos o entre las láminas y gránulos de material inerte, un ulterior agregado de agua provoca la disminución de tales fuerzas tanto que se puede pasar de un estado suelto coherente al estado plástico, hasta llegar a un estado suelto totalmente incoherente.

4.1.2. Los materiales cerámicos

El comportamiento químico de las cerámicas, así como la mayor o menor resistencia de los objetos a la degradación inducida por el ambiente del yacimiento, depende de dos factores principales: la composición química y la tecnología de producción.

Composición química

El análisis elemental ofrece la composición del cuerpo cerámico en términos de porcentaje de concentración de elementos individuales o de sus óxidos. Los valores de composición obtenidos permiten identificar las correlaciones existentes entre diferentes objetos manufacturados, pero también las áreas de procedencia de las materias primas, con particular referencia a la arcilla y a los agregados minerales. La tabla 4 compara los valores de tres muestras de cerámicas arqueológicas que se diferencian entre ellas solamente para los valores de concentración de CaO, es decir de componente de carbonato original; la muestra 11, que tiene un contenido de CaO de un alrededor del 16%, resultará ser en promedio más flojo y degradable de los otros dos que contienen cantidades inferiores de óxido de calcio.

La tecnología de producción

La primera operación que se debe realizar para la elaboración de un objeto cerámico es la purificación de la arcilla a través de lavados continuos con agua corriente. La sedimentación de los detritos produce una arcilla fina y muy pura a la cual se añadirán oportunos agregados para facilitar el trabajo. Las características del cuerpo cerámico dependen del grado de depuración y de la naturaleza del agregado. La composición de la masa es responsable de la porosidad y de la dureza de la masa después de la cocción; las cerámicas depuradas, de hecho, son más resistentes a la degradación a pesar de tener paredes más sutiles que las correspondientes a una masa poco depurada.

GRUPPO	I		
	2	3	11
SiO ₂	62,08	59,05	53,48
TiO ₂	0,88	0,84	0,77
Al ₂ O ₃	19,32	17,99	16,32
Fe ₂ O ₃	7,38	6,86	6,32
MnO	0,15	0,15	0,08
MgO	3,25	3,37	3,95
CaO	3,19	7,83	16,03
Na ₂ O	1,36	1,23	1,41
K ₂ O	3,14	3,11	2,39
P ₂ O ₅	0,16	0,20	0,25
Totale	100,91	100,63	101,00

Tabla. 4:
Composición química de cerámicas

La naturaleza mineralógica del agregado influencia tanto la textura de la masa, como su porosidad después de la cocción, pero también la composición de la masa resultante; las cerámicas con elevada cantidad de calcita son más blandas, aquellas que contienen cloruros (procedente del agua de mar) son más blancas y se rayan con las uñas. El espesor de la masa, además, puede determinar una diferente organización del agregado y una discontinuidad en la estructura microscópica. Por último, el tipo de trabajo de la forma (torno, rodetes, moldes, etc.), determina la continuidad en la estructura del cuerpo cerámico y su particular porosidad.

Las técnicas de cocción

La temperatura de cocción garantiza que ocurran las transformaciones de la fase arcillosa, mientras que el tiempo de permanencia en el fuego, garantiza que se complete todo el espesor de la cerámica. Las modificaciones de composiciones y de estructura que se desarrollan durante la cocción están esquematizadas en síntesis en la tabla 5.

Temperatura °C	Química
100 - 150	Evaporación del agua absorbida
200 - 500	Descomposición de las sustancias orgánicas
450 - 600	Descomposición de las arcillas con pérdida del agua atada
600 - 800	Descomposición de los carbonatos
800 - 900	Inicio de la vitrificación
> 850	Recombinación de óxidos y vitrificación
> 900	Formación de neo-compuestos
> 1500	Fusión

Tabla. 5:

Modificaciones termoquímicas inducidas por la cocción

El intervalo de temperatura determinante para que el objeto adquiera propiedades mecánicas suficientes es por lo tanto comprendido entre los 400°C y los 650 °C: en este intervalo se verifica la descomposición de las sustancias arcillosas con la formación de los óxidos de aluminio, de silicio y de hierro que constituyen la masa amorfa del cuerpo cerámico.

El proceso de descomposición de los carbonatos con formación de óxido de calcio, si por un lado ayuda al proceso de fusión de la masa y su consiguiente homogenización, por el otro da origen a una especie química altamente reactiva

que tendrá la tendencia a combinarse con otros óxidos para formar nuevos compuestos, es decir, se transformará en hidróxido de calcio si es hidratada antes de su recombinación. Al éxito del proceso de producción de un objeto cerámico contribuyen algunos factores externos, como el tiempo de cocción y la tecnología del horno, además de factores internos como el espesor de las paredes del objeto y el grado de depuración de la arcilla. Es evidente, de hecho, que a paridad de composición, un objeto cocido en un horno vertical cerrado habrá sido sujeto a una transformación homogénea y óptima de sus componentes mineralógicos, lo contrario de un objeto cocido con llama directa, como en las producciones neolíticas. Las formas producidas con esta metodología, a menudo muestran evidentes señales de cocción diferente entre el interior y exterior, es decir, un espesor interno todavía no perfectamente cocido. Este tipo de secuencia estratigráfica, además, se identifica también en las paredes de gran espesor de los dolia, los cuales, debido a sus dimensiones, venían muchas veces cocidos en condiciones no óptimas, tanto que en sus paredes, espesas hasta siete centímetros, se podían generar hendiduras de retiro diferencial, sucesivamente selladas con coladuras de plomo (fig. 17), pero también podían permanecer variaciones cromáticas, índice de una diferente cocción de las distintas zonas.



Fig. 17:
Un Fragmento de dolium con sellado
de plomo

La composición mineralógica de la arcilla juega un papel fundamental en las características tecnológicas del objeto, así como la de la fracción mineral agregada para reducir los retiros y para modificar la porosidad del producto final. Como ilustran las figuras 18 y 19, la naturaleza de los minerales del esqueleto produce indicaciones muy precisas ya sea sobre el origen de los materiales, que sobre la tecnología de la producción. El esqueleto de cuarzo fuertemente redondeado indica, de hecho, el uso como agregado de una arena de silicato retocada de acción eólica, presumiblemente en un ambiente desértico: la cerámica, podría ser de

producción africana, donde a las características morfológicas de las arenas son del todo similares. Por el contrario, el agrado un componente de carbonato con una elevada concentración de fósiles, indica la proveniencia de una cuenca en la cual las rocas de carbonato del carbonífero afloran al punto de dar origen a arenas sueltas ricas de fósiles de gasterópodos: tales características del terreno se encuentran en el área del medio oriente identificada, en la antigüedad, como Palestina.

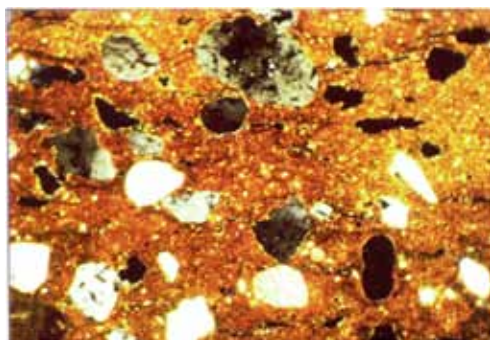


Fig. 18:
Esqueleto cuarzoso

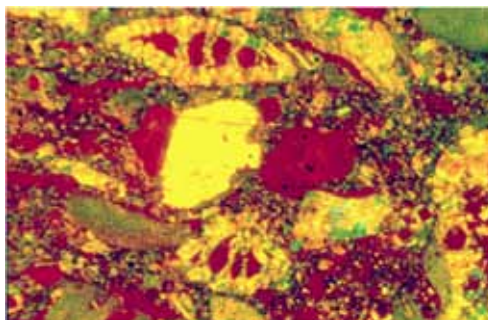


Fig. 19:
Esqueleto carbonático organógenos

Desde el punto de vista tecnológico, el color rojo de la masa de fondo confirma que la cocción de los dos objetos se hizo en ambiente oxidante, pero seguramente a temperaturas diferentes, vista la persistencia inalterada de las estructuras de carbonato en la pieza de procedencia oriental. Esta particularidad implica una diferente porosidad del cuerpo cerámico de los dos objetos y una consiguiente diversidad de dureza y de resistencia mecánica; propiedades que justifican también un diferente comportamiento en las condiciones de yacimiento subacuático.

Deterioro en ambiente subacuático

En la fase de enterramiento las cerámicas sufren procesos de diagénesis totalmente similares a aquellos de los materiales lapídeos en obra después de la extracción de la cantera. Los procesos de transformación química interesan los componentes menos estables (silicatos sódico-potásicos, fases vítreos con formación de vacuolas, fracciones limosas poco o no cocidas, incluidos calcáreos por la mayoría organógenos, etc.). La precolación de agua aumenta la velocidad de la degradación química, además acelerada por la presencia de la CO_2 disuelta, así que se pueden presentarse verdaderos procesos de transformación de la pasta

de fondo vítreo-silicático en productos arcillosos diferentes de aquellos iniciales (esmectitas o halloysitas según la temperatura del ambiente de reacción); en cada caso, sin embargo, se tiene la disolución parcial de la fracción calcárea perteneciente a la masa de fondo o al esqueleto y su recrystalización como calcita secundaria.

El yacimiento subacuático actúa de manera diferente según las condiciones del ambiente del fondo: si el elemento cerámico está expuesto a la acción del agua, pero protegido por aquella mecánica de las corrientes y del movimientos ondulados, se desarrolla solamente la actividad química de las aguas de circulación, tanto más fuerte cuanto mayor es la concentración de CO_2 .

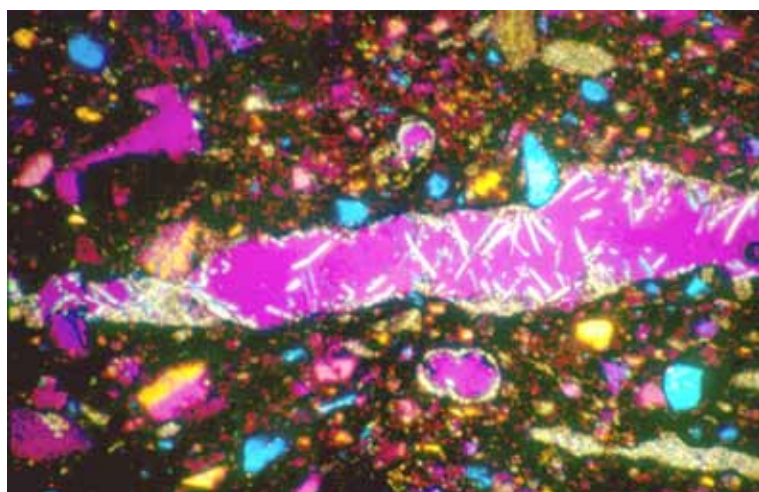


Fig. 20:
Cristales de yeso al
interno de una fisura
de retirada de una
cerámica procedente
de un ambiente
marino

En general, es verdad que un aumento del grado de acidez del ambiente impulsa los procesos de alteración química de los compuestos cerámicos hacia términos arcillosos y este mecanismo se activa tanto en presencia de ácido carbónico como cuando la especie ácida es el hidrógeno sulfurado. La acción química es, de todas maneras, siempre concomitante con la presencia de especies biológicas que actúan sobre el masa cerámica sea en forma de concreción que a través de los ácidos secretados por la adhesión al sustrato. Por ultimo, es necesario subrayar que el yacimiento en ambiente marino o, de todas maneras, en ambiente salino, activa todos los procesos de la química secundaria relacionados con la presencia de los sales solubles. En particular se pueden presentar:

a) Cristalización de las fracciones salinas solubles, en particular, cloruros y sulfatos, que llevan a la formación de depósitos cristalinos dentro de la masa del

cuerpo cerámico en correspondencia con las fisuras de retiro (fig. 20). El daño generado por la cristalización es irreversible ya que durante la fase de formación de los cristales, si la grieta o el poro dentro de cual se realiza el proceso se cierra, la presión de cristalización se desarrolla de manera trasversal a las paredes con su consecuente fisuración: la continuidad estructural del objeto se interrumpe y, por consiguiente, se reduce su resistencia mecánica.

b) Retiro del volumen y exfoliación del estrato externo son las consecuencias directas del ataque del ácido con formación de productos arcillosos durante la fase de yacimiento, pero se presentan sólo cuando el objeto, una vez extraído del sitio, pierde velozmente el agua de saturación de las fracciones arcillosas. Es evidente que las características tecnológicas de la masa (composición, relación matriz/esqueleto, técnica de elaboración, temperatura de cocción, espesor de la masa) influyen en mecanismos y velocidad de ambos procesos, ya que una cerámica cocida a llama directa, en cuyo interior ya en origen están presentes zonas con diferente grado de transformación, podrá sufrir el proceso de transformación arcillosa, más fácilmente que una cerámica a pared sutil bien depurada y cocida en un horno cerrado con atmósfera oxidante. La exfoliación puede ser más rápidamente reconducida a la técnica de acabado de la cerámica con la aplicación de un sutil estrato de arcilla muy depurada (la barbotina) que en origen tenía la función de sellar la forma y de formar un estrato compacto y uniforme sobre el cual aplicar eventualmente una decoración pictórica.

c) Opacado y desprendimiento del vidriado o del estrato esmaltado son los daños recurrentes en las cerámicas de producción más tardía, a partir de la Edad Media. Se trata de una forma de degradación propia de los vidrios, que acentúa las diferencias de composición de estructura entre el cuerpo cerámico y el estrato externo del acabado: la alteración del componente vidriado genera el desprendimiento del vidriado de la superficie externa del objeto, o, más a menudo, su opacado con consiguiente pérdida de la decoración pictórica. Una vez más, la tecnología de producción es un factor que influye sobre la velocidad de la degradación y puede ser muy importante determinar la procedencia y la datación de la cerámica, sobre todo en aquellas áreas donde los productos de importación podían prevalecer sobre aquéllos locales. Al respecto, de particular importancia son las cerámicas de producción española cuyo vidriado podía sufrir graves daños en el período de yacimiento subacuático. Sin embargo, hay que aclarar que los daños generados por la evaporación del agua de saturación y por la cristalización de los sales solubles, interesan sobre todo a los objetos que no

hayan sido sometidos a tratamientos de lavados o de procesos de restauración preventiva después de su recuperación.

4.1.3. Los materiales vítreos

El vidrio es un líquido a alta viscosidad compuesto principalmente de óxido de silicio SiO_2 ; su estructura es amorfa así que la masa puede asumir cualquier forma siempre que haya alcanzado una temperatura suficientemente elevada para ser fluida. Esta característica peculiar ha permitido que los artesanos desarrollaran diferentes tecnologías de producción para lograr vidrios soplados, ventanales o vidrio-camafeo realizados sobreponiendo estratos de composición y colores diferentes, posteriormente trabajados con técnica del camafeo.

Origen e historia del vidrio en el mundo antiguo

Es de conocimiento común que la producción del vidrio empezó en el III milenio a.C. en el área del Medio Oriente conocida como Palestina. Muchos son las historias que describen el descubrimiento como combinación casual de arena, natrón y fuego, pero por cierto sabemos que la primera producción en serie se desarrolló en Egipto en el II milenio a.C. pues el faraón Tutmosis III, ganador de la guerra contra las poblaciones siríacas, regresó a su patria trayendo consigo no solamente varios productos vítreos como parte del botín, sino también los artesanos especializados en la producción de tales objetos. Gracias a esta presencia calificada y a la disponibilidad de las materias primas necesarias, como las arenas silíceas y el natrón (una roca constituida por carbonato de sodio), fueron instaladas fabricas especializadas y el Egipto se volvió en uno de los principales productores de muchos materiales vítreos. Gracias al desarrollo de los intercambios comerciales por vía marítima, estos productos tuvieron amplia difusión en todo el mundo mediterráneo, dando inicio a una tradición que aún hoy en día vive, con una grande producción artesanal de vidrios sobre todo azules.

Uno de los productos de mayor importancia comercial, por ser producido exclusivamente en Egipto, fue el vidrio azulado egipcio, un vidrio de color azul intenso realizado cociendo conjuntamente un mineral de cobre con arena silícea y carbonato de calcio, que se exportaba en todo el mundo mediterráneo para ser utilizada como base para la producción de vajillas de mesa; pero sobre todo como pigmento para la pintura, he llamado azul egipcio. De esta manera el producto tuvo difusión en todo el mundo occidental hasta aproximadamente el VII siglo d.C., cuando se perdió su tecnología de producción y se empezó a utilizar pigmentos

extraídos de la azurita y del lapolislázuli que se importaban del Oriente.

El naufragio de Ulu Burun en Kas (Turquía)

La confirmación de tal realidad comercial se tuvo en el 1983 cuando, cerca de la isla de Kas (a pocos Kilómetros al sur de Bodrum en Turquía), se halló el naufragio de una nave que transportaba lingotes de cobre y estaño, además de numerosas manufacturas de varios tipos (Bass 1987). El equipo del INA (International Institute of Nautical Archaeology de Texas) halló los restos de la carga esparcidos en una amplia área con profundidad oscilante entre -35 y -55 metros sobre un fondo mixto de roca y arena. La excavación sistemática del sitio permitió comprobar que la disposición de la carga era funcional al peso y a la delicadeza de los objetos y, sobre todo, confirmó que los puertos del Asia menor, como aquello de Ugarit en la costa norte de la Siria, eran los puntos de cruce de los intercambios comerciales entre el mundo oriental y Egipto y las florecientes ciudades griegas, en aquella época, dueñas del Mediterráneo. El naufragio fue ubicado en el XIV siglo a.C. sobre la base de los materiales transportados (Throckmorton 1988); los lingotes de cobre y de estaño con la típica forma de piel de vaca parece que provenían de Chipre, pero dos lingotes azul oscuro egipcio y múltiples nódulos de oropimente, un pigmento amarillo en uso en el Egipto faraónico a partir de la XVIII dinastía, hallados en una ánfora de carga, confirmaban que la nave se había abastecido en los puertos más a sur de la costa palestina, donde se podía encontrar en comercio aquellos costosos productos egipcios. La embarcación tenía, por lo tanto, que seguir una ruta que la llevaba a circunnavegar el Mediterráneo oriental, haciendo escala en los varios puertos importantes para proseguir hacia las ciudades griegas a lo largo de las costas de Turquía.

Dejando de lado la sugestión de esta hipótesis, queda el hecho que entre los materiales hallados había objetos de elevado valor, como una copa de oro, marfil de elefante y de hipopótamo y unos sellos siríacos de cristal de roca, procedentes de África; además, su estado de conservación era relativamente bueno, a pesar de la naturaleza del fondo marino y la evidente presencia de fuertes marejadas. De hecho, excluyendo algunos anélidos crecidos a contacto con las superficies expuestas, los lingotes de vidrio no presentaban ninguna alteración, así como los materiales orgánicos y de vidrio recuperados. Por el contrario, los lingotes de cobre mostraban una corrosión bastante avanzada, mientras que aquellos de estaño estaban casi completamente mineralizados.

La producción de vidrios en el mundo romano fue muy abundante y diversificada gracias a la existencia de fabricas especializadas en las múltiples formas y tipos de los productos de vidrio: desde los vidrios soplados idóneos para ser utilizados como contenedores, hasta las placas planas aptas para ser utilizadas sea como cierre de ventanas, sea para la producción de teselas de mosaico. Con el pasar de los siglos la tecnología se perfeccionó cada vez más, pero no se interrumpió por esto el flujo de las importaciones de productos particulares desde el área del Medio Oriente, como ha demostrado el hallazgo en el naufragio del Parco Teodorico en Ravenna, de lámparas en vidrio soplado típicas de la producción de Palestina del V siglo d.C. (Maioli & Medas 2001). En la Edad Media la tecnología del vidrio estaba ya difundida en todo el mundo europeo, pero cambia la composición química del producto acabado ya que faltaban algunas materias primas fundamentales para la exacta preparación de la mezcla: el natrón, en efecto, no es siempre disponible en los países más lejanos de los puertos mediterráneos, así que se sustituye con la ceniza vegetal.

La estructura del vidrio puede ser considerada una evolución hacia un estado de desorden de la estructura cristalina del cuarzo. Mientras, de hecho, el retículo cristalino del cuarzo ve los tetraedros de SiO_2 ligados de una manera que tengan siempre un átomo de oxígeno en común, así que las estructuras puedan ser regulares y tener una simetría hexagonal, en el cuarzo amorfo la regularidad de las estructuras cristalinas está alterada por la presencia de unidades en las cuales la secuencia de los enlaces no es respetada, así que no existe una celda que se repite de manera idéntica en el espacio.

En el vidrio a este estado de desorden se agrega a presencia, en el interior de $n[\approx\text{SiO}_2\approx]$ de los átomos de sodio o de potasio y de calcio que derivan de la disociación térmica del fundente.

El vidrio no es un compuesto químico ni un conjunto de compuestos químicos definidos, sino más bien una mixtura de óxidos cuya composición no puede ser expresada con una fórmula única. El vidrio, de hecho, se obtiene a partir de:

- Arena silicática o cuarzosa que es el componente principal,
- Sustancia fundente, que representa el componente secundario,
- Sustancia colorante, que es siempre un componente de seguimiento.

Los componentes principales y secundarios son mezclados íntimamente en las proporciones debidas, conjuntamente con el colorante en cantidades muy inferiores. Cuando la mixtura es homogénea se pone en un crisol y se lleva a la temperatura de fusión de manera tal que los diferentes componentes puedan

descomponerse y mezclarse íntimamente produciendo la pasta de vidrio. El horno para la cocción es similar a aquello para la producción de la cerámica, con la diferencia que tiene una apertura frontal para la recuperación de la masa fundida que será trabajada.

La naturaleza del fundente determina la clase de pertenencia del vidrio, pero también sus características tecnológicas y químicas. En el ámbito de la producción moderna se distinguen por lo tanto diferentes clases de vidrios según su composición química, como se evidencia en la Tabla 6.

Clase	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	PbO
Sódico-Cálcicos	72-73	0,5-2	9-10	2,5-3	13-15	0,05	-
Plúmbico	52-70	0,1-0,5	0-4	-	0-2	5-13	10-35
Potásicos	70-80	0,5-1	12-18	2-3	5-10	6-10	-

Tabla. 6:
Composición química % de vidrios modernos

Los fundentes tienen la función de bajar el punto de fusión de la arena cuarzosa ($T_f = 1720^\circ\text{C}$) y son de tipos diferentes. En los vidrios arqueológicos se identifican:

- Trona (carbonato de sodio), que baja la fusión hasta a $T_f = 700^\circ\text{C}$,
- Potasa (carbonato de potasio) o Salitre (nitrato de potasio) que bajan la fusión a un alrededor de $700\text{-}800^\circ\text{C}$,
- Cal (como carbonato de calcio) que baja la fusión a un alrededor de 800°C ,
- Plomo como óxido o como carbonato que lleva la fusión a cerca de 800°C .

Los diferentes fundentes dan origen a clases diferentes de vidrios, que se clasifican como:

Sódicos - potásicos - sódico-cálcicos - plúmbicos

todos tienen características diferentes en términos de color, durabilidad y transparencia.

El color de la masa es dado por la unión intencional de pequeñas cantidades de óxidos metálicos que se quedan atrapados dentro de la estructura caótica de la sílice; la tabla 7 resume los más difundidos elementos metálicos responsables del color de los vidrios antiguos.

Color	Mn ⁺³	Cu ⁺	Cd ⁺²	U ⁺⁴	Cu ⁺²	Fe ⁺²	Co ⁺²	Mn ⁺⁴
Negro	■	■						
Rojo		■						
Naranja			■					
Amarillo			■	■				
Verde					■	■		
Azul					■		■	
Violeta	■							
Rosa								■

Tabla. 7:
Metales responsables del color de los vidrios

Degradación del vidrio

Cuando se encuentra en un ambiente aéreo, el vidrio es un material relativamente estable, gracias a su estructura compacta y de baja porosidad. Al contrario, el yacimiento arqueológico en tierra y, sobre todo, en ambiente subacuático, son causa de alteraciones muchas veces muy graves.

Las causas de la degradación pueden ser debidas a:

a) Composición química: los vidrios sódicos se degradan primero, los otros siguen según la escala de resistencia a la alteración

sódicos > potásicos > sódico-cálcicos > plúmbicos

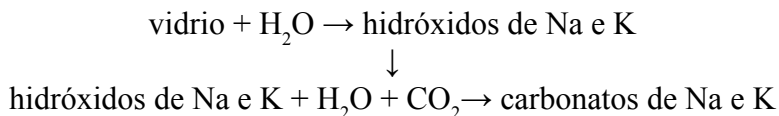
que corresponde a las clases de composición de los vidrios;

b) Presencia de agua, que activa todas las posibles reacciones químicas como:

- Reacciones del hidrólisis de los componentes alcalinos de los fundentes;
- Solubilización de los productos del hidrólisis y su migración hacia el externo de la pasta de vidrio;
- Requerimientos mecánicos, que producen la fisuración de las paredes,

c) Evaporación del agua de saturación, que facilita la cristalización de los sales solubles y produce la exfoliación de la pasta de vidrio.

En presencia de agua el vidrio sufre unas reacciones de hidrólisis a cargo de los componentes alcalinos (principalmente los óxidos de sodio, de potasio y de calcio), que se transforman en hidróxidos según el siguiente esquema:



Los hidróxidos se quedan encerrados dentro de la masa y la separan en hojas muy sutiles dando origen al fenómeno de la delaminación; al mismo tiempo, se presenta la segregación de los óxidos metálicos responsables del color, así que las láminas asumen una característica iridiscencia.

Una vez en contacto con la CO₂, los hidróxidos se neutralizan dando origen a los respectivos carbonatos según el esquema ya ilustrado.

Otra forma de degradación típica de los vidrios es el pitting o corrosión crateriforme, que parece ser producida por la presencia en la matriz del vidrio de inclusiones más reactivas, como por ejemplo partículas de fundente no completamente solubilizadas, que se activan en presencia de agua. La reacción de degradación sigue el esquema anteriormente mostrado, pero se produce al interior de la masa del vidrio y los productos de la alteración crean una pequeña cavidad que desemboca al exterior; obviamente, la naturaleza química del depósito regula la velocidad total de la reacción.

4.2. Materiales lapídeos

Con la expresión genérica “material lapídeo” se entienden todas las rocas que, una vez extraídas de la cantera, trabajadas y cortadas, se ponen en obras para la realización de edificios monumentales o de viviendas. En la realidad de la restauración se distinguen dos clases diferentes: los materiales lapídeos naturales, a cuyo ámbito pertenecen todas las rocas, y los materiales lapídeos artificiales que, en cambio, son el resultado de una actividad humana y que, por lo tanto, reúnen materiales de composición diferente como los morteros, la cerámica y el vidrio.

4.2.1. Los materiales lapídeos naturales

Siguiendo un criterio geológico, estos materiales pueden ser divididos sobre la base de su génesis; se identifican de esta manera el conjunto de los materiales sedimentarios, el de los materiales metamórficos y el de los materiales volcánicos.

Cada una de estas clases específicas, a su vez, se caracteriza por tener diferente estructura y diferente composición mineralógica y química.

Desde luego, estos mismos materiales pueden ser divididos con base en su composición química principal, pues de ella dependen las reacciones químicas que determinan la degradación. Se tendrá, de esta manera, una subdivisión en materiales lapídeos carbonáticos constituidos principalmente por carbonato de calcio; materiales lapídeos silicáticos en cuya composición prevalecen el cuarzo u otros silicatos y, finalmente, aquellos de composición mixta, en los cuales coexisten carbonatos y silicatos.

Respecto a esta grande diversificación de las piedras de construcción, es evidente que en los sitios arqueológicos subacuáticos se puede constatar la presencia de muchos tipos, incluso contemporáneamente.



Fig. 21:

La cantera romana de Is Arutas (Cerdeña)

Obviamente la mayor variedad y abundancia se tendrá en los sitios de la costa, en correspondencia con antiguas ciudades, originalmente emergidas y posteriormente sumergidas o de estructuras de puertos, mientras que las antiguas canteras de extracción son en general menos frecuentes y difícilmente se consideran bienes arqueológicos para ser tutelados; un ejemplo típico es la cantera romana de Is Arutas (fig. 21), en la costa occidental de la Cerdeña, que sólo recientemente ha sido vinculada, protegida, en el ámbito de una política de protección de las realidades ambientales marinas, a través de la creación de áreas marinas protegidas, incluyendo también las costas y las estructuras de tierra.

En la realidad mediterránea, son bastante frecuentes los hallazgos de elementos arquitectónicos como columnas, arquivadas y láminas destinadas a la construcción de edificios monumentales, pero también de estatuas que muy a menudo son parte de cargas de antigüedades transportadas por mar desde las regiones de origen (Grecia y Turquía en la mayor parte de los casos) hacia Roma (Gianfrotta & Pomey 1980). En la mayoría de los casos, estas cargas se dejan in situ ya sea por las dificultades para su recuperación, que debido a que muchas veces éstas han sufrido una degradación tan grande que han perdido su significado arqueológico; menos frecuentemente se evita efectuar su recuperación por consideraciones de su conservación. Ésta, sin embargo, es una filosofía de reciente adquisición, relacionada principalmente con la posibilidad de crear parques arqueológicos subacuáticos, mientras que, en el pasado próximo de la arqueología subacuática, se consideraba un deber primario realizar la recuperación de todos los materiales hallados, con el fin de poder completar su estudio de manera más fácil. Sin embargo, actuando de esta manera, muchas piezas quedaron destruidas o están en camino de serlo, debido a que desde siempre se han considerado los materiales lapídeos como muy resistentes a la degradación.

Los sarcófagos de Torre Sgarrata (Taranto)

Tras la señalación hecha por dos buzos en el ámbito de la Conferencia de Estudios sobre la Magna Grecia de 1963, en 1967 se empezó, por parte de la British School de Roma y del Museo de la Universidad de Pensilvania, una excavación sistemática del sitio ubicado a una milla de la costa a lo largo de la localidad Torre Sgarrata⁴.

A la profundidad de sólo 6 metros y sobre un fondo marino de arena se encontró la carga de una nave lapidaria fechada a los inicios de III siglo d.C., consistente en 18 sarcófagos de mármol blanco; 23 grandes bloques del mismo mármol y una columna. A estos restos de grandes dimensiones, se asociaban losas de alabastro de procedencia egipcia y fragmentos de pequeñas losas de mármoles de diferente tipo ya cortadas en espesor sutil. El análisis de los restos cerámicos confirmó que la embarcación procedía del Asia Menor, donde, además, estaban ubicadas importantes canteras de mármoles blancos, utilizados para la realización de sarcófagos (Monna et Al. 1985).

La recuperación de los numerosos restos y del subyacente enchapado permitió organizar una exposición en el Castillo Aragonés de Taranto, donde se dejaron

4. Throckmorton P. (Ed.), *Atlante di archeologia subacquea*, De Agostini, Novara 1988, pp. 72-77.

los materiales en espera de la restauración y del lugar definitivo.

A pesar de un convenio estipulado con la Marina Militar, cuyo Comando estaba ubicado en el mismo Castillo, el proyecto de restauración no tuvo seguimiento, así que los materiales se quedaron abandonados por decenios en el fosado y en los locales subterráneos de la fortaleza, expuestos a todo tipo de vandalismo. Tampoco las cosas cambiaron después del traslado de los bloques y de los sarcófagos al patio del Hospital Civil de Taranto, donde aun yacen, expuestos a la acción de los agentes atmosféricos además que a los inevitables vandalismos. Las investigaciones realizadas sobre los objetos identificaron las canteras de Aphrodisias, en la costa turca, como la posible procedencia de los mármoles blancos (Alessio et Al.2002), mientras que las losas de alabastro procedían de canteras egipcias. Se trataba, por lo tanto, de materiales de diferente naturaleza y para usos finales totalmente diferentes: desde la estatuaria de los bloques, a los pisos en opus sectile, placas y pequeños fragmentos sutiles, utilizables además para la producción de teselas para mosaico.

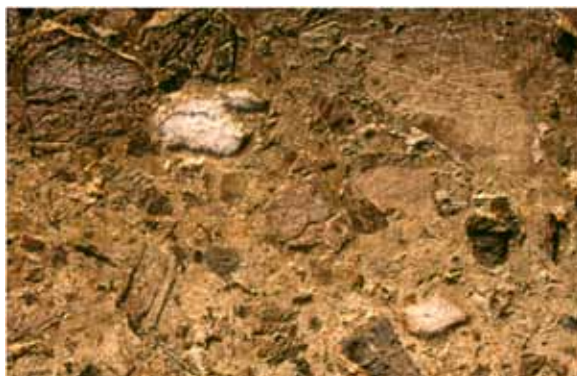
El estado de conservación al momento de la recuperación era más que discreto ya que la mayor parte de los objetos habían permanecido sumergidos en la arena durante siglos, con ciclos de exposición a la acción del mar, cuya periodicidad no es bien definible. Las losas de alabastro denunciaban un proceso de corrosión diferencial causado por la acción química y mecánica del agua sobre las vetas del material, presumiblemente debido a la actividad química de la CO_2 disuelta. Los procesos de alteración de los mármoles, en cambio, se han desarrollado después de su exposición al ambiente aéreo, sin alguna protección ni intervención de conservación. De hecho, actualmente todos los sarcófagos muestran los evidentes daños de las interacciones primarias con los contaminantes atmosféricos que se manifiestan con la formación de costras negras, la corrosión química laminar producida por las soluciones agresivas ácidas, las micro-exfoliaciones y la pulverización causadas por la sulfatación directa de la matriz de carbonato. Obviamente, la exposición a la insolación directa acelera la velocidad de las reacciones e induce el desarrollarse contemporáneo de los procesos de degradación relacionados con la química secundaria.

Degradación de los materiales lapídeos naturales

La degradación de los materiales lapídeos está relacionada directamente con su estructura y depende de su composición química. La estructura que las distintas

facies lapídeas asumen, determina la porosidad del material y, por consiguiente, influencia directamente la capacidad de absorción del agua. Este fenómeno, que activa una serie de graves procesos de degradación en el ambiente aéreo, es menos importante en los sitios sumergidos, en los cuales todos los materiales alcanzan el estado de saturación. Por otro lado, la misma presencia del agua activa un número grande de reacciones químicas que pueden llevar a la transformación del material con mecanismos diferentes, los cuales se desarrollan con velocidades que dependen de los factores que caracterizan el ambiente de yacimiento, además de aquellos intrínsecos al material mismo.

Fig. 22:
Columna de mármol brecciato
recuperada en el Tiber con evidente
corrosión diferencial que deja
los clastos a relieve



Los mecanismos de degradación más frecuentes están relacionados con la corrosión química de la matriz. Ésta es, en general, la parte más sensible de la piedra sobre todo si su naturaleza es carbonática y de estructura microcristalina, pero es necesario tener en cuenta que también las rocas silicáticas pueden sufrir transformaciones químicas producidas por la presencia de agua circulante.

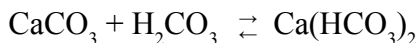
En la mayor parte de los casos, cuando los elementos lapídeos derivan de rocas sedimentarias como las brechas y los mármoles veteados, el resultado de la alteración consiste en una corrosión diferencial de la matriz y de los clastos: estos últimos, siendo más compactos, permanecen en relieve sobre una matriz muy corroída durante la fase de yacimiento, por el acción del agua (fig. 22).

La reacción dominante en este caso es aquella de disolución del carbonato de calcio causada por las aguas ácidas por la presencia de CO_2 disuelta, que produce ácido carbónico según el esquema:



El ácido que se forma reacciona de inmediato con la fracción de carbonato de

calcio de la piedra, según el esquema:



causando la disolución del carbonato de calcio y, por consiguiente, la corrosión de la superficie expuesta al ataque.

La secuencia de estas reacciones se encuentra al origen de las cuevas de karst, pero también de los fenómenos de formación de cráteres y de concreción que pueden presentarse en los ambientes subacuáticos cuando se crean las condiciones favorables. En los casos más graves, finalmente, se puede llegar también a la disgregación total de las matrices de los materiales de estructuras más complejas.



Fig. 23:

Uno de los ambientes de la Cueva de la Basura

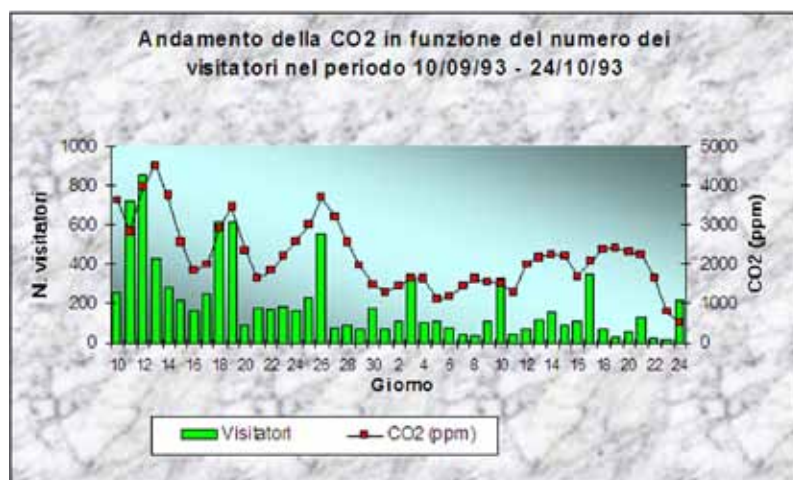
La Cueva de la Basura

Esta cavidad natural situada en la municipalidad de Toirano en Liguria, está catalogada como bien arqueológico en cuanto tiene huesos de *Ursus Spaeleo* y huellas humanas de la prehistoria diseminadas a lo largo de una trayectoria recorrido caracterizada por la presencia de concreciones particularmente importantes, además de ser un lugar de notable belleza (fig. 23) que debe ser protegido, ya sea como tal que porque conserva señales producidas en el tiempo por fenómenos diferentes. Sin embargo, desafortunadamente, en los últimos decenios el ambiente está cambiando hacia condiciones siempre más agresivas, así que tanto las concreciones como los restos arqueológicos y paleontológicos están sufriendo gravísimos daños. La química que se desarrolla es siempre el del ácido carbónico descrito anteriormente, pero en estas condiciones la reacción de

disolución del carbonato de calcio se presenta con modalidades diferentes según las condiciones del ambiente.

La actividad de monitoreo conducida en 1991 (Meucci 2008) puso en evidencia que la presencia de visitantes tiene un impacto negativo sobre las condiciones ambientales y, por consiguiente, sobre la degradación de los materiales. La cantidad de CO_2 traída por los turistas es, de hecho, proporcional a su número y a la frecuencia de los grupos, además que al tiempo de permanencia en las distintas secciones de la gruta; por consiguiente, el valor de concentración de la CO_2 tiene tendencia a aumentar con el incremento del número de visitantes (fig. 24), evidenciando un proceso de acumulación que incrementa notablemente la agresividad del ambiente: las concreciones sufren el ataque químico del agua de condensa que se satura de CO_2 , mientras que los huesos y las huellas humanas son degradadas por la acidez de las aguas que corren siempre más ricas de bióxido de carbono.

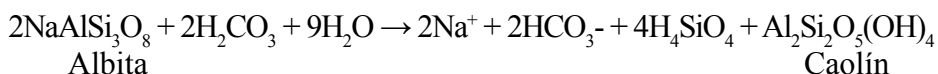
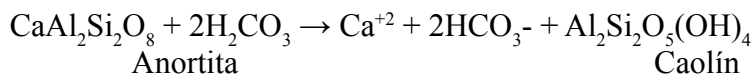
Fig. 24:
Gráfico de la variación de la CO_2 en las secciones monitoreadas



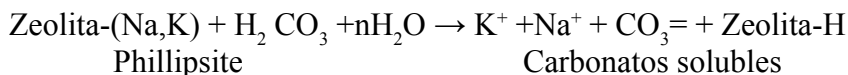
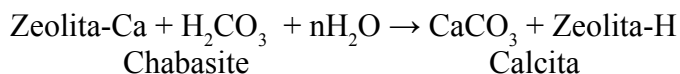
Se trata por lo tanto, de mecanismos del todo similares a aquellos que se realizan en los sitios subacuáticos, en los cuales esté presente el bióxido de carbono: en algunos casos hay corrosión química (como ha sucedido con las estatuas de la Gruta Azul de Capri), mientras que en otras condiciones ambientales se produce la concreción, como en el caso del naufragio de Santa Catarina de Nardò.

Los materiales a matriz de silicato pueden sufrir también un ataque ácido si se

encuentran a contacto continuo con el agua, pero los procesos químicos interesados son diferentes, siendo diferente la composición químico-mineralógica de tales materiales. Las reacciones de degradación inducidas por la presencia de bióxido de carbono se desarrollan en tiempos relativamente largos y siguen los mismos esquemas de la degradación natural de las rocas de silicato expuestas a los agentes atmosféricos, es decir, la transformación de los compuestos de silicatos hacia términos arcillosos, entre los cuales predomina el caolín, según dos reacciones:



que se presentan en los basaltos y en las rocas de lava con predominante presencia de plagioclasas, o también siguiendo los esquemas:



que se realizan en los materiales piroclásticos (las tobas volcánicas) sumergidos en el agua. En práctica, el material lapídeo pierde su estructura transformándose en compuestos totalmente diferentes que tienen características estructurales y química diferentes de las iniciales.

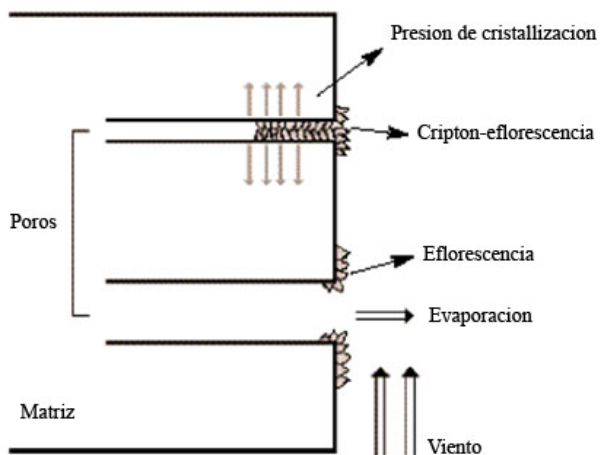


Fig. 25

Los bloques de basalto muestran huellas de transformación y de daño estructural en correspondencia del frente de evaporación del agua

El mismo componente de vidrio de los materiales piroclásticos como de las tobas y de las lavas básicas cuales son los basaltos, sufre el ataque ácido transformándose en hidróxidos solubles que se transformarán luego, en carbonatos alcalinos. La fracción de óxidos de hierro, finalmente, sufrirá unas reacciones de hidratación con formación de óxidos hidratos de hierro que se depositarán sobre la superficie del material, modificando su color y la estructura porosa. Obviamente, las transformaciones son muy lentas y se desarrollan en tiempos relativamente largos, pero, de todas maneras, son tales que pueden llevar al colapso también a estructuras arquitectónicas complejas, como aquellas de la cisterna de época nabatea (II-III siglo D.C.), aparentemente sin daños, mostrada en la figura 25. Es asimismo obvio, además, que los modelos de alteración producidos por los mecanismos de degradación son diferentes según la naturaleza química y mineralógica de la piedra y de las condiciones ambientales del lugar de yacimiento; en general, sin embargo, la formación de cráteres, la corrosión química laminar, el aumento de la fragilidad, son los efectos más frecuentes y macroscópicamente más visibles.

Fig. 26:
Esquema de acción de los Sales solubles dentro de la estructura porosa de la piedra durante la evaporación forzada del agua de saturación



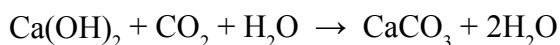
Los daños mayores, de todas maneras, son aquéllos que se producen dentro de los materiales después de su recuperación y, con mayor razón, si ellos han sido extraídos de sitios marinos. La figura 26 muestra esquemáticamente los mecanismos de acción de los sales solubles entrados en la estructura porosa del material lapídeo durante su fase de yacimiento subacuático cuando el objeto pierde el agua de saturación: la evaporación, acelerada por el viento o por la radiación luminosa incidente, provoca la cristalización de las especies salinas dentro de la red porosa superficial, dando origen a eflorescencias de superficie, si el poro es de grandes dimensiones, y de criptón-eflorescencias, si

el diámetro del poro es pequeño. La oclusión de los poros provoca una presión de cristalización que se ejerce sobre las paredes del poro, causando su ruptura y provocando efectos como la ruptura y la fisuración del material. Obviamente, estos tipos de daños se pueden evitar aplicando los correctos procedimientos de primera intervención conservativa, inmediatamente después de la recuperación y procediendo, sucesivamente, con un correcto almacenamiento de los restos.

4.2.2. Los materiales lapídeos artificiales

En los párrafos anteriores ya se ha enfrentado el problema de la degradación de cerámicas y vidrios, habiendo considerado las cerámicas como los materiales más difundidos en los sitios arqueológicos subacuáticos y los vidrios como aquellos de más difícil conservación. La tercera clase de materiales lapídeos artificiales que se deben analizar está constituida por los morteros, es decir, del resultado de la mezcla de un material pegante, como la cal, con una fracción de agregado inerte o reactivo que pueda constituir su esqueleto.

En la práctica de la conservación, los morteros están divididos en dos clases bien identificadas por composición mineralógica y por tipo de reacción que en ellos se desarrollan después de la mixtura de los componentes con el agua y la masa: los morteros aéreos y los morteros hidráulicos. Los primeros, que se caracterizan por tener como pegante la cal y como fracción de agregado inerte arena o gravilla de piedra, pasan de un estado plástico a una estructura rígida a través de la sencilla reacción de carbonatación de la cal según el esquema:



La matriz pegante, por lo tanto, es asimilable a una roca carbonática de estructura microcristalina en la cual son diseminados, en calidad de esqueleto, elementos lapídeos silicáticos o carbonáticos según su origen.

Los morteros hidráulicos son el resultado de una química más compleja al cual participan la cal y los óxidos de silicio (SiO_2), de aluminio (Al_2O_3) y de hierro (Fe_2O_3), que constituyen la fracción de agregado hidráulico. En las regiones volcánicas el agregado hidráulico más común es la puzolana, una roca disuelta producida por la actividad piroclástica, mientras que en las regiones con principal presencia de rocas carbonáticas y de arcillas, la fracción hidráulica más utilizada es el polvo de ladrillos que, como se ha visto anteriormente, contiene los mismos óxidos de las puzolanas. La característica de estas mezclas es que reaccionan

directamente en agua, así que los productos finales son unas masas muy duras con estructura y composición mineralógica similar a aquellas de las areniscas de cemento carbonático.

Ambos tipos de morteros son abundantes en los sitios de la costa ya que son parte integrante de las estructuras de las murallas; así que en la ciudad sumergida de Baia, ellos están presentes ya sea como morteros de embellecimiento de los mosaicos de los pisos, que como enlucimiento del revestimiento de las paredes.



Fig. 27:

En el puerto de Anzio hay muros de tufo volcánico y de ladrillo y estructuras de hormigón entre las cuales se encuentran conservados elementos de madera que pertenecían a las cajas necesarias para poner el mortero

El puerto neroniano de Anzio (Roma)

La realización de un puerto nuevo fue una de las grandes obras deseadas por Nerón para adecuar la ciudad de Antium a las nuevas exigencias de la residencia imperial. La instalación no se limitó a reestructurar el antiguo puerto latino y volsco, sino que se sobrepuso a éste, a través de la construcción de dos muelles que prolongaban de centenares de metros los dos promontorios naturales que delimitaban una grande bahía al lado de la ciudad. Las cimentaciones y las estructuras en elevado fueron realizadas a través de colada en un encofrado de madera de una argamasa de cemento a base de cal y puzolana, con añadidura de cementicio de toba y de fragmentos de ladrillo ordenados según planes

horizontales (fig. 27) para incrementar la compactibilidad de la obra. Con el fin de garantizar la resistencia a la acción del mar, finalmente, las dos estructuras tenían agujeros que consentían el paso del agua con el cambio de las mareas. Esta solución además, garantizaba que la cuenca no fuera sujeta a llenarse de arena. Cerca de la cuenca, altos murallones, recubiertos con bloques de toba, hospedaban almacenes y, talvez, un mercado. Todas las estructuras sumergidas eran, por lo tanto, sujetas a un flujo continuo de agua, mientras que aquella emergidas estaban expuestas a la acción de la salinidad y de los spray marinos, condiciones que seguramente no eran favorables para su buena conservación. Aparte de los derrumbes debidos a la falta de manutención y a las modificaciones estructurales sufridas durante siglos, una sección de los muelles neronianos está aun visible dentro del antiguo puerto y actualmente es objeto de atención en el ámbito de un proyecto finalizado a su conservación.

Los daños son, sin embargo, bien visibles y denuncian un avanzado proceso de disgregación de las argamasas de cemento, debido a la acción combinada del mar y de los sales solubles que en los siglos han saturado los materiales.

Las argamasas de cemento pierden consistencia por efecto de la solubilización de la matriz carbonática, así que los cementicios se destacan de la estructura dejando abiertos unos vacíos en los cuales se concentra la acción mecánica de las olas y del viento. A su vez, depósitos de toba sufren los efectos de la cristalización de las especies salinas (principalmente cloruros y sulfatos) y se disgregan progresivamente sometiendo las nuevas superficies a la acción de los agentes atmosféricos y de los diferentes factores activos de degradación.

Degradación de los materiales lapídeos artificiales

Los mecanismos de alteración de esta clase de materiales son los mismos que hemos descrito anteriormente hablando de los materiales lapídeos naturales; la diferencia sustancial está en el hecho que estos materiales se vuelven tan frágiles que no pueden ser recuperados -a menos que no sea con tecnologías particulares y complejas- y, de todas maneras, no pueden regresar, una vez degradados, a su estado inicial. Las reacciones interesan tanto a la matriz pegante de carbonato de calcio que se vuelve soluble a contacto con el agua y saturado de bióxido de carbono, como a las fracciones hidráulicas, que se transforman en arcillas, transformando en plástica la masa. En todos estos casos, las estructuras de las murallas interesadas tienen que ser tratadas de manera conservativa in situ y con adecuada protección hacia la acción agresiva del ambiente.

Los morteros de las estructuras subterráneas de San Clemente en Roma

La Iglesia de San Clemente presenta una compleja estratificación de unidades arquitectónicas que se han sobrepuesto en los siglos hasta la última fase edilicia del siglo XII. El nivel inmediatamente subyacente se refiere a la basílica paleocristiana del IV – V siglo, que reutiliza estructuras del siglo III y que se basa sobre edificios de edad Flavia sucesivos al incendio de la época de Nerón del 64 d.C. Aun más debajo de este nivel, se identifican restos de un edificio de uso residencial, que se ha destruido parcialmente en ese mismo incendio y que, por lo tanto, es de fecha anterior. En los ambientes destinados a la cocina se abre un pozo para la captación de agua de caída que corre con una fuerte corriente debajo de los cimientos de los mismos muros. A pesar que la afluencia de las aguas haya sido controlada desde 1912 a través de la realización de un túnel de desagüe, gran parte de los muros se encuentra a contacto con la misma agua, que la satura con alturas que varían según la cantidad del manantial.

Los daños que se observan sobre las estructuras de los muros se refieren a un proceso químico de degradación de los materiales de las estructuras, con particular referencia a los morteros de embellecimiento. En los niveles a inmediato y constante contacto con el agua, de hecho, el mortero de puzolana presentaba una consistencia plástica que no podía ya garantizar la adhesión de los ladrillos, tanto que en una pared de fondo se había abierto un agujero desde el cual salía libremente el agua.

En 1981, por solicitud del orden monástico responsable del complejo, se efectuaron unas pruebas de los morteros de revestimiento con el objetivo de definir el mecanismo de alteración y de identificar eventuales soluciones de restauración (Guidobaldi et Al. 1982).

Los análisis realizados permitieron comprobar que en los morteros de consistencia plástica estaba presente una relevante concentración de minerales arcillosos atribuibles a las esmectitas y a las illitas y que dicha presencia iba decreciendo hasta anularse con el aumentar del estado de sequedad de la pared. Por lo tanto, la causa determinante de la degradación era el agua. Análisis realizados con periodicidad mensual sobre la afluencia de las aguas, suministraron la llave interpretativa del fenómeno: pese que el pH oscilase entre 6,95 y 7,20, el contenido de Ión bicarbonato (HCO_3^-) resultaba en termino medio alrededor de 400 mg/litro, es decir suficientemente elevado para activar reacciones de solubilización de la fracción carbonática pegante y de transformación hacia términos arcillosos de algunas de las especies minerales del esqueleto, con particular referencia a la fracción silicática.

4.3. Materiales metálicos

Por cuanto indicado en los capítulos anteriores, resulta claro que los distintos materiales metálicos pueden ser objeto de procesos de degradación diferentes según las condiciones del sitio de permanencia y de los parámetros agresivos que los caracterizan. Por otro lado, también es verdad que la tecnología de producción de la manufactura y su composición química son elementos que influyen tanto sobre el mecanismo de alteración como sobre su velocidad de evolución.

No obstante su degradabilidad, los objetos metálicos representan un buen porcentaje de los hallazgos en sitios subacuáticos y cubren un amplio intervalo cronológico ya que, si la extracción y el trabajo de los metales son de tiempos muy antiguos, la evolución de la tecnología metalúrgica ha permitido la fabricación de manufacturas de varia tipología y función, desde las herramientas hasta los adornos y hasta las estatuas. Además, siendo considerados materiales estratégicos, los metales puros y trabajados han representado una clase comercial de notable importancia, cosa que ha contribuido a su difusión en todo el mundo civilizado.

Con referencia a los múltiples hallazgos que se han hecho casualmente o no casualmente, de sitios subacuáticos, se identifican, entre las varias tipologías de objetos, cuatro clases que, por modelos de degradación y problemáticas de conservación, se refieren a sus materiales de constitución: los objetos de oro y de plata, los objetos de cobre y sus aleaciones, los objetos de hierro y los de plomo.

4.3.1. Objetos de oro y de plata

En la escala de estabilidad de los metales con relación a la corrosión galvánica, el oro y la plata se encuentran respectivamente al segundo y tercer lugar, inmediatamente después del platino: son por lo tanto estables. El oro, en particular, no está atacado químicamente en las normales condiciones de yacimiento, siempre y cuando no esté mezclado con metales menos nobles. En este caso, son los procesos de corrosión del metal menos estable que modifican la naturaleza del objeto y que producen las pátinas de corrosión.

Un ejemplo bastante frecuente en la producción prehispánica de Suramérica está representado por los objetos peruanos, cuyas fusiones preveían muchas veces agregar el cobre para modificar la característica del objeto. Los procesos de corrosión de estas aleaciones se realizaban exclusivamente sobre el cobre con formación de los productos de corrosión típicos del ambiente subacuático en el cual se encontraban. Por el contrario, si el mineral tiene un elevado grado de pureza, los eventuales depósitos de concreción de superficie se deben a procesos

externos al objeto y no dejan huellas sobre las superficies del mismo, como lo ha demostrado también el hallazgo de un cáliz de oro en los restos de Ulü Burun, a lo largo de las costas de Turquía.

La plata, en cambio, por cuanto relativamente estable con respecto a los procesos de corrosión electroquímica, puede sufrir un ataque químico directo causado por las especies ácidas con las cuales tenía una marcada afinidad. Es el caso del ácido sulfhídrico o hidruro de azufre (H_2S) que puede formarse en los ambientes subacuáticos por degradación de sustancias orgánicas que contienen azufre y que dan origen al sulfuro de plata Ag_2S de color negro. Particularmente agresivos hacia la plata, sin embargo, son los cloruros: en los ambientes ricos de este ión, de hecho, es común la formación de cloruro de plata ($AgCl$) gris que acelera los procesos corrosivos con un mecanismo de pitting, es decir de corrosión crateriforme. En este caso, la pátina gris puede tener incluso espesores notables y la mineralización del metal puede avanzar hasta su completa transformación. Los dos productos corresponden, sin embargo, a diferentes condiciones de alteración. En el primer caso, la corrosión se realiza en condiciones anaeróbicas y las concreciones que envuelven el objeto contienen, además del sulfuro de plata, también sedimentos del fondo. En la corrosión aeróbica, en cambio, domina la formación de cloruro de plata y las concreciones, espesas, hasta dos veces el espesor original del objeto, contienen también carbonatos en forma de calcitas secundarias y caparazones de animales marinos incrustantes.

4.3.2. Objetos de cobre y sus aleaciones

El cobre es el metal más utilizado desde la prehistoria para la producción de objetos de uso común y relativamente económicos. Su difusión en la corteza terrestre y su relativamente baja temperatura de fusión, además que su localización en algunos contextos, incluso como elemento al estado puro (el llamado cobre nativo), han favorecido su uso en diferentes contextos culturales tanto que ha inducido paralelamente el desarrollo de la tecnología aplicada a la producción de los objetos. Así que la fusión conjunta de cobre, estaño y plomo, si por un lado hacía que disminuyera la temperatura de fusión de los materiales, por otro permitía que variaran las características mecánicas de los objetos, por ejemplo con un aumento de la dureza y una mejor durabilidad con pérdida de la ductilidad y de la fragilidad del metal puro. La transición de la tecnología del cobre hacia aquella del bronce representa, por lo tanto, una etapa fundamental en la evolución de la metalurgia antigua, pero también un punto de inicio para los mejoramientos tecnológicos realizados con las aleaciones en los siglos

sucesivos; es suficiente pensar a las fusiones en latón obtenidas con la sustitución en la mezcla del bronce con el estaño con cantidades variables de zinc, y a la introducción en las construcciones navales del llamado “metal de Muntz” una aleación de cobre y zinc en relación 60/40 utilizada por la marina inglesa para el revestimiento externo de la carena de los buques (Bingeman et Al 2000).

En las antiguas civilizaciones que se han desarrollado en la cuenca del Mediterráneo, la producción de estatuas y de otros objetos en fusión de bronce era el resultado de la aplicación de una tecnología difundida. De tales objetos se ha tenido cotejo en muchos hallazgos, la mayoría fortuitos, en sitios marinos, pero también en excavaciones sistemáticas de restos de embarcaciones naufragadas a lo largo de las costas. La identificación de los objetos en los sitios de su yacimiento es siempre inmediata y fácil, pues los materiales sufren unas alteraciones que modifican su estado de superficie que, en la mayor parte de los casos, resulta ser recubierta por espesas concreciones. Es necesario también tener en cuenta que los procesos de alteración de los metales en el ambiente subacuático son espontáneos y evolucionan, en ausencia de condiciones que inhiben su mecanismo, hasta la completa transformación en los minerales más estables en las particulares condiciones de yacimiento.

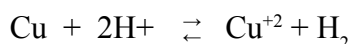
A menudo, por lo tanto, estos objetos son frágiles y carentes de una consistente parte del metal original o, incluso, totalmente corroídos y es por esta razón que, una vez identificados, es oportuno hacer un muestreo finalizado a la determinación de la calidad de la aleación y a sus características tecnológicas, antes de predisponer su recuperación. De esta manera, se pueden elegir las metodologías conservativas óptimas con el fin de garantizar una buena conservación temporal y un almacenamiento eficaz en espera de la intervención de restauración conservativa. La composición de la aleación es, de hecho, un dato que permite identificar la tecnología de producción del objeto y adquirir aquellas informaciones técnicas que, junto con las arqueológicas y estilísticas permiten, muchas veces, dar al hallazgo una precisa colocación geográfica, temporal y cultural.

Degradación de los objetos de cobre y bronce

La presencia de agua y de oxígeno crea las condiciones para que las manufacturas de cobre o de aleaciones a base de cobre sufran procesos de corrosión electroquímica que transforman el metal en una compleja mezcla de compuestos químicos de nueva formación. Obviamente, el ambiente de yacimiento ejerce una acción fundamental en la determinación del mecanismo y la velocidad de la degradación. En condiciones anaeróbicas o de carencia de oxígeno, los metales

no son sujetos a los procesos oxidantes de degradación, mientras que la velocidad de corrosión aumenta de manera exponencial con el aumento de la concreción de oxígeno y de la concentración de especies salinas solubles.

Los procesos electroquímicos de corrosión se basan sobre reacciones de oxidorreducción en las cuales los átomos metálicos pasan al estado de ión soluble; el agua, en cuanto electrolito que participa activamente en las reacciones, tiene la capacidad de acelerar la velocidad de los procesos. Para el cobre en presencia de agua, vale la ecuación:



con base en la cual el cobre metálico se transforma en ión cúprico Cu^{+2} mientras que el ión hidronio (protón H^+) modifica su estado de oxidación para formar el gas correspondiente; la combinación de los dos procesos lleva a la formación del ión cobre y de los otros compuestos que de éste pueden derivar en presencia de agua. Las pátinas de corrosión del cobre, de hecho, contienen sales cuya composición varía en función del ambiente de yacimiento: en ambiente marino son, por lo tanto, comunes los cloruros de cobre, pero también los sulfatos y los carbonatos. La composición de las pátinas resulta, además, determinante para la conservación, ya que los diferentes sales dan origen a fenómenos particulares de degradación, sobre la base de su estabilidad y reactividad química. De hecho, mientras los carbonatos de cobre son estables (la azurita y la malaquita constituyen las llamadas “pátinas nobles”), los cloruros y los sulfatos son solubles y activan los procesos de corrosión también después que el objeto ha sido extraída de su ambiente de yacimiento.

Los elementos de aleación juegan un papel importante en los procesos de corrosión subacuática ya que, siendo menos estables del cobre, tienen una mayor tendencia a la oxidación. El estaño, por ejemplo, contribuye a modificar la estructura de la aleación sufriendo la transformación en casiterita (SnO_2) con una velocidad inversamente proporcional a la concentración de oxígeno: mayor es la exposición al ambiente oxigenado, menor es el nivel de transformación. De lo contrario, los objetos de bronce que se han permanecido cubiertos por los sedimentos del fondo muestran una maciza alteración de la componente estánnica y la formación de una concreción compacta.

La presencia de plomo en las aleaciones del cobre contribuye a reducir la velocidad de la corrosión de manera proporcional a su concentración en la aleación, tanto que algunos objetos de bronce recuperados del naufragio de Batavia mostraban apenas 1 mm. de corrosión después de 350 años de inmersión en condiciones de

fuerte revolvimiento del sitio (North & MacLeod 1987)⁵. Por otro lado, se debe considerar el hecho que en caso de yacimiento en ambiente marino, la formación de anglesita $PbSO_4$, que tiene una función pasiva, contribuye a la protección del metal subyacente.

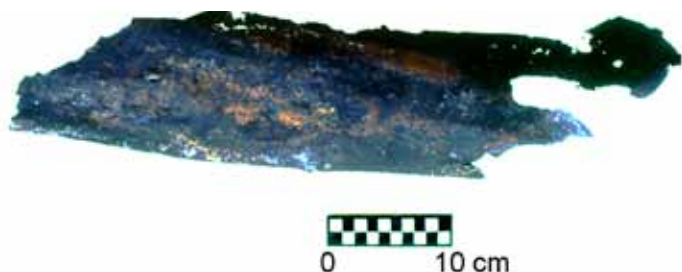


Fig. 28:
Restos de la lámina de
protección del naufragio de
Figarolo (Olbia - Cerdeña)

Por cuanto dicho, se deduce que las aleaciones del cobre tienen una química de degradación bastante compleja justamente gracias a su formulación. La presencia de otros metales, como el estaño y el plomo en el bronce, y el zinc en los latones, modifica, de hecho, la secuencia de las reacciones redox y los potenciales de oxidoreducción. Estaño y plomo pueden segregarse de la aleación y concentrarse en inclusiones a la periferia de la masa metálica correspondiente en general con la superficie expuesta del objeto; este estado modifica la porosidad de la masa e influencia su reactividad contribuyendo, en algunos casos, a desacelerar el proceso de transformación del componente mayoritario. En el caso del latón, en cambio, la presencia del zinc impide la corrosión primaria del cobre y convierte la lega en estable frente a los procesos corrosivos, tanto que en la segunda mitad de 1700 se empezó a proteger la carena de las naves con sutiles laminas de zinc enclavadas al enchapado (fig. 28).

En el caso de coexistencia en el mismo sitio de distintos metales no aleados y con potenciales redox diferentes, los procesos de corrosión se realizan con modalidades y velocidades distintas, de manera que el metal menos estable se corroe principalmente. Durante la excavación del naufragio árabe-normando de Marsala, el hallazgo de un barreño de cobre con mango de bronce a directo contacto con formaciones de goethita goethita (fig. 29), evidente resultado de una marcada corrosión de elementos de hierro, demuestra cuán verdadero es esto en un ambiente en el cual el componente salina disuelta juega un papel fundamental en los procesos de degradación de los metales. De hecho, mientras

5. N.A. North, I.D. MacLeod, Corrosion of metals, in: C. Pearson (Ed.), Conservation of Marine Archaeological Objects, Londres 1987, p. 88.

que el barreño está recubierto por una pátina compacta negra de sulfuro de cobre, las concreciones de goethita son pulverulentas e incoherentes, tanto que se destruyen durante la misma excavación.



Fig. 29:

El barreño de cobre del naufragio de Marsala en el estrato de yacimiento arqueológico rodeado por productos de corrosión del hierro

4.3.3. Objetos de hierro

En el ámbito de los objetos de metal, aquéllos realizados en hierro son seguramente los más expuestos a los daños de un ambiente agresivo, ya sea por la naturaleza del material, que, sobre todo, por las diferencias estructurales que el trabajo sobre los mismos genera en la masa metálica. La metalurgia del hierro es antigua y ha sufrido notables evoluciones durante los siglos en términos de nivel de purificación del material y de tecnología de fusión y de trabajo, tanto que cada civilización puede tener el mérito de una primacía en la producción de los objetos de hierro. En el ámbito de los hallazgos subacuáticos, la mayor parte de los restos se ubica en épocas relativamente recientes, con un elevado porcentaje de objetos pertenecientes a categorías bien definidas: anclas, armas livianas y cañones. Mucho menos abundantes son, en cambio, los objetos y manufacturas de uso doméstico, que de todas maneras se hallan generalmente en sitios de agua dulce o muy enterrados.

Las anclas, como los cañones, han tenido una evolución importante, no solamente por lo que se refiere a la forma, sino, sobre todo, con respecto a la tecnología de producción. Las anclas de época romana, las primeras en aparecer en el panorama de la historia de la navegación mediterránea, eran producidas con barras de sección cuadrada y estaban constituidas por tres elementos diferentes: la caña, los brazos y el cepo, unidos el uno al otro con soldaduras. Es interesante subrayar que en el periodo bizantino la forma se evoluciona de manera que el trabajo se

simplifica (fig. 30) y se pasa desde secciones cuadrangulares hacia secciones circulares, índice de una diferente tecnología de producción de las barras: forjadas las primeras, fundidas las segundas. Dimensiones y forma se vuelven, en los siglos sucesivos, el resultado de distintas evoluciones tecnológicas en el trabajo del metal y de la arquitectura naval; así que al aumentar del tonelaje debe corresponder un peso mayor del ancla y su incrementada capacidad de agarre sobre los fondos distintos. La caña es redonda y los brazos son redondeados con una punta en forma de hoja, fundida directamente con los brazos, el cepo es fijo y muchas veces recubierto de madera, mientras que la cabeza de la caña contiene un anillo grande para la cima del amarre.

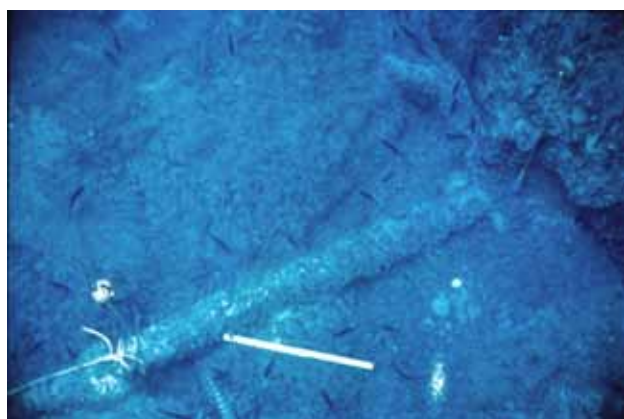


Fig. 30:
La ancla bizantina de Capo Ferrato

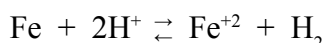
Evolución similar se observa en la producción de las bocas de fuego que pasan de los cañones forjados, realizados con barras de hierro a sección trapezoidal, unidas entre ellas con anillos circulares, a aquéllos cilíndricos fundidos y caracterizados porque en ellos se encuentra la retrocarga. También para estos objetos el proceso de degradación varía en velocidad según la tecnología de producción, pero también según las condiciones de agresividad del ambiente, sin tener en cuenta que el mismo uso del arma causaría variaciones en la estructura de la aleación a causa del intenso calentamiento de la masa. Una especie de recocido y de temple que habría favorecido la segregación del carbono volviendo la masa de hierro más frágil y más sensible a los procesos de corrosión.

Las armas de corte merecerían un tratamiento a parte por la amplia gama de los tipos y por las diferencias, también notables, que éstas presentan de una región a la otra: basta pensar en la elevada calidad de los aceros chinos o de las lamas de Toledo para entender cuán profunda diferencia de resistencia a la corrosión pueden tener estos objetos si se comparan con una lama medieval o aún más

antigua. En la mayor parte de los casos, los hallazgos de armas de corte y de lanzamiento (principalmente ballestas) son relativos a naufragios fechados en la segunda mitad del siglo XVI, cuando la marinería española era dominante en el Mediterráneo y también en los mares de América.

Degradación de los objetos de hierro

La presencia del agua y de los sales disueltos hace posible que presenten todas las reacciones de oxido reducción que transforman el hierro metálico en sus minerales. El proceso se basa sobre la capacidad del elemento metálico de transformarse en iones según la reacción:



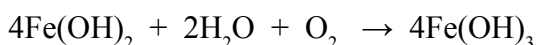
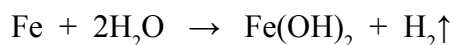
Sin embargo, ya que la reacción de disociación del agua



pone en circulación iones oxhidrilos OH^- , ya que en naturaleza no pueden existir especies químicas libres eléctricamente cargadas, se realizará la reacción:



que origina una especie química capaz de reaccionar ulteriormente para formar los compuestos más estables a las condiciones del ambiente huésped. El proceso de alteración del hierro, por lo tanto, puede ser resumido en el esquema general:



que conlleva la formación de óxido, es decir del principal producto de corrosión del hierro. Obviamente el ambiente subacuático influencia tanto el mecanismo, como la cinética de las reacciones, sobre todo por la naturaleza y la concentración de las especies salinas en él presentes. El esquema de figura 31 permite comprender cómo el ambiente genera las condiciones óptimas para que el metal se encuentre en condiciones de modificar su estado de oxidación a través de la acción combinada de especies bacterianas y de las especies iónicas (cloruros y

sulfatos) disueltas. En la zona de alteración se realizan las reacciones galvánicas de oxidación y reducción y se origina el ión de hierro que tendrá la posibilidad de combinarse con los aniones para formar los productos de corrosión (cloruros, sulfatos y sulfuros) más favorecidos por las condiciones externas.

Estos productos, durante la fase de precipitación al estado sólido, engloban sedimentos del fondo y forman la así llamada ganga, que envuelve el objeto y varía su volumen y forma exterior. La extracción del objeto del ambiente subacuático, sin embargo, no interrumpe el proceso de alteración ya que el ambiente aéreo activa procesos de degradación que siguen mecanismos diferentes.



Fig. 31:

Esquema de alteración del hierro
en ambiente marino

A la interfaz entre el hierro metálico y los productos de corrosión (figura 32) se desarrolla una agresión ácida que conduce a la formación de nuevo ión ferroso que tendrá aún la posibilidad de combinarse con las especies aniónicas disponibles para formar el hidróxido. A este punto, la presencia del oxígeno se vuelve importante, pues activa el proceso de oxidación del hierro desde ión de hierro (Fe^{+2}) hacia ión férrico (Fe^{+3}) con formación de óxido hidrato de hierro y de hematitas (Fe_2O_3). La presencia contemporánea de CO_2 , además, permite la formación de siderita, es decir del carbonato de hierro (FeCO_3) estable en el aire. La permanencia de los cloruros en el interior de la ganga, sin embargo, modifica el mecanismo de la degradación y permite que los procesos de corrosión del hierro, muy activos en el ambiente subacuático sigan realizándose, aunque con una velocidad reducida, en el ambiente aéreo, gracias a la presencia del agua difundida en el aire como humedad.

Se puede deducir por consiguiente que la velocidad de las reacciones de oxidación y reducción depende del valor de la humedad relativa al ambiente huésped y de su

nivel de oxigenación, según los esquemas anteriormente ilustrados.

Fig. 32:
Esquema de alteración del hierro
en ambiente aéreo



El bajío de las anclas de Castiadas (Cagliari)

El sitio está localizado a cerca cuatrocientos metros de la costa del municipio de Castiadas (Cerdeña) en localidad Cala Sintias y se encuentra a una profundidad de 24 metros sobre un fondo de arena, roca y posidonia, en continua evolución por su exposición a fuertes corrientes del fondo. El yacimiento está constituido por un grupo de dos anclas de hierro sobrepuestas en posición cruzada, correspondiente a la posición de debían tener en el en el pañol de proa de la nave y de otras tres ubicadas lateralmente y orientadas en sentido ortogonal respecto al grupo central (fig. 33). Los brazos son de forma redondeada y las puntas en forma de cincel que hacen pensar a una época alrededor del I siglo d.C. cuando la costa oriental de la Cerdeña era una de las rutas preferenciales de las naves que desde Cagliari se dirigían hacia el golfo de la Liguria. La particular disposición de las anclas hace pensar que se trata de un naufragio ocurrido en condición de fuerte viento gregal que, en aquella determinada área, no permite encontrar amparo. Por otro lado, una investigación de superficie realizada en 2002 había identificado una cierta dispersión de materiales metálicos, coherente con el hundimiento de una embarcación de medias dimensiones. La ausencia de material cerámico diseminado en superficie era justificada por las condiciones del sitio, que no podían permitir su acumulación, sino que más bien favorecían su dispersión debido a las corrientes de fondo. Por otro lado, un ensayo de excavación realizado ese mismo año, en correspondencia del grupo central de anclas, había confirmado que el espesor del estrato de recubrimiento era notable

y por cierto superior a los 60 centímetros que se habían removido sin haber encontrado otros objetos. El espesor, además, estaba sujeto a variaciones incluso de 20 centímetros en acuerdo con la dirección de las corrientes de fondo.

Nos encontramos, por lo tanto, en condiciones de conservación que difieren para cada objeto y que son alternativamente oxidantes y reductoras. En particular, las dos anclas cruzadas, que sobresalen del nivel de la arena, están siempre expuestas a un ambiente muy oxidante y, por consiguiente, presentan un elevado espesor de la ganga y un proceso de corrosión que ha casi completamente transformado el alma metálica. Por el contrario, las anclas en posición lateral son alternativamente cubiertas y descubiertas por la corriente y, por lo tanto, están sujetas a procesos cíclicos de oxido reducción que originan concreciones que contienen tanto los productos típicos de la alteración aeróbica, como aquellos que derivan de las reacciones en ausencia de oxígeno. El espesor de las concreciones varía y la forma que éstas asumen depende del nivel de recubrimiento y, en la mayor parte de los casos, sobre su cumbre se observa la presencia de formaciones de limonitas amarillas muy poco coherentes.



Fig. 33:
La seca de las áncoras

En conjunto, se trata de un yacimiento de notable interés ya que podría aun conservar parte del casco y de la carga, pero las particulares condiciones del sitio hacen que la excavación arqueológica sea difícil y seguramente larga. Parecería, por lo tanto una situación de salvaguardar con particulares disposiciones dirigidas a disminuir de la velocidad de corrosión galvánica y creando un parque arqueológico.

4.3.4. Objetos de plomo

Por su grande difusión y la facilidad de elaboración, el plomo ha sido utilizado

desde épocas muy remotas para la producción de pequeños objetos principalmente de uso votivo y para la fabricación de objetos de uso común. Debido a su bajo punto de fusión, sin embargo, el metal fue prontamente utilizado en mezcla con el cobre para la producción de objetos en bronce con las funciones más diferentes. En la civilización romana el plomo al estado puro toma gran importancia pues, gracias a su ductilidad y elevada resistencia al contacto con el agua, fue muy utilizado para la producción de tubería y de otros elementos de uso hidráulico, como atestiguan las redes de abastecimiento de las ciudades de Pompeya y Ercolano, aun hoy visibles en los pavimentos de las domus y de los andenes.

El elevado peso específico del metal, unido a su vasta disponibilidad en las minas de los países mediterráneos (en España, Grecia y Cerdeña se encontraban las mayores canteras explotadas) y a la facilidad de purificación, había promovido su uso como cepa fija en las anclas, hasta entonces realizadas con asta y ganchos de madera de roble. El progresar de la técnica de construcción naval y el aumentar de los conocimientos inherentes a los procesos de alteración de las carenas por parte de la Teredo Navales, habían traído el uso de proteger la carena de los grandes barcos de transporte, aplicándoles un estrato de plomo metálico en forma de sutiles láminas clavadas a la madera del casco desde el externo. Por cuanto sujeto a corrosión, este estrato de protección sigue adhiriendo a la madera en las partes de la carena profundamente enterradas o protegidas por espesas matas de posidonia oceánica, como demuestran algunos importantes hallazgos efectuados en los últimos decenios.

La mayor parte de los hallazgos extraídos de los sitios subacuáticos, se incluyen en las dos grandes categorías de los lingotes y de los cepos de ancla; los primeros atestiguan los numerosos tráficos marítimos entre las regiones de extracción del metal y los sitios de venta, mientras que los cepos de ancla permiten identificar las múltiples rutas comerciales y militares, pero también cómo la tecnología de construcción de las anclas había evolucionado a través de los siglos.

Las anclas de Maratea

La historia de esta consistente colección de cepos fijos empieza en 1975 con la recuperación, por parte de algunos buzos del piamonteses de cuatro cepos de anclas que hacían parte de un conjunto más consistente identificado en las aguas cercanas al islote de Santo Janni, acodo extremo de la Punta de la Matrella, inmediatamente al sur del puerto de Maratea, un pequeña ciudad de la costa del Tirreno, de la región italiana de la Basilicata. La abundancia de hallazgos en una restringida área de mar, a una profundidad media de 30-33 metros, llevaba a la

hipótesis de la presencia de un reparo usado con frecuencia por las embarcaciones, ya sea en condiciones de viento adverso, que como anclaje para el abastecimiento de agua. En todo caso, se había ya despertado el interés de la Superintendencia arqueológica y en los años 1980-81, se realizó una prospección total de la zona y recuperó otros cepos que llevaron a la colección a contar con un número total de 14 cepos y de 2 enganches a tres foros, probablemente pertenecientes a dos de los cepos (Bottini et Al. 1984).

La observación directa de los hallazgos y la adquisición de los datos característicos métricos (el largo máximo de los brazos, el ancho y la altura de la carlinga, etc.) y de peso, llevó a la identificación de números grabados después de la fusión sobre los brazos o sobre la caja, pero también de letras, que indicaban probablemente el armador o el productor, realizadas en la fase de fusión del cepo. Todas las anclas estaban fuertemente recubiertas por incrustaciones blancas de naturaleza calcárea, pero a pesar de esto, se ha podido igualmente observar la presencia de una superficie más rugosa y con depresiones longitudinales en una de las caras planas del mismo cepo: se trata de la superficie que quedaba expuesta al aire al terminar la colada de plomo fundido y que sufría el retiro dimensional del metal en la fase de enfriamiento. Las depresiones son, por lo tanto, una señal característica que permite interpretar la tecnología de fusión del objeto, pero también verificar el grado de pureza de la fuente, ya que es en esta zona que se adensan las escorias y las impurezas que durante la cocción del mineral se segregan de la masa metálica. Los procesos de alteración pueden, por lo tanto, empezar en estas mismas áreas, ya sea porque son más ricas de impurezas, que porque son menos compactas que el metal puro.

Degradación de las manufacturas de plomo

El plomo es un metal que tiene la capacidad de auto pasivarse creando, cuando entra en contacto con el ambiente, un estrado continuo de compuestos estables que disminuyen la velocidad de los procesos de alteración hasta pararlos. La pátina más estable desde el punto de vista químico y que puede formarse en cualquier ambiente, está principalmente constituida por óxidos, mientras que en ambiente marino son frecuentes también las concreciones a base de carbonatos y de sulfatos. La constitución de una pátina implica, de todas maneras, la existencia de un sistema redox en el cual el plomo pasa de un estado metálico al de ión, permitiendo la formación de óxidos. La presencia en el ambiente marino de especies iónicas solubles como los cloruros y los sulfatos lleva a la formación de sulfatos y cloruros de plomo, que pueden activar procesos de degradación que

siguen mecanismos distintos, que provocan, de todas maneras, una corrosión que a veces se hace incluso muy acentuada, cuya velocidad puede variar sensiblemente si se realiza un contacto con otras masas metálicas de diferente naturaleza y degradabilidad.

El ambiente marino caracterizado por elevadas concentraciones de oxígeno facilita la formación de anglesita (PbSO_4) y de laurión (Pb(OH)Cl) que tienen estabilidad muy diferente: mientras que, de hecho, la anglesita tiene una función de pasivar, el laurión puede activar mecanismos de alteración incluso después de la extracción del objeto del ambiente subacuático. En condiciones de anaerobiosis, es decir de carencia de oxígeno, o en ambientes contaminados, la formación de la galena (PbS) está favorecida respecto a la del sulfato ya que el sistema redox del sulfuro tiene un potencial inferior⁶.

La formación de las concreciones sobre las superficies externas de los objetos, de todas maneras mejora el sistema de autoprotección del plomo y reduce la velocidad de los procesos electroquímicos, hasta detenerlos completamente a menos que no estén en contacto elementos metálicos con diferente potencial redox. La concreción es, de otra parte, acelerada ya sea por la presencia de especies orgánicas (a menudo inhibidas por la toxicidad de las sales de plomo), que por las elevadas concentraciones de bióxido de carbono en el fondo: en este último caso, se forma el carbonato de calcio que resulta ser particularmente estable y compacto y, además, perfectamente adherente a la superficie expuesta del objeto.

Una vez que el objeto ha sido extraído del ambiente subacuático, sin embargo, el sistema modifica el mecanismo de alteración y se favorecen las reacciones que se desarrollan principalmente en ambiente rico de oxígeno. Se tiene, de esta manera, una formación de óxidos del tipo massicot amarillo (PbO) o de bióxido PbO_2 marrón, pero también la formación de cerusita (PbCO_3) y de hidrocerusitas ($2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$) blancas que modifican la estructura y la composición de las concreciones. Es necesario tener en cuenta estos procesos previamente, ya sea para definir las condiciones de conservación temporal, que para definir las metodologías de intervención de conservación.

El ancla de Punta Is Cappuccinus de Cala Sintias (Cagliari)

Un objeto que presenta serios problemas de conservación es sin duda el ancla de hierro con cepo fija de plomo que en el 1994 se encontró en proximidad de la punta Is Cappuccinus, inmediatamente a sur de la bahía de Sintias. El ancla está situada

6. N.A. North, I.D. MacLeod, Corrosion of metals, in: C. Pearson (Ed.), cit. p.89.

a una profundidad de 20 metros al límite de un corrimiento de roca a una distancia de aproximadamente 60 metros de la línea de costa y yace en posición horizontal con el cepo apoyado de plano en una depresión del fondo, mientras que uno de los brazos esta' encastrado de manera vertical debajo del escollo (fig. 34).

Las dimensiones son bastante interesantes ya que la caña y el cepo miden 160 centímetros y el apertura de los brazos alrededor de 120 cm., mientras que el arganeo tiene un diámetro de alrededor 30 cm. Por las condiciones de exposición, el estado de conservación está muy diversificado en las dos partes metálicas. De hecho, mientras que el cepo de plomo muestra solamente una ligera pátina de corrosión debajo del fieltro de algas crecidas sobre sus superficies, la caña y los brazos presentan una corrosión muy acentuada. La caña y el arganeo están recubiertos por una concreción de espesor variable, pero homogénea y bien adherente a la parte metálica, de la cual, además, no se logra determinar la consistencia, mientras que, por el contrario, los brazos que emergen fondo rocoso aparecen quebrados y completamente vacíos. Este es uno de los efectos de la corrosión del hierro en ambiente marino, acentuado por la particular posición del objeto. Con estas consideraciones no aparece factible la hipótesis de una recuperación, pues resultaría extremadamente compleja y costosa ya sea por las dimensiones (es decir por el peso total) sea por la dificultad de realizar una intervención conservativa adecuada en tiempos breves.

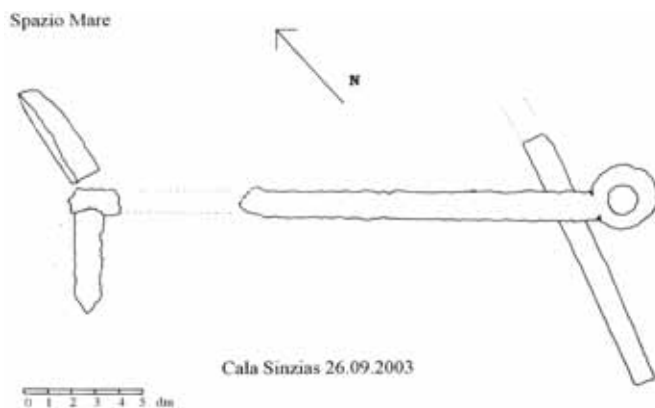


Fig. 34:
Relieve de una ancla de hierro
con cepo de plomo cerca de
Punta Is Cappucinus (Cerdeña)

Desde luego que la misma consistencia de dos distintos materiales y la diferencia tan acentuada de su estado de conservación impondría la aplicación de procedimientos de tratamiento tecnológicamente avanzados y de larga duración, no realizables en ausencia de estructuras adecuadas. Por lo tanto, también en este caso la solución de conservación más adecuada sería aquella de una protección

in situ y de una adecuada musealización de todo el área.

4.4. Materiales orgánicos con particular referencia a la madera

Los restos orgánicos recuperados durante la excavación arqueológica, pueden tener naturaleza y composición química diferente según el sitio de yacimiento y las condiciones de conservación: en las turberas es posible encontrar además de la madera también pieles y tejidos en buenas condiciones de conservación, mientras que en los sitios marinos resulta ser mas difícil que se produzca una buena conservación de los materiales orgánicos distintos a la madera.

Desde luego que en el ámbito de esta clase de materiales, es la madera la que presenta las mayores dificultades de conservación tanto *in situ* como después de la recuperación, debido al particular mecanismo de degradación que la interesa y, muchas veces, a las dimensiones del objeto.

De otro tipo de complejidad es la conservación de tejidos, cordaje y pieles, ya que a la degradación, a menudo muy avanzada, de la materia se acompaña la necesidad de realizar la recuperación y la conservación con materiales y técnicas especiales. Sin embargo, es verdad que las problemáticas conservativas que estos materiales presentan no difieren mucho de aquéllas de los objetos de madera, a los cuales se asimilan por la composición química (con exclusión de las pieles y de los tejidos de lana) y por los mecanismos de alteración.

Con el fin de entender más estas complejas problemáticas es, por lo tanto, necesario profundizar el conocimiento sobre el material de la madera y sobre las dinámicas de su degradación en ambiente subacuático.

4.4.1. La madera

La botánica divide las plantas en dos grandes clases: las coníferas y los latifolios caracterizados por tener una diferente estructura celular y una similar, pero no idéntica, composición química. De hecho, mientras las coníferas tienen una estructura bastante sencilla, caracterizada por una sucesión regular de células iguales llamadas traqueadas (fig. 35), los latifolios muestran una mayor complejidad estructural con unidades celulares elementares dichas tráqueas en las cuales se identifican rayos medulares, constituidos por alineamientos regulares de células que van desde el centro del tronco hasta la periferia, y vasos con diámetros diferentes destinados al transporte vertical de las sustancias nutricionales (fig. 36). A estas dos estructuras corresponden ya sea valores de porosidad total diferentes que diversas distribuciones de los componentes químicos fundamentales del

tejido de la madera, que está constituido por celulosa, lignina y resinas. En particular, mientras que la composición media de la madera de latifolio resulta contener (fig. 37):

- el 24% de lignina,
- el 71% de celulosa,
- el 5% de resinas,

en las coníferas el contenido medio de compuestos resinosos aumenta hasta el 10%, otorgando a estas clases de madera una mayor resistencia a la degradación cuando se encuentran en estado de saturación de agua.

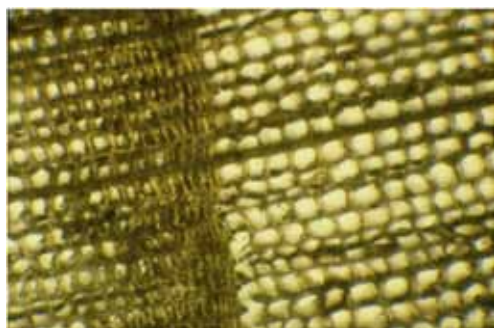


Fig. 36:
Estructura celular de una latifolia

Fig. 35:
Estructura celular de una conifera



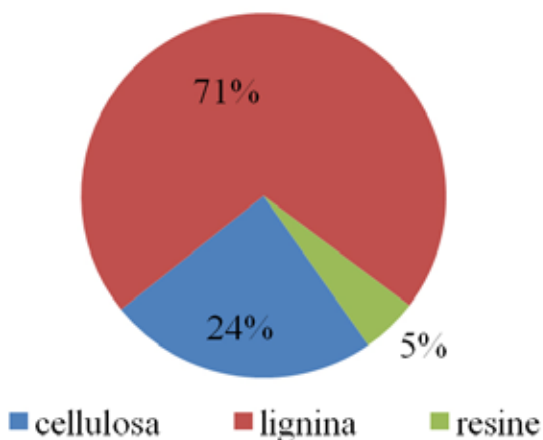
Para comprender mejor la estructura de la madera y de sus procesos de alteración, sin embargo, es necesario tener en consideración la composición y la estructura química de la lignina y de la celulosa y sea de los dos componentes fundamentales que dan al tejido de madera consistencia y propiedades reológicas. La celulosa, sintetizada a partir de unidades elementales de glucosa, es un polímero de naturaleza polisacárica a cadena lineal (fig. 38) con la capacidad de formar conexiones hidrógenas intermoleculares que contribuyen a endurecer la estructura de la pared celular.

En los espacios dejados libres por las fibras de la celulosa se puede, así, insertar las macromoléculas de la lignina que, siendo un polímero obtenido de la unión de los isómeros del fenilpropano (fig. 39), tienen la tendencia a asumir una forma esférica o, de todas maneras, casualmente tridimensional.

Con base a estas características peculiares, por lo tanto, los dos componentes

se distribuyen en relaciones cuantitativas variables en las diferentes estructuras de la pared celular, de acuerdo con la función que estos mismos tejidos deben realizar. En el espesor de la pared celular, de hecho, se distinguen tres diferentes estratos identificados como pared S1, S2 y S3 (fig. 40), que tienen estructura y composición química diversas. En la madera del pino, por ejemplo, la pared S1 contiene cerca del 72% de celulosa que aumenta hasta el 74% en la pared S2. Por el contrario la lámina mediana, que tiene unidas las diferentes tráqueas, contiene en la misma especie de madera sólo el 40% de celulosa.

Fig. 37:
Composición media de los latifolios



Aún sin entrar en el detalle de la estructura tridimensional del tejido de madera de las diversas especies vegetales utilizadas como materias primas para la realización de objetos, se debe subrayar que la diversa estructura y composición química de la pared celular de la madera, sea determinante para establecer la velocidad del proceso de alteración, en condiciones de saturación de agua.

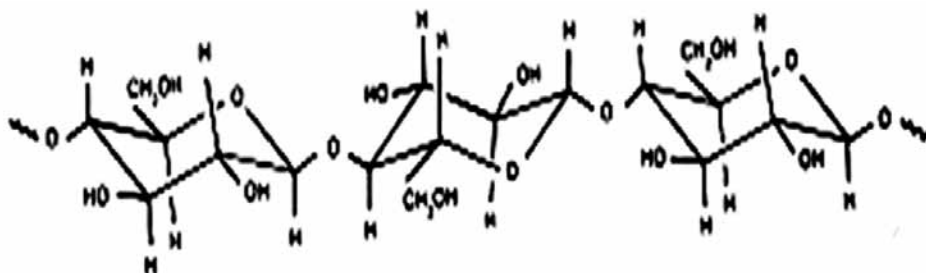


Fig. 38:
Estructura polimérica de la celulosa

Degradación de los objetos de madera

La degradación del tejido de la madera sigue dos distintos mecanismos que muchas veces coexisten en los sitios subacuáticos ya que son ambos activados por la presencia del agua. La primera acción, que se desarrolla en condiciones de saturación, es la solubilización de las fracciones de glucósido y de las fracciones resinosas de bajo peso molecular; este proceso tiene el efecto de incrementar la porosidad del tejido de la madera a costa de las paredes celulares.

Contemporáneamente tiene inicio el proceso de hidrólisis de la celulosa y de la hemicelulosa que provoca la fragmentación de las macromoléculas y la formación de una serie de polisacáridos con peso molecular decreciente hasta los azúcares elementares (glucósa y manosa) que vienen solubilizados y extraídos de la madera en medida siempre mayor según la agresividad del ambiente de yacimiento.

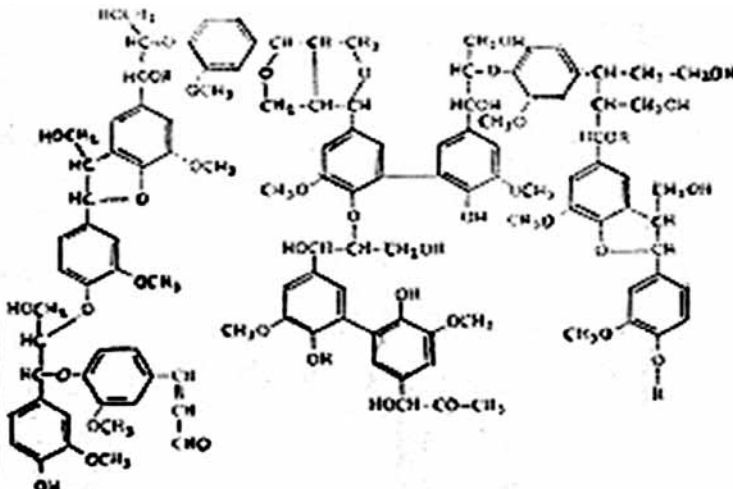


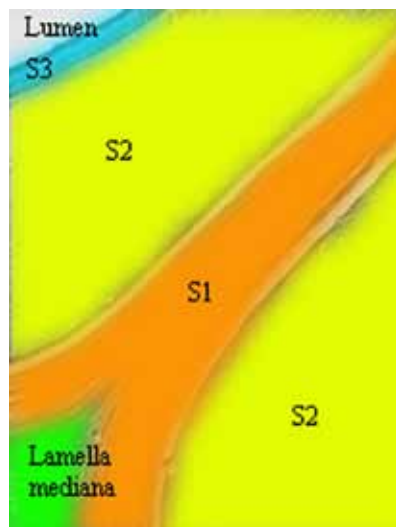
Fig. 39:
Estructura de la lignina

La depolimerización de la celulosa se evidencia en la destrucción del estrato S₃ de la pared celular y en el desprendimiento de la pared celular S1 de la lámina mediana: ambos fenómenos provocan un incremento de la porosidad de la madera y la interrupción de la continuidad estructural del tejido de la madera. La fragilidad de los objetos, por consiguiente, aumenta hasta alcanzar, en los casos más graves, la destrucción de la forma. Por el contrario, la lignina no sufre la reacción de hidrólisis y permanece como componente principal en el tejido degradado, tanto que el análisis químico muestra la inversión de los valores de composición en porcentaje respecto a la misma especie al estado fresco.

Este tipo de degradación conlleva un aumento de la cantidad de agua de saturación

del tejido de la madera y también un aumento limitado de su volumen, evaluable en alrededor de 5÷7% del volumen al estado seco.

Fig. 40:
Estructura de la pared celular lignina
de una conifera



El contenido de agua de saturación, determinado analíticamente con análisis expeditos, muy sencillos y de bajo costo, toma a nivel internacional el nombre de Maximum Water Content (MWC) y expresa de manera indirecta el nivel de alteración sufrida por la madera. Además, la pérdida de celulosa por parte de la pared celular implica una variación del peso específico de la madera evaluable analíticamente en términos de variación de la densidad de la pared celular; comparando esta variación con el valor de la densidad de la especie de la madera al estado fresco se logra un valor en porcentaje de la pérdida de sustancia lignosa, indicado en la literatura especializada como Loss of Wood Substance (LWS) y aceptado universalmente como evaluación objetiva de la degradación de la madera. La presencia de especies biológicas asentadas en la estructura de la madera modifica el equilibrio químico de la degradación ya que introduce en el proceso de alteración la secuencia de las reacciones enzimáticas que llevan a la demolición, tanto de la celulosa (enzimas y organismos celulosolíticos), como de la lignina, cuando se asientan organismos lignolíticos. Se trata, obviamente, de especies microbiológicas pertenecientes al género de las bacterias y de los hongos que producen enzimas específicas capaces de despolimerizar a través de agresión química dirigida de las dos macromoléculas que componen la pared celular. El resultado final es siempre un aumento de la porosidad de la madera con consiguiente incremento del MWC% y disminución de la densidad de la pared

celular al cual corresponde un aumento de LWS%. De todas maneras, en general, la madera degradada pierde resistencia mecánica y toma una consistencia esponjosa, más acentuada cuanto mayor es la degradación sufrida durante la permanencia subacuática y hay que tener en cuenta estos aspectos durante la excavación arqueológica y en las distintas fases de intervención, si se quiere proceder con la restauración del objeto.

La nave de Valle Ponti de Comacchio (Ferrara)

El descubrimiento de este grande naufragio fue totalmente casual y se realizó en 1981, durante el saneamiento de un canal de remoción de las aguas de eliminación de las aguas de fluencia superficial conectada con la cercana laguna. El hallazgo generó gran clamor entre los arqueólogos pues, ya desde los primeros ensayos de excavación, se entendió que la nave contenía aún buena parte de la carga. Las sucesivas campañas sistemáticas de excavación confirmaron este hecho, pero al mismo tiempo permitieron el descubrimiento de un barco casi totalmente íntegro en su estructura, a excepción de una zona terminal que se destruyó durante la recuperación mecánica del canal y de los lados, que se deterioraron durante la permanencia en el mar. La excavación fue realizada en seco, habiendo aislado con unas mamparas el área interesada y desviado el canal para permitir la recuperación de los datos arqueológicos sin las dificultades de una excavación subacuática en una cuenca tan delimitada como un canal de saneamiento.

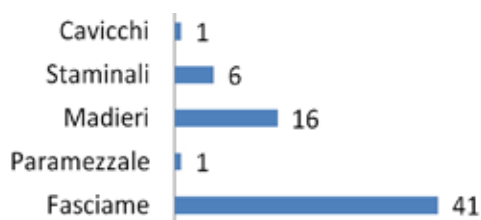


Fig. 41:
Distribucion de las muestras

Los resultados fueron excelentes por la riqueza y la multiplicidad de los materiales recuperados (Berti 1990), pero también por haber descubierto una embarcación de edad Augustea realizado con la técnica del enchapado cosida y del armazón cosido. La técnica prevé que el casco sea construido poniendo uno al lado del otro los ejes del enchapado a la quilla, antes de preparar los elementos de la estructura resistente de las varengas y de las coordenadas, juntando las partes a través de cuerdas de esparto (una graminácea, la “Spica tenacissima”, utilizada para la realización de cuadernas para la náutica hasta todo el 1960)

pasadas a través de agujeros excavados diagonalmente en los ejes. La misma estructura rígida, a seguir, se montaba con el mismo sistema mediante ataduras cruzadas a fin de incrementar la resistencia mecánica de todo el casco. El buque tenía una tablazón interna, funcional para la mejor disposición de la carga, pero también para el aislamiento de la sentina y la correcta eliminación de las aguas de infiltración. La estañadura de la carena estaba realizada con la inserción de telas de lana en la junta de la tablazón y la sobre posición de fibras extraídas del libro de árboles de tilo, atados fuertemente con cuerdas de esparto.

Las dimensiones resultaron notables: un largo alrededor de 21 metros y un ancho máximo de cerca 6 metros, por lo cual este casco resultaba ser el más grande entre aquéllos realizados con esta particular técnica hasta entonces descubiertos y estudiados. Se decidió, por lo tanto, su recuperación y restauración.

Con el fin de realizar su recuperación se optó por conservar el casco en su integridad, haciendo referencia a las experiencias maduradas muchos años antes con las naves de Nemi (Ucelli 1983); se hizo por lo tanto una estructura de soporte con vigas de madera, sucesivamente enganchada a un telar de hierro para el levantamiento y el transporte al laboratorio de restauración. El único error que se hizo en esta fase fue haber desarmado y removido la tablazón interna y la armazón para permitir la excavación de la arena interpuesta entre los dos niveles; de hecho, esta operación destruye la unidad estructural de la embarcación e invalida fuertemente los resultados de la restauración. La recuperación, por lo tanto, fue solo para el casco externo, mientras que varengas, ligazones, tablazón interna y ejes de la escotilla venían ubicados sobre camillas de acero inox en la misma piscina ideada para la realización de la restauración.

Sin embargo, la historia conservativa del naufragio empezó solamente en 1992, cuando se abrió la exposición del buque y se colocó en su tina de tratamiento. Una piscina larga aproximadamente 30 metros y ancha por lo menos 6, con una profundidad de aproximadamente 3 metros, dotada de una eficiente instalación subacuática de iluminación, pero sin una instalación de recirculación y depuración del agua. El llenado de la tina, además, se hizo con aguas no esterilizadas, con la consecuencia que después de un tiempo se formaron sobre las maderas depositadas rojos de hierro bacterias mientras que el agua tomaba un color oscuro que impedía la vista del naufragio. La Comisión encargada por el Ministerio de los Bienes Culturales, para de estudiar el problema, después de haber examinado toda la documentación disponible, decidió actuar según dos directrices: a corto plazo, dotar la tina de tratamiento de una instalación de recirculación y purificación del agua; a mediano plazo, realizar un estudio sistemático de la embarcación con el fin de acertar el verdadero estado de conservación de las maderas y dimensionar,

por consiguiente, el completo procedimiento de restauración⁷.

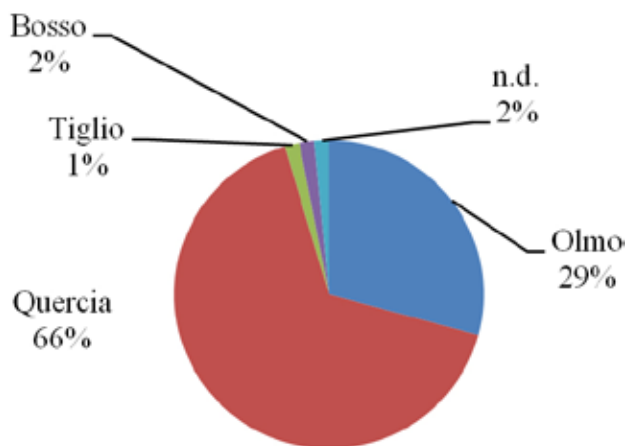


Fig. 42:
Distribución de la especie de las maderas

Las investigaciones se hicieron solamente sobre las maderas del casco, tomado pruebas de todos los ejes de la tablazón, las varengas y las ligazones, además de clavijas de fijado del cordaje (fig. 41).

Los análisis taxonómicos permitieron acertar que la mayor parte de los elementos de la carena habían sido realizados con madera de olmo (*Ulmus* sp.), mientras que para el armazón había sido utilizada principalmente madera de roble (*Quercus* sp.); las clavijas eran, en cambio, realizadas con madera de boj y el calafateado interno con madera de tilo (fig. 42). De una sola muestra no se ha podido reconocer la especie de pertenencia, a causa de su elevado estado de alteración. La embarcación, por lo tanto, es homogénea desde el punto de vista de la construcción naval, con la elección de especies de madera dura ya sea para la carena, que para el armazón de refuerzo, mientras que las clavijas fueron evidentemente realizadas con maderas tiernas que podían restringirse una vez forzados en los agujeros de alojamiento. Esta elección ha hecho pensar que el buque ha sido construido en área balcánica, donde se encontraba abundancia de ambas especies.

El análisis químico de las maderas permitió determinar que los elementos del casco pertenecían a dos distintos conjuntos rectilíneos sobre los cuales las muestras se alineaban en función de su degradación (fig. 43). En particular, la madera de roble se distribuye sobre una recta de ecuación:

$$LWS(\%) = -153,8 Rgn$$

7. Las informaciones aquí ilustradas resultan de las Actas de la Comisión ministerial para la restauración del Buque de Comacchio, guardadas en los Archivos del Ministerio para los Bienes y Actividades Culturales de Italia.

mientras que el olmo pertenece al conjunto identificado por la recta, convergente al valor 100, de ecuación:

$$LWS(\%) = -175,4 Rgn$$

Es interesante notar que la muestra M21 de la cual no se había reconocido la especie, pertenece al conjunto del Quercus sp., mientras que la muestra F6, atribuido a tilo, pertenece al conjunto del olmo. Se confirma, de esta manera, la posibilidad de definir mejor la especie según los datos analíticos de degradación.

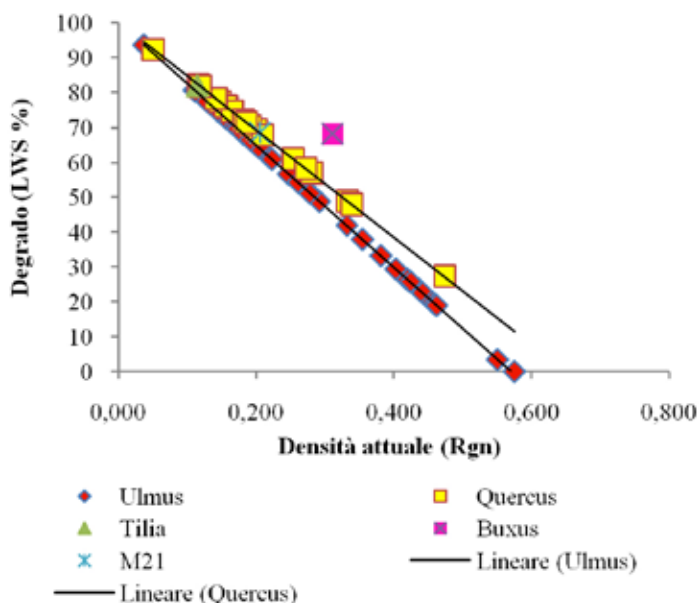


Fig. 43:
Conjuntos de pertinencia de las especies de madera

Se puede ver, además, que la degradación media de las dos especies es aproximadamente del 52% para los elementos de olmo y sube hasta a casi el 68% para todos los elementos de roble. Parece, por lo tanto, que la elección de las dos maderas fuera funcional a su particular utilización, siendo notorio que la madera de olmo era relativamente más resistente que la de roble, al contacto con el agua. Sobre esta base fue implementado el proyecto de restauración que vería la consolidación de la carena con mezclas de PEG de distinto peso molecular, mientras que los elementos de la armazón iban a ser consolidados siempre con mezclas de glicoles polietilénicos en tinas termostatzadas de circulación forzada ideadas y realizadas a propósito⁸.

8. Por correcta informacion hay que decir que la restauracion es aun en curso.

5. MATERIALES Y MÉTODOS PARA LA PROTECCIÓN Y LA CONSERVACIÓN TEMPORAL *IN SITU*

Por cuanto pueda ser realizada con el máximo respeto de los materiales, la excavación arqueológica es una operación en sí misma dañosa para la conservación de los objetos. La exposición del sitio al ambiente, de hecho, modifica las condiciones de conservación y inicia o reactiva nuevos procesos de alteración tanto químicos como biológicos, pero también simplemente físico-mecánicos. Además, mayor es el tiempo de exposición de los materiales a las nuevas condiciones de equilibrio, mayor será también la velocidad con la cual se desarrolla la alteración de los materiales siguiendo los distintos mecanismos hasta ahora descritos.

El problema ha sido, de todas maneras, siempre sentido por los arqueólogos como prioritario, a mayor razón si se piensa en la duración promedio de las excavaciones subacuáticas que, muchas veces, se realizan dentro de campañas de breve duración con largos intervalos de períodos de larga suspensión. Es evidente que en estas condiciones el entero sitio sufra profundas transformaciones si no se procede a su protección temporal .

No existe una metodología determinada para conformarse con esta tarea, que a menudo se advierte como una sustracción de tiempo a la actividad de investigación, tanto que se pospone al último momento, sin haber hecho al respecto una planificación determinada.

Las soluciones adoptadas, por consiguiente, han sido y son las más fantasiosas y siempre las más rápidas y económicas, otorgando al ambiente natural la más gravosa tarea de completar la obra del hombre. Además, hay que considerar que muy pocas veces las obras de protección están dirigidas a la conservación de los materiales propios del yacimiento arqueológico, mientras que en la mayor parte de los casos se prioriza garantizar la protección del área de las intrusiones de los clandestinos. Se entiende por lo tanto que los criterios adoptados para solucionar estos dos aspectos del problema no pueden coincidir.

5.1. El recubrimiento con arena

En los sitios caracterizados por abundante nivel de recubrimiento y por la presencia de arena disuelta, la solución de protección más inmediata, al término de la campaña es aquella de invertir el tubo de aspiración y depositar sobre el sitio los sedimentos del fondo prelavándolos de las áreas cercanas. El método ha sido frecuentemente adoptado en los años pasados y en teoría es correcto, pues permite recuperar las condiciones de permanencia más similares a aquellas iniciales. Sin embargo, existen

dos tipos de problemas que limitan su eficacia: el reducido espesor del estrato de recubrimiento y la falta de un estrato inerte de protección a contacto.

El espesor del estrato de arena de cubrimiento, de hecho, determina las condiciones de oxigenación del sedimento y, por consiguiente, del yacimiento arqueológico, el cual tendría que ser por lo menos de 70 centímetros para realizar condiciones anaeróbicas en las cuales se ponen a cero los procesos biológicos de degradación de los materiales orgánicos y disminuye la velocidad de los mecanismos de oxidación y de oxido reducción de los materiales metálicos, cerámicos y lapídeos. Tales condiciones, sin embargo, no podrán nunca ser alcanzadas ya que, por un lado determinarían una profunda alteración de la morfología del fondo marino y de las condiciones de equilibrio del hábitat y, por el otro, por los mismos motivos, están prohibidas por una específica ley que regula los movimientos de los depósitos de arena de los fondos marinos.

El problema más grave, de todas maneras, se presenta al momento de la reapertura de la excavación ya que la remoción del sedimento requiere un largo tiempo de excavación (con consiguiente reducción del tiempo destinado a la investigación arqueológica), y al mismo tiempo impone tener un contacto directo con los materiales arqueológicos, con grave riesgo para la incolumidad de los mismos.

Por este motivo, la necesidad de aplicar una primera protección a contacto con materiales inertes y fácilmente identificables. Si en los años pasados no había la disponibilidad de materiales con tales características, hoy en día la disponibilidad de tejidos sintéticos con elevada resistencia a la degradación y de bajo costo hacen que esta solución sea practicable. Se trata, en sustancia de tender un estrato de geo-tejido a directo contacto con los materiales arqueológicos, cuidando que sea fijado de manera adecuada al fondo antes de tirar la arena sobre el sitio. No se favorece el regenerarse de las condiciones iniciales pero se limitan los daños directos de los materiales en las sucesivas fases de limpieza del área.

5.2. Protección con chapa de zinc

Esta es una solución que ha sido muy utilizada para solucionar tanto el problema de la escasa disponibilidad de arena para el recubrimiento, como para evitar las pérdidas de tiempo y el riesgo de daños a los materiales al momento de la reapertura de las obras.

En la realidad este tipo de protección ha demostrado todos sus límites prácticamente en todo los sitios en los cuales ha sido adoptada. La chapa, de hecho, no puede adherir a la superficie del yacimiento arqueológico y deja unos espacios en los cuales el agua puede circular libremente contribuyendo a mantener activos todos

los mecanismos de alteración que se desarrollan en presencia de oxígeno. Además, se favorece el asentamiento de especies animales sedentarias cuyas actividades metabólicas pueden generar daños a los materiales arqueológicos. Aspectos, éstos últimos, de elevado riesgo para los materiales orgánicos y metálicos, cuyos mecanismos de alteración son impulsados por la actividad biológica.

Este tipo de protección, además, puede sufrir evoluciones negativas en el ambiente marino, según las condiciones del sitio. En presencia de corrientes o de movimiento ondoso, de hecho, la imposibilidad de anclar las hojas al fondo con vínculos rígidos, generalmente llevada a cabo con la puesta de elementos lapídeos o cerámicos sobre las lamieras, facilita el movimiento del estrato y la consiguiente exposición del yacimiento al ambiente, volviendo la operación de protección inclusive dañosa.

En la mayor parte de los casos, en cambio, el largo tiempo de permanencia de las hojas metálicas en un ambiente rico de especies salinas y de oxígeno, a menudo a contacto directo con los metales arqueológicos en vía de corrosión, activa los procesos redox de pasivación a cargo directo del estrato de protección. En práctica, la presencia de zinc hace que la corrosión se desarrolle principalmente en la lamiera más que en los materiales arqueológicos con el consiguiente descubrimiento del sitio y su exposición a los agentes ambientales.

Se trata, por lo tanto, de un método totalmente negativo y que debe evitarse ya sea por su ineficacia que por el riesgo de incrementar las ocasiones de daño directo a los materiales arqueológicos.

5.3. Protección con sacos de arena

Los dos casos expuestos anteriormente ponen en evidencia la necesidad que el estrato de protección esté en contacto directo con el yacimiento arqueológico, de manera que se minimicen los efectos del ambiente sobre los materiales. Una posible solución fue adoptada en 1984 para la protección del naufragio de Torre Flavia en Ladispoli (Roma), cuyo casco había sido puesto en luz por la excavación arqueológica. El área interesada por los restos en madera de la carena era de hecho bastante amplia y el estrato de arena del fondo era demasiado exiguo para ser utilizado para el recubrimiento. Además, laterales y los armazones eran movibles habiéndose degradado las originales clavijas de unión; además los laterales estaban homogéneamente interesados por el ataque de la *Teredo navalis*, que había casi completamente destruido su madera.

Se pensó por lo tanto interponer entre los laterales unas bolsitas de plástico llenas de arena, para rellenar el espacio entre los elementos del armazón hasta generar

un nivel uniforme sobre el cual disponer sacos de dimensiones mayores siempre llenos de arena. Este nivel fue orientado en favor de corriente, teniendo cuidado de sobreponer los sacos en modo de obtener un estrato continuo y aparentemente compacto. Con el fin de garantizar que la corriente no provocara su desplazamiento, finalmente, se hizo un ulterior estrato de protección con los fragmentos de los dolium que habían permanecido en el sitio porque eran esporádicos y no fácilmente relacionables a los fragmentos recuperados en el curso de la excavación.

Se debe subrayar el hecho que dicha solución era considerada provisional y funcional para permitir la recuperación y la restauración de los restos de la excavación en el año siguiente, para completar la investigación analítica y el proyecto de la entera intervención.

Sin embargo, como a menudo pasa, la falta de fondos hizo que se interrumpiera la investigación y el sitio quedó abandonado durante muchos años.

Fue providencial, en cambio, una breve campaña de investigaciones que se realizó cerca de diez años después para obtener informaciones útiles para establecer el estado de degrado del naufragio y del entero sitio.

En el trascurso de las inspecciones se puso en evidencia que el estado de fragmentos cerámicos fue en buena parte disperso a causa de las corrientes del fondo, y también por obra de los buzos que habían removido enteras zonas de la protección en la búsqueda de materiales arqueológicos. El aspecto más inquietante, fue constatar que el plástico de los sacos utilizados para el estrato superior se había degradado hasta fragmentarse en pedazos haciendo que la arena que contenían se versara sobre el naufragio. Aunque las bolsas colocadas entre los laterales habían quedado sanas y si la arena había cubierto la superficie de los armazones, era normal un incremento del degrado de la madera por efecto de las variadas condiciones de yacimiento. En realidad, los exámenes realizados en las muestras hechas en algunos enchapados laterales confirman que la madera había mantenido los mismos valores de pérdida de las sustancias de la pared celular de hacía diez años, sin sufrir, por lo tanto, una ulterior degradación. Sin embargo, si el dato analítico confirmaba que la solución adoptada era eficaz desde el punto de vista de la conservación de la madera, la degradación de los contenedores de plástico llevaba a la consideración dual que tal decisión no había sido exitosa ya sea por la duración en el tiempo que por la contaminación producida.

5.4. Protección con silicona

Una solución tecnológicamente más avanzada fue realizada en 1985 para la protección del naufragio árabe-normando de Marsala (Sicilia) (Meucci 1986)

del cual se estaba proyectando la recuperación y la restauración. La decisión de los moldes de silicona para realizar la capa de protección al contacto era la consecuencia de una investigación realizada en colaboración con la Rhône-Poulenc Italia con el intento de identificar un material que pudiera consentir la creación de una capa de estaño a contacto en la cual pudieran circular consolidantes químicos de varia naturaleza, funcionales para el tratamiento de la madera y del carbón saturados de agua. La primera fase de la experimentación había ya conducido a la realización de las estructuras de protección de la Barca romana de Ercolano (Napoles), en la segunda fase fueron desarrolladas las composiciones de las mezclas y la metodología de aplicación subacuática, para optimizar la realización de la protección del naufragio.

La aplicación aprovecha la capacidad de la silicona de polimerizar debajo del agua con un tiempo de toma de aproximadamente 30 minutos y de conservar la capacidad de adherir, en este mismo tiempo, a las capas de polímero precedentemente aplicadas garantizando la continuidad estructural de la caparazón. La técnica prevé la aplicación de la mezcla polimerizada sobre un tejido de soporte, que facilita la aplicación sobre la superficie del hallazgo. Al final de la operación de modelado, el estrato es bloqueado con bolsas de plástico llenas de arena, según la metodología hecha para el hallazgo de Ladispoli, hasta que obtener su completa dureza. El hallazgo tratado así viene por lo tanto cubierto por una segunda capa de sacos de arena y para terminar con la arena del fondo o con otras soluciones compatibles con las condiciones del fondo.

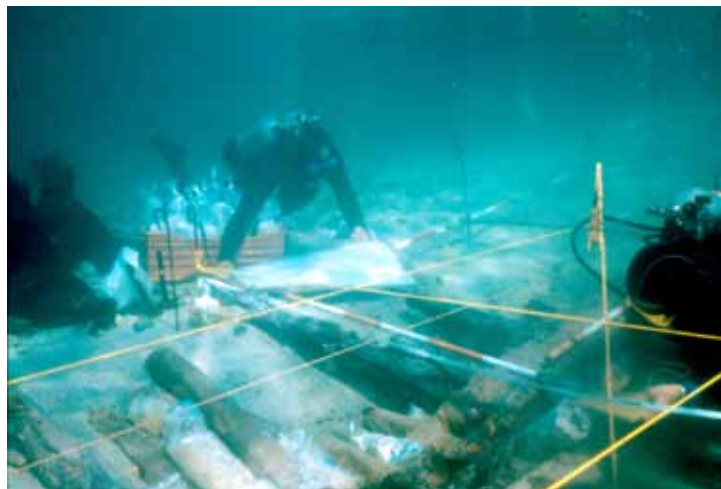


Fig. 44:
Protección con molde
de silicona del casco de
Marsala

Las ventajas que esta solución ofrece son múltiples y todas favorables a la

conservación del material y a su restauración. En primer lugar la reducción total de la circulación del agua genera un ambiente anaeróbico en el cual todos los procesos de oxidación se detienen con la consecuencia de disminuir la velocidad de la degradación. Es necesario subrayar el hecho que la goma no se adhiere a la madera ya que el estado de saturación de agua del material garantiza la permanencia en la interfaz con la goma de una película continua actúa como desprendible.

La capa adherente bloquea las varias partes del hallazgo impidiendo la dispersión en el ambiente en caso que se descubra accidentalmente, pero al mismo tiempo puede ser fácilmente removida por partes con el fin de consentir el monitoreo del estado de conservación de la madera o la integración de la documentación grafica o fotográfica (fig. 44). La reconstrucción de la continuidad estructural es, de otra parte, garantizada por la aplicación de nuevos estratos de goma de silicona. Para terminar, al externo de este estrado inatacable de agua, agentes químicos y biológicos, pueden ser aplicadas otra capaz de material diferente, igualmente funcionales a la realización de estructuras de recuperación y de tratamiento conservativo del interno del hallazgo.

Un mejoramiento de la técnica en esta dirección fue realizada en el sitio de Punta Ala (Grosseto) donde se realizó una estructura experimental para recuperar un fragmento del casco de un pequeño barco. El tejido utilizado como soporte de la silicona fue seleccionado entre los de fibra de vidrio comúnmente utilizados para las construcciones navales, escogiéndolo sobre la base de las características para garantizar la mayor resistencia del estrato a los requerimientos mecánicos. Se interpuso, por lo tanto, una red de plástico para incrementar la resistencia a la flexión y una nueva capa de goma de silicona apoyada sobre un tejido más espeso. La estructura es, por lo tanto, dotada de tabiques rígidos sobrepuestos a los enchapados con el fin de generar un esqueleto transversal resistente a los requerimientos mecánicos y en capacidad, de proteger el hallazgo. Las cimbras son bloqueadas con un tejido de vidrio impregnado con resina epoxídica con el fin de garantizar la continuidad estructural del conjunto. Para terminar, se pusieron dos vigas metálicas que permitían el enganche de los flotadores levadores para la recuperación del entero naufragio. La operación final de recuperación se realizó con éxito, aunque evitando remover el naufragio ya que no se hubiera podido restaurar en tiempos breves y con las correctas metodologías. La experiencia, sin embargo, permitió de tener la verificación practica de lo que ya se había realizado con éxito en las excavaciones hechas en tierra, o sea que era posible realizar directamente en el sitio subacuático todas las fases de intervención aptas para consentir la recuperación del naufragio con la técnica de la caparazón cerrada (Meucci 2005).

5.5. Protección encofrada con metal

Este tipo de solución fue realizado para la protección de la piragua encontrada en 1991 en la localidad de Monte Bisenzio en el lago de Bolsena y objeto de estudio por parte de técnicos de la superintendencia para la Etruria meridional. La excavación sistemática llevó a determinar que la piragua, cuyo largo es de 9,70 metros, había sido obtenida de un único tronco utilizando la técnica combinada del corte con hacha y del fuego para reducir el espesor. Datada a la edad del bronce (XIII-XI siglo a.C), la piragua se representaba estable en el fondo de posición de navegación a una profundidad de aproximadamente 13 metros y parecía relativamente bien conservada no obstante una larga fisura longitudinal en el centro del casco; faltan, sin embargo, datos analíticos inherentes al estado de degradación de la madera sobre cuya reserva se hubiera podido establecer mejor la evaluación de la eficacia del método de protección aplicado.

En espera que la primera embarcación recuperada completara el ciclo de restauración realizado en el laboratorio de Capo de Monte, se decidió conservar el hallazgo en las mismas condiciones en que fue encontrado, pero con una cobertura que permitiera la protección de los posibles daños causados por las actividades de la pesca. Sobre el casco, enteramente limpio internamente por el sedimento del fondo, fue, así, puesto un sarcófago de acero con un peso total de aproximadamente 1400 kg. vinculado al fondo por profundos piquetes de hierro, pero sin protuberancias u otras irregularidades de superficie que pudieran consentir la unión con la red y el sedal de pesca. Con el fin de garantizar una limitada circulación de agua al interno del volumen, las solas superficies laterales del sarcófago fueron equipadas de pequeños agujeros.

La solución parece seguramente óptima desde el punto de vista de la protección mecánica del objeto ya sea porque lo aísla completamente del ambiente externo y de sus posibles requerimientos, que porque el peso de la estructura no influye directamente sobre la madera. Deja surgir, en cambio, alguna perplejidad, la decisión de dejar descubierto el interno de la piragua y de abrir algunas vías de agua sobre los lados de la cobertura. La exposición de la madera a un ambiente aireado y biológicamente contaminado, por lo tanto, crea disparidades de comportamiento químico y bioquímico entre la parte expuesta y la que quedó sellada en el fondo en consecuencia de las cuales la superficie expuesta tenderá a degradarse con una velocidad mayor. El intercambio, así sea lento, del agua al interno del volumen, además, contribuirá a mantener activos los procesos de alteración agravándose presumiblemente el estado de alteración del material.

5.6. Protección con placas de metal o de cemento

Se trata de una evolución del método que hacia uso de redes electrosoldadas para la protección de los estratos arqueológicos con función exclusivamente anti-intrusión. Fue aplicada sobre una superficie de aproximadamente 120 m² para cubrir la carga un naufragio del II siglo a.C. encontrado intacto en el fondo de Montalto de Castro (Viterbo) en los primeros años '90 del siglo pasado. El naufragio yace a una profundidad promedio de 37 metros sobre un fondo de fango y arena interesado con débiles corrientes de fondo en un área habitualmente frecuentada por buzos deportivos. Ya que en los primeros años del descubrimiento, no obstante la noticia fuese tenida en secreto, se habían verificado robos de ánforas, siendo imposible proceder a una excavación sistemática, la Superintendencia decidió poner en acción una protección que fuera inatacable por los clandestinos y al mismo tiempo estable y fácilmente removible también por pequeñas porciones. La solución adoptada fue la de poner in obra paneles de acero revestidos de fibra de vidrio para reducir al mínimo el riesgo de corrosión enganchados ente ellos por cadenas de hierro cementado. En este modo la cobertura estaba en capacidad de seguir fielmente las irregularidades del fondo marino y del estrato arqueológico, reduciendo los espacios libres y consintiendo al sedimento depositarse al interno para colmar las cavidades libres. La estructura completa fue anclada perimetralmente al fondo marino mediante piquetes a expansión .

Al momento de la instalación parecía que este tipo de cubierta fuera de elevada confiabilidad, pero rápidamente se dieron cuenta que la realidad era diferente de la teoría. Durante un control, se pudo constatar que mediante el arranque garantizado de la tracción de flotadores de grandes dimensiones, los buzos habían logrado alejar las placas en modo suficiente para consentir la extracción de las ánforas del estrato arqueológica arruinando, de consecuencia la entera disposición de la cubierta. Se debe decir, además, que tal método no garantiza la buena conservación del sitio, ya que las láminas individuales se comportan como las cubiertas de zinc precedentemente ilustradas, que han resultado del todo ineficientes.

Análoga metodología fue adoptada años después para la protección de un naufragio español en las aguas de Puglia, utilizando placas de cemento armado en el lugar de las de acero. Solución de segura inmovilidad y elevada seguridad ante-intrusión, pero del todo equivocada desde el punto de vista de la conservación ya que el peso de las placas se descargaba directamente sobre las estructuras de madera del naufragio recién cubiertas de bolsas de arena causando la irreversible deformación y a veces la ruptura.

6. MATERIALES Y MÉTODOS PARA LA CONSERVACIÓN TEMPORÁNEA *IN SITU*

Como hemos visto en el párrafo anterior, debido a que no todas las metodologías de protección de los sitios tienen efectos positivos en la conservación de los materiales *in situ*, es cada vez es más necesario efectuar operaciones localizadas para poner limitadas porciones del sitio o singulares objetos en capacidad de superar el tiempo de exposición al ambiente, en espera de la recuperación y del consecuente restablecimiento.

En otros casos, en cambio, se puede optar por la operación conservativa *in situ* ya sea porque es imposible efectuar la recuperación y la sucesiva operación, que sea porque el área que interesa ha sido destinada a convertirse en un parque arqueológico sumergido.

En realidad la posibilidad de operar directamente en los mecanismos de degradación de los materiales son muy limitada en el ambiente subacuático y se limitan a operaciones de limpieza directa de las superficies o de la consolidación indirecta de elementos arquitectónicos, pero son más duraderas las operaciones catódicas de estructuras metálicas.

6.1. Protección catódica de estructuras metálicas

La primera aplicación experimental de este método de conservación *in situ* fue realizada en Australia en los años 1984-85 en el naufragio de la Xanto (MacLeod et Al. 1986), una carga a vapor que trasportaba minerales de plomo. El naufragio estaba en el límite de un banco coralino a la profundidad de 5 metros y se habían formado colonizaciones de varias especies que dependían de la corriente y de la profundidad. Las investigaciones implican biólogos y químicos, también arqueólogos, y lograron determinar con suficiente precisión ya sea el origen de la degradación de las estructuras metálicas, que las causas y los mecanismos de procesos de alteración. Una oportunidad única en su género para la integridad del yacimiento pero también para la exactitud de la fecha del evento.

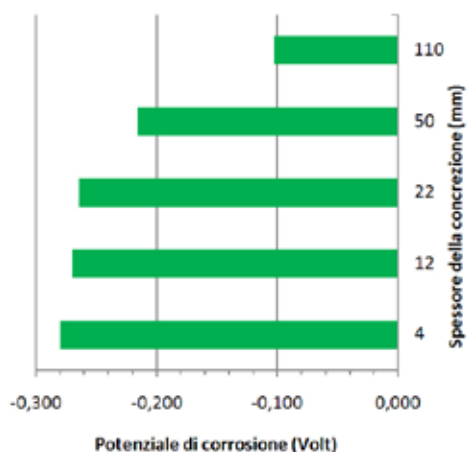
De particular interés resultaron ser los motores y los mecanismos de propulsión del barco, que, aunque estaban escondidos debajo una gruesa capa de naturaleza biológica y química, mostraban tener un excelente estado de conservación. El naufragio, por lo tanto fue escogido por los investigadores del Western Australian Museum como línea de estudio de los procesos de corrosión y de experimentación de los métodos de conservación.

Antes de empezar la excavación fueron efectuadas las medidas de los potenciales

de corrosión de las varias zonas del naufragio con el fin de comprender cuál era la relación entre los valores experimentales y el estado de concreciones (fig. 45) de aquí deriva la potencialidad de degradación de las varias partes del barco. Como se ve, a bajo espesor de las concreciones corresponden bajos valores del potencial de corrosión con un componente que parece indicar en un intervalo $-0,200 < E_{corr} < -0,100$ el valor crítico del potencial de corrosión del hierro en ambiente marino fuertemente oxigenado. Los potenciales fueron sucesivamente medidos in situ durante y después de la excavación con el fin de controlar el funcionamiento del proceso de corrosión.

La instalación de protección catódica fue realizada colocando dos electrodos de Mg/Al (con función de ánodo) al externo del casco a 3-4 metros de distancia del motor, teniendo cuidado de garantizar el mejor contacto eléctrico entre estas masas de sacrificio y las estructuras metálicas de protección. Evidentemente toda la instalación fue sucesivamente a controles periódicos hasta la recuperación de las estructuras metálicas para empezar la restauración.

Fig. 45:
Correlacion entre potencial de corrosión del hierro y espesore de la concreción. (de MacLeod et Al., cit., p. 126; datos reelaborados)



El método parece de particular eficiencia y se presta bien para ser aplicado con éxito en áreas sujetas a protección arqueológica (los parques arqueológicos marinos) para la conservación *in situ* de objetos metálicos cuya recuperación y restauración conlleva un elevado compromiso tecnológico y financiero. Es necesario subrayar la necesidad de proyectar las operaciones y las instalaciones de protección siguiendo rigurosos criterios científicos sin acceder a la aproximación, que muchas veces influencia negativamente cualquier tentativo de conservación *in situ*. Además, se debe considerar la necesidad imprescindible de efectuar controles periódicos sobre la eficiencia del sistema con instrumentos apropiados y personal altamente calificado.

6.2. Consolidación de estructuras arquitectónicas

El aumento de interés de los arqueólogos para la creación de parques subacuáticos ha introducido la necesidad de incrementar las experimentaciones en posibles métodos de conservación *in situ* de los objetos. Como habíamos dicho precedentemente, la filosofía de estas operaciones puede tomar en consideración dos diferentes aspectos del problema conservativo: operaciones con materiales y la de objetos.

Las operaciones en los objetos han tomado en consideración estructuras en paredes y pisos de estructuras arquitectónicas romanas en contextos subacuáticos sometidos a vínculos y destinados a ser gestionados como parques arqueológicos (Petriaggi & Mancinelli 2004) El criterio general seguido fue garantizar la estabilidad de la estructura mediante operaciones de reducción y de relleno con productos idóneos y demostrando la funcionalidad. En particular, mas allá de la tecnología de aplicación utilizada, las operaciones en las paredes y en los mosaicos de piso han hecho uso de morteros hidráulicos premezclados en los cuales había sido adecuadamente dosificada la relación entre fracción hidráulica pegante y la del agregado hidráulico. Obviamente para favorecer la expulsión de la mezcla en el sitio subacuático es necesario controlar también la granulometría del agregado, práctica que se hace comúnmente en las restauraciones de tierra. Los factores vinculantes de este tipo de operaciones son fundamentalmente dos: los recursos hídricos del mortero y el estado de cohesión del sustrato en el cual se maniobra. Los recursos hidráulicos de la masa de cemento regulan la velocidad y eficiencia de las reacciones de toma hidráulica y de endurecimiento y puede ser variada escogiendo una fase pegante con índice de recursos hidráulicos elevados (se recuerda que también los cementos tienen la capacidad de endurecerse en el agua, pero no pueden ser utilizados en la restauración por los daños que causarían en los materiales antiguos). Las relaciones de mezclas pegantes/agregado, en cambio se determinan sobre base experimental ya que, si fueran muy bajos se podrían separar los componentes del mortero y volverse ineficaz. También en el caso de optimización de la mezcla, en todo caso, el estado de coherencia y de compactación del sustrato se vuelve vinculante ya que es sobre éste que el mortero debe explicar la función de adhesión. Si de hecho el sustrato fuera parcialmente desmoronado, el mortero, en la imposibilidad de penetrar al interno de su estructura porosa, se colocaría sobre una superficie fácilmente degradable por obra de los agentes ambientales (corriente, movimiento ondoso, requerimiento mecánico en general). En los casos de contacto de los morteros de restauración con sustratos coherentes, las reacciones de retención hidráulica logran también interesar también la interfase de contacto del sustrato y el

espesor de material adjunto crea una especie de continuidad estructural con los materiales del sustrato, entre más elevada es mayor es la afinidad entre las especies mineralógicas entradas en contacto.

En el conjunto las metodologías experimentales propuestas parecen ser del todo confiables aunque, en el caso precedentemente examinado éstas requieren ser adoptadas y optimizadas sobre bases rigurosamente científicas.

6.3. Limpieza de la superficie expuesta de los objetos

Una de las causas de degrado más común del ambiente subacuático está representada por el asentamiento de especies biológicas incrustantes que dan origen a procesos de alteración bioquímica de los sustratos. Como se describió en el capítulo precedente, la influencia de biodeteriogenes es diferente dependiendo de la naturaleza del sustrato y del particular metabolismo que las especies desarrollan, pero en común tienen la capacidad de generar pátinas compactas sobre las superficies por debajo de las cuales se activan los procesos químicos de transformación primaria. Una posible solución de conservación in situ, por lo tanto, reside en la remoción de las causas a contacto de la degradación mediante la limpieza de las superficies. Obviamente, en un sitio subacuático los métodos para obtener resultados son limitados y la eficiencia en el tiempo se reduce generalmente a un ciclo estacional para la degradación biológica y es a periodos más largos para la degradación química.

Los métodos de limpieza utilizan todos los medios mecánicos, ya que por obvias razones los métodos químicos resultarían del todo ineficaces y inaplicables, a causa de la imprevista disolución de los principios activos en el ambiente que los rodea. Obviamente la acción mecánica va ejecutada con las debidas precauciones escogiendo el medio de limpieza a base de la fragilidad del sustrato y de su estado de conservación. El uso de cepillos de media dureza o de esponjas abrasivas puede ser preferido para remoción de depósitos de algas poco adherente en cada tipo de sustrato, pero la remoción de concreciones de carbonatos, también de origen biológico, requiere la adopción de instrumentos de mayor dureza y, por lo tanto de mayor riesgo. Cinceles de diferentes tamaños y durezas, bisturís, espátulas metálicas pueden ser útiles si son utilizadas por manos expertas, gracias a la normal percusión con martillos de diferente peso, pero el máximo del resultado se logra obtener haciendo uso de todos los instrumentos que pueden hacer uso de aire comprimido para operar.

Micro taladros, micrograbadores y micro vibradores (escaladores) encuentran inmediato uso en el ambiente subacuático para la remoción de los depósitos

superficiales adherentes, también en superficies que necesitan grande atención como las cerámicas o las pinturas murales. Experiencias realizadas por restauradores en objetos de varios tipos han demostrado la versatilidad de tales metodologías, pero también la necesidad que las operaciones sean realizadas por personas especializadas en grado de distinguir el justo nivel de la limpieza para no superar el límite de seguridad y no crear daños al objeto. En todo caso, se debe tener bien presente que la operación tiene duración limitada y que, presumiblemente se debe repetir varias veces para garantizar la correcta conservación del objeto.

Esta repetición, aumenta el riesgo de daños permanentes al objeto y podría comprometer el estado de conservación en el ambiente en que se encuentra.

6.4. Consolidación *in situ* de materiales arqueológicos

Es esto, un aspecto de la conservación que desde siempre ha empujado los restauradores a nuevas experimentaciones ya que encuentran una solución e este sentido contribuiría enormemente a racionalizar los procedimientos de intervención. Obviamente las problemáticas de afrontar son diferentes para los diferentes materiales, así como diferentes son los métodos utilizados, de los cuales, algunos utópicos. Se vio como para los materiales es posible actuar un control *in situ* de la velocidad de corrosión, pero ningún tentativo ha sido nunca realizado para consolidar una ganga, ya que las concreciones ferrosas están constituidas de minerales estables en las condiciones de yacimiento.

Análogamente ninguna experimentación ha sido hecha para consolidar las manufacturas cerámicas, ya que su estructura microscópica in condiciones de saturación de agua impediría la penetración de cualquier producto que se quisiera aplicar.

Diferente parece ser, en cambio, el cuadro ofrecido de los materiales de madera ya que su degradación conlleva un aumento de la porosidad y por lo tanto, desde un punto de vista teórico, una mayor facilidad de sustituir el agua con un impregnante. Aunque este problema se lograra superar, quedaría siempre por resolver el problema sobre cómo se pueda desarrollar en esas particulares condiciones la química del producto impregnante.

Las experimentaciones en este sentido no son muchas, a excepción de las realizadas del ICR sobre fragmentos de palos y tablas del sitio de palafitos del

9. Se trata de dos trabajos experimentales realizados por el Consorcio Aretè en el taller de ICR en Roma segundo el proyecto de Costantino Meucci.

Islote Virginia en el Lago de Varese (Conorzio Aretè 1995 e 1996)⁹ y las más recientes efectuadas en 2006 por Roberto Bonaiuti sobre un fragmento de un naufragio romano en el golfo de Follinoca (Bonaiuti 2008).

En este último caso fueron sometidos a experimentación cuatro diferentes productos, todos en grado de polimerizar en agua. Se trata en particular de:

- Producto A: Acril 30 no diluido,
- Producto B: Primal W.S.24,
- Producto C: Silicato de etilo B70,
- Producto D: Kimitech epo-in,

inyectados mediante jeringas al interno de la madera oportunamente aislado, según un esquema que garantiza la homogénea distribución al interno de las fibras.

En la comunicación de Bonaiuti vienen descritas las operaciones de limpieza (efectuada mediante pinceles planos con fibra natural) y las de impregnación, pero son también referidas las observaciones hechas directamente por el autor en el transcurso de las dichas pruebas.

El primer problema es dado por la oclusión de la aguja de impregnación por obra de las mismas fibras de la madera, el segundo común a todos los productos, está relacionado con la dificultad de penetración de productos al interno de la red porosa del material. Para concluir todos los materiales pre-polimerizados no oportunamente diluidos tendían a separarse en gotas que, teniendo peso específico menor del agua, tendían a flotar.

Entre todos sobresale por su comportamiento aparentemente positivo el producto B, ya que, como el autor sugiere, “la emulsión aguada se revela fácilmente inyectable, aparte la dificultad siempre debida a obstrucción de la aguja. El consolidante tiende a canalizar siguiendo el curso de las fibras del objeto, se notan pérdidas distantes del punto de introducción, si se realizan numerosas inyecciones cubriendo toda la superficie del sector B”.

Fuente de estos resultados, el restaurador prosigue la experimentación sobre otros fragmentos orgánicos preventivamente protegidos con una capa de caucho de silicona de calco, disponiendo a inocular la emulsión acrílica diluida al 8% en volumen directamente debajo del agua. No son reportados los resultados de la experimentación en términos de eficiencia del tratamiento, pero se concuerda sobre la potencialidad de método, donde la polimerización de la resina acrílica diera buenos resultados en términos de consolidación y estabilización de la madera.

Fue diferente, en años anteriores, el enfoque experimental para verificar la posibilidad de consolidar in situ los elementos de madera del andamio de un palafito

puesto a la luz en el verano de 1996 en el Islote Virginia en el Lago de Varese. El sitio es pertinente a un poblado del Neolítico y tiene una notable extensión, ya que hace de cimiento al mismo islote surgido por el acumulación de sedimentos de los restos del palafito. El ensayo de excavación realizado por la Superintendencia de Lombardía tenía el objetivo tanto de verificar el estado de conservación de las estructuras, como evaluar con pruebas experimentales miradas las reales posibilidades de musealizar los restos sin tener que, necesariamente, realizar la recuperación. Las pruebas de tratamiento fueron realizadas en el laboratorio del ICR.

La muestra de referencia tuvo en consideración ya sea los elementos verticales (los palos de la estructura portante) que los planos horizontales de la cubierta que servían de piso a la vivienda. Las investigaciones analíticas realizadas antes de tener el proyecto de conservación, llevaron a la conclusión que todas las muestras eran pertinentes a aliso (*Alnus sp.*) y que presentaban un grado promedio evaluable aproximadamente $LWS \approx 75\%$, al cual correspondía un contenido promedio de agua de saturación de aproximadamente $MWC \approx 650\%$, del todo coherente con las condiciones de permanencia del palafito.

Con el fin de reproducir las condiciones reales de consolidación, los fragmentos fueron parcialmente sumergidos en una cama de arcilla dejada en condiciones de saturación y, por lo tanto, cubiertos en una capa de caucho silicónico equipada con dos boquillas de comunicación con el exterior: uno dedicado al aspiración del aire con una bomba de vacío, el otro en posición opuesta dedicado a la alimentación de los fluidos de tratamiento. Se trataba, así de crear un ambiente de impregnación semi-estancado en el cual las soluciones de tratamiento podrían ser conducidos mediante depresión y aspiración forzada.

Los consolidantes elegidos para la prueba fueron tres:

- Caucho silicónica trasparente RTV 141 (Rhône-Poulenc)
- Elastómero fluorurado tipo Akeogard ME (Moltefluos)
- Resina epoxídica emulsionable y soluble en alcohol Mare Bond 46 (ISEP).

El procedimiento de impregnación preveía una primera fase de deshidratación con pasaje obligado de alcohol etílico, a la cual hacer seguir un lavado con una mezcla alcohol/acetona al 50% antes de proceder al impregnación en las mismas condiciones con la solución consolidante.

Aparte de la dificultad de mantener los niveles de depresión constante con el fin de garantizar la homogéneo curso de las soluciones de madera, el método había resultado suficientemente rápido y aparentemente eficaz a excepción del tratamiento con resina epoxídica. El producto en efecto, tiene un tiempo de polimerización

demasiado breve para consentir la distribución al interno de la porosidad de madera así que tiende a crearse una película adherente a la superficie externa que, de hecho, impide la impregnación. Los otros dos productos, al contrario habían tenido una buena penetración y a la apariencia homogénea. A la impregnación siguieron la remoción con solvente del exceso de producto de la superficie externas y luego la exposición al aire para consentir a los productos estabilizarse.

En los dos casos los resultados fueron una desilusión ya que las maderas tratadas mostraban un retiro dimensional anómalo y diferenciado.

En caso del tratamiento con el elastómero fluorurado, el retiro interesaba el entero fragmento mostrando que el producto, si es bien abastecido de elevadísima hidropelencia no desarrolla propiedades tales de estabilizar dimensionalmente la madera, confirmando los resultados de las precedentes experimentaciones realizadas por los investigadores de la universidad de Cagliari sobre maderas arqueológicas extraídas de sitios marinos.

El caucho silicónico mostraba un retiro diferenciado entre la zona superior del fragmento y la parte sumergida en arcilla: ésta última, en efecto, experimentaba un retiro dimensional mayor de la parte descubierta para indicar que el tratamiento había interesado exclusivamente el volumen de la madera de la cual había sido posible hacer transitar las soluciones de tratamiento. Se concluyó que la metodología por cuanto susceptible de mejoramientos, era practicable pero que habría en todo caso portado a obtener un sistema heterogéneo con diferente comportamiento una vez expuesto a las condiciones aéreas.

En el área de productos, para terminar, el sólo caucho silicónico mostraba tener una cierta eficiencia, por lo menos en las particulares condiciones de uso. En cada caso no era posible actuar un tratamiento de estabilización in situ ya que el agua de saturación reducía enormemente la posibilidad de obtener una impregnación homogénea también en condiciones de circulación forzada inducida por la depresión en el volumen de tratamiento causada por la presión hidrostática.

7. MÉTODOS PARA LA RECUPERACIÓN DE LOS MATERIALES EN VISTA DE SU RESTAURACIÓN

La recuperación de una manufactura de su sitio de encuentro es una acción que puede influenciar directamente tanto en el estado de conservación del hallazgo, como en el éxito de las operaciones de restauración y conservación. Los métodos para llevar a cabo el rescate son muchos y varían cada vez según la naturaleza del objeto, del estado de degradación y de los particulares cuidados que necesita su

rescate temporal, el almacenamiento es el último elemento para la conservación. El rescate, por lo tanto, hace parte de la restauración, y debe ser atentamente preparado durante las mismas fases de la investigación arqueológica valorando todos los aspectos que podrían causar el incremento de la velocidad de degradación. Con el fin de obrar en el modo correcto es necesario seguir algunos principios generales, que se basan sobre consideraciones técnicas y también sobre la disponibilidad en la obra de los medios y de los materiales mas convenientes. La primera operación consiste, en envolver el objeto con capas protectoras que lo aíslan de los otros y del mismo medio de rescate teniendo presente que es necesario hacer tal operación aunque el hallazgo parezca tener buena consistencia y resistencia mecánica.

El levantamiento debe ser realizado con velocidad constante y la más baja posibilidad con el fin de no aplicar a la manufactura requerimientos mecánicos anormales. Esto significa que en el caso que se haga uso de flotadores, su volumen debe ser dimensionado al peso estimado del hallazgo y no excesivamente más grande, además los flotadores tienen que tener válvulas de sobrepresión para consentir que el exceso de aire salga para ayudar a mantener constante la velocidad de ascenso. Para terminar es necesario evitar que la manufactura se arruine en el momento de despegarse de la superficie, aún cuando se acerca el principio de Arquímedes y la ley de Pascal se aplica a un cuerpo sumergido en el fluido aire, donde la fuerza de gravedad no ya no se contrasta.

Teniendo en cuenta estas consideraciones generales, sería bueno efectuar el rescate de los hallazgos de mayor fragilidad utilizando canastas rígidas a las cuales viene conectado el medio de elevación, haciendo en modo que el objeto no sufra daños directos. Éste es un método utilizado preferiblemente para el rescate de materiales de cerámica y de vidrios, cuya fragilidad aumenta cuando son saturados de agua. Obviamente la forma y las soluciones del canasto de recolección pueden variar, pero siempre actuando de manera que la estructura sea suficientemente rígida para contener las fuerzas que se le transmiten durante todas las fases del rescate. Además es necesario vincular el hallazgo al fondo de la canasta con el fin de evitar movimientos improvisados y impredecibles durante la subida del fondo del mar.

A menudo, al contrario, se ve el rescate de manufacturas de lápidas de grande peso y de grandes dimensiones mediante el uso de una grúa y usando complicadas arneses del hallazgo con cuerdas y, en raros casos en el reciente pasado también con cuerdas metálicas. Por cuanto un correcto arnés se esfuerce para consentir al hallazgo asumir la posición más favorable al equilibrio aplicado de la fuerza de tracción, todas las soluciones hasta ahora adoptadas se han siempre basado sobre la experiencia práctica del responsable de la operación. Desde el punto de vista teórico, en todo caso, es necesario que la fuerza de tracción se aplique en los varios

centros del hallazgo para que la necesidad sea repartida uniformemente a la entera masa y que el objeto rote sobre sí mismo hasta alcanzar la posición de equilibrio. La mejor decisión, en todo caso, es siempre la de hacer uso de camillas rígidas y oportunamente dimensionadas para que el objeto salga del sistema de elevación. Es obvio, que una vez en superficie los hallazgos tienen que ser puestos en soportes rígidos para el movimiento y tenidos al reparo de los rayos del sol para evitar el secado rápido.

Muy interesante, además y fácilmente aplicable en cada condición, es una metodología de rescate de objetos cerámicos fracturados aplicada por los restauradores de la Superintendencia Arqueológica de Toscana en el sitio del naufragio del Pozzino. El procedimiento se realiza a través de las siguientes fases:

1. Se aíslan juntos fragmentos cerámicos del contexto y se excava perimetralmente para hacerlo subir del nivel del fondo,
2. Se hace una limpieza de las superficies mediante brochas suaves y aspiración con un aspirador con el fin de remover los sedimentos incoherentes,
3. Se aplica a directo contacto en las superficies, una venda de algodón ligero haciéndola adherir lo mejor posible; el tejido tiene la doble función de aislar los materiales y de permitir el enganche de los materiales de modelado.
4. Aplicación de la primera capa de yeso al contacto con el tejido,
5. Realización de una forma de yeso que contenga todo el conjunto protegida al externo de una segunda capa de tejido para reducir la dispersión del yeso en el ambiente
6. Desprendimiento de la forma del fondo con una espátula metálica y posicionamiento del conjunto en una bolsa de plástico para evitar que los sedimentos del fondo se esparzan en el agua dejando los fragmentos libres,
7. Posicionamiento de la forma de un contenedor rígido para el rescate.

De norma los hallazgos rescatados vienen enviados directamente a la restauración para evitar que sobre el yeso y sobre las partes orgánicas se desarrollen microorganismos potencialmente dañosos.

La misma técnica puede ser realizada haciendo uso de moldes de silicona puestos en

el tejido en modo tal de realizar un molde fiel de las superficies de los fragmentos. Esta solución es ciertamente mas complicada y costosa de la precedente, pero tiene la ventaja de consentir la conservación de los hallazgos aunque en condiciones de saturación de agua sin que se desarrollen ataques biológicos; además la forma en silicona consiente de obrar al interno también tratamientos consolidantes con medios químicos. La técnica sigue la misma metodología utilizada para la protección in situ de las manufacturas de madera y necesita que la mezcla sea canalizada y puesta sobre el soporte al externo y, por lo tanto, aplicada sobre los hallazgos.

Con este método en el curso de la obra de excavación y restauración del hallazgo de Marsala de 1984, fue recuperado el esqueleto entero de una tortuga que se encontraba dentro una capa plástica de greda y un alga poseonia en descomposición y un nivel estratigráfico contemporáneo al del hallazgo.

La violenta marea que puso a la luz las estructuras de madera de la embarcación, de hecho fue causa de la exhumación de otros numerosos hallazgos casi todos en conexión estratigráfica con el hallazgo y, por eso dignos de ser estudiados y rescatados cuando sea posible. En esta óptica se procede a la excavación parcial del esqueleto, a su formación con silicona y a su rescate. Sucesivamente, en el invierno del mismo año se procedió en los laboratorios del ICR a concluir la excavación del pan de tierra subyacente y a la consolidación de los huesos antes de removerlos de la forma para darles la colocación definitiva.

7.1 El rescate de los hallazgos

El objetivo final que hace pensar en el rescate del hallazgo de una embarcación es el de efectuar la restauración de conservación y, por lo tanto, la exposición en un museo. A partir de los primeros decenios del siglo pasado, las operaciones de rescate han seguido dos líneas metodológicas diferentes: el rescate por partes y el de todo el conjunto. De realización más fácil el primer método, más complicado y costoso el segundo, pero con implicaciones más interesantes.

La arqueología subacuática después de la guerra usó la metodología del desarme porque era practicable en los sitios subacuáticos sin la necesidad de proyectar y realizar estructuras complejas que en todo caso hubieran puesto el problema de la elevación del movimiento y de la organización funcional durante las fases de restauración. No obstante estuvieran en fase avanzada los estudios analíticos sobre la degradación de la madera, de hecho, la obra arqueológica no se ponía el problema de conocer preventivamente el material y su estado de conservación, sino que postergaba el conocimiento más profundo para el momento de la

restauración prefiriendo la excavación a la conservación. La filosofía que se seguía para programar la recuperación era minimizar los costos de la operación y adaptar el método a las potencialidades reales de la operación conservativa. En práctica, ya que el solo método de restauro que se conocía era el de la impregnación con PEG, se construían las piscinas de tratamiento sobre la base de las dimensiones de los elementos de madera haciendo una hipótesis sobre la fragmentación si hubieran sido muy largos y sobredimensionados.

De otra parte, las experiencias realizadas en los hallazgos de Kyrenia habían demostrado la posibilidad de adaptar la madera a las líneas constructivas derivadas del modelo teórico de la nave, así que se volvía no influyente la dimensión real de los fragmentos de madera. Se procede así, en los mares italianos, al rescate de la nave Púnica a Marsala y del Naufragio de los mármoles en Torre Sgarrata, con las consecuencias conservativas que bien se conocen: la Nave Púnica tiene todavía elementos de madera no completamente estabilizados mientras que el hallazgo de Torre Sgarrata espera todavía ser restaurada.

El rescate se hacía sin precauciones particulares ya que los elementos que se removían de la nave después de la documentación gráfica y fotográfica eran llevados en superficie con flotadores o grúas sin alguna otra precaución sino la de acompañarlos hasta la superficie. Fue en el 1987 que el arqueólogo inglés Mensun Bound puso en práctica por primera vez la solución de recuperar los restos del hallazgo etrusco de la isla de Giglio Campese mediante una canasta de red metálica, adaptada posteriormente a la conservación temporal en situ.

El desmontaje del naufragio seguía en modo invertido los procedimientos de construcción del casco de la nave y se adaptaba a las particulares técnicas de ensamblaje de las partes: retiro de las clavijas de madera en el caso de embarcaciones a casco portante; separación del clavado en el caso de las embarcaciones realizadas con técnica del armazón portante. Los elementos muy largos para las piscinas de tratamiento, después, eran cortados con comunes sierras creando un problema de continuidad estructural al momento del montaje después de la restauración. Una posible solución a este problema viene actuada para el naufragio de Magahan Michael en Haifa para cuya recuperación fue adoptada la técnica de romper las tablas del enchapado para que pudieran ser ensambladas siguiendo las fibras de la madera. Método seguido todavía hoy por muchos arqueólogos subacuáticos que muestran no tener un conocimiento suficiente del comportamiento de la madera durante las fases de impregnado y de secado después de la consolidación.

La alternativa al desmontaje, sin embargo, era solamente la recuperación de la totalidad del naufragio realizable sólo después de un atento estudio de la embarcación y a la predisposición de estructuras y soportes tecnológicos aptos:

el método, por lo tanto, necesita de un proyecto de ingeniería. En la mayor parte de los casos estas recuperaciones han sido realizadas en seco, o sea llevando el naufragio a condiciones de ausencia de agua para poder realizar la excavación con las metodologías tradicionales de la arqueología de tierra y teniendo la oportunidad de poner en práctica todos los dispositivos para lograr el objetivo. Aparte la recuperación ya histórica de las naves de Nemi, se pueden considerar realizadas de esta manera las recuperaciones de las naves del Puerto Antiguo de Olbia, de los naufragios del puerto greco-romano de Marsella hasta las más recientes de las dos naves del puerto romano de Nápoles. Recuperaciones realizadas bajando el nivel del agua, mediante la puesta en acción de anillos de well-point, pero todos inherentes yacimientos no subacuática en sentido estricto, sino más bien a sitios de tierra saturados de agua.

Es interesante analizar entre estas recuperaciones la de la embarcación de Cesarea (Israel) realizada haciendo uso de materiales sintéticos. El naufragio había sido encontrado en la ribera del lago arenoso, a pocos metros de la orilla y mostraba un estado de conservación bastante bueno para permitir la restauración. Fue, por lo tanto, predispuesto un mamparo metálico que aislara el aire de la infiltración de agua del lago y se procedió a la excavación teniendo cuidado de mantener la madera del naufragio siempre en condiciones de saturación de agua. Una vez limpiado el casco se aplicaron sobre la madera algunos estratos de protección de telas inertes y sobres éstas se aplicó espuma de poliuretano hasta envolver completamente la embarcación. Se creó, de esta manera una caparazón adherente y de resistencia suficiente para que la misma no fuera empujada durante la fase del transporte. Una vez retirado el mamparo de aislamiento se dejó que el agua del lago invadiera el área de excavación permitiendo a la embarcación y a su caparazón de protección flotar libremente, gracias al reducido peso específico del poliuretano. El transporte hasta el laboratorio de restauración pudo, de esta manera, hacerse por vía acuática sin que la estructura fuera empujada mecánicamente.

Aparte de las recuperaciones, que hacen ya parte de la historia de la arqueología subacuática, del Vasa y de la Mary Rose, uno de los pocos tentativos de recuperación en una única solución realizado en ubicación subacuática fue la del naufragio de Edad Romana denominado Julia Félix en las aguas de Grado, que, sin embargo, llevó al colapso algunas estructuras de madera del casco, luego recuperadas en fragmentos. No tenemos conocimiento del proyecto que se activó pero podemos, con buen grado de seguridad, considerar que en las estructuras de soporte del casco no tuvieron en cuenta el estado de alteración de la madera, que pierde mucho de su resistencia a la flexión cuando carece de los componentes estructurales fundamentales como son los oleocelulosis. Es evidente, por lo

tanto, que la distancia útil entre los soportes debe ser muy reducida para que no se presenten fisuras de los ejes, sería buena norma realizar soportes continuos para no tener que empujar directamente sobre las maderas arqueológicas, sino más bien distribuir su peso sobre soportes planos que puedan tolerar los empujes mecánicos durante las fases de movimiento, sin sufrir deformación.

Particularmente interesante es, además, la recuperación de la piragua de Capodimonte en el Lago de Bolsena porque permite evaluar el efecto de un insuficiente y no funcional proyecto de las estructuras de recuperación sobre el estado de conservación de la embarcación.

La piragua, encontrada a una profundidad de 13 metros sobre los fondos anteriores a la isla Bisentina en el Lago de Bolsena (Viterbo) había sido data en la Edad del Bronce (XIII ÷ XI siglo a.C.). El análisis de la madera había confirmado que la embarcación, larga 6.60 metros, había sido construida del tronco de una haya con la clásica técnica de la excavación con hacha y cincel, cuyas señales eran todavía visibles sobre el fondo del casco. Al momento de la excavación el caso resultaba interesado de una única fisura longitudinal ubicada en posición central pero que interesaba solamente una parte de la embarcación, por lo tanto, aunque la madera resultaba esponjosa al tacto, (índice inequívoco de un degrado bastante fuerte), los arqueólogos decidieron efectuar la recuperación. La decisión tecnológica fue enjaular el casco en una caja de madera soportada por fuera por una estructura de tubos de hierro conectados por juntas metálicas (se utilizaron los elementos típicos de una obra de construcción). El interior de caja fue llenado del fango del fondo para mantener el casco de madera comprimido en el sedimento también durante las fases de levantamiento y transporte al laboratorio de restauración.

La recuperación propiamente dicha fue realizada aplicando bidones metálicos a lo largo del perímetro superior del castillo metálico llenos de aire para garantizar que la entera estructura pudiera flotar. Al momento de la limpieza del fango, sin amargo, los restauradores descubrieron que el casco se había fragmentado en 36 pedazos de varias dimensiones. ¿Cómo pudo suceder?

La respuesta debe buscarse en la estructura que lo contenía y en los métodos de levantamiento utilizados. La armadura de varillas de acero, había sido realizada uniendo los elementos según los bordes de un paralelepípedo, pero no había sido reforzada con elementos cruzados a 45 grados que hubiera tenido la función de impedir la rotación de toda la jaula. Los cables de acero de conexión al gancho de la grúa, además, actuaban sobre los ángulos superiores de la misma jaula, sin la interposición de una palanca rígida que pudiera distribuir los esfuerzos: En estas condiciones, al momento de la separación de la superficie, el peso de toda la estructura se concentra en el centro, generando una flexión que, gracias al relleno

de fango compacto del interior, retrasladaba directamente a la madera figurándolo. Por otra parte, los análisis químico-físicos realizados sobre los fragmentos, desafortunadamente después de su infortunada recuperación, demostraron que el degrado había alcanzado un valor de LWS = 90%, es decir, talmente elevado de desaconsejar ese tipo de intervención si sólo hubiese sido posible realizarlos antes. En todo caso la restauración realizada después tuvo éxito y la piragua está expuesta en el Museo de Capo di Capodimonte (Reindell, et Al 2007).

7.1.1 La técnica de la recuperación con “caparazón cerrada”

Se trata de una metodología que, por cuanto se haya aplicado hasta ahora solamente para la recuperación de naufragios excavados en ambientes al aire, pone en condiciones de extraer una embarcación entera del sitio sin tener que recurrir a desmontarla. Como han mostrado todas las experiencias de protección in situ, de hecho, los materiales necesarios para la correcta ejecución de la intervención pueden explicar su química también en ambiente subacuático, sin disminuir de sus cualidades tecnológicas. Es, sin embargo, necesario, que toda la operación sea atentamente programada y que las estructuras de protección a contacto y de recuperación sean objeto de un preciso proyecto que debe basarse sobre los datos analíticos seguros. Se cambia así la lógica de la intervención en su conjunto: la excavación arqueológica, en efecto, se convierte en una actividad orientada a la conservación del objeto aún conservando integra su función de sólo medio útil para la adquisición de los datos que permiten la comprensión del sitio arqueológico y del evento que lo ha generado. Para ilustrar le método se reporta parte del texto de la intervención presentado en 2001 en el Seminario Internacional “Restauración y Conservación de la madera proveniente de antiguos naufragios. Experiencias en confrontación”, realizado en la Normal Superior de Pisa el 30 de junio al 1 de julio de 2001 (Meucci 2005).

Introducción

En el pasado, el tratamiento de conservación de los naufragios, también de grandes dimensiones, no presentaba particulares problemas tecnológicos sino los relacionados con las instalaciones de servicio y a la asistencia de área, equipada para desarrollar la actividad de restauración. Las embarcaciones eran generalmente desmontadas y sus elementos de madera eran tratados en una tina grande para luego ser ensamblada de nuevo para su exposición en el museo, sobre estructuras que, casi siempre, reproducían las líneas del plano de construcción de

la nave¹⁰. Un procedimiento consolidado que ha dado también buenos resultados y que basaba su principal razón de ser no tanto en la falta de procedimientos para el tratamiento en una única solución de los naufragios sino en la exigencia de grandes espacios equipados y también en la baja eficiencia que mostraba tener¹¹. Al contrario la recuperación de los naufragios en su entereza, ha sido siempre uno de los problemas afrontados con gran fantasía en la decisión de las soluciones tecnológicas para adoptar, decisión que se tomaba sobre todo con gran atención a los costos generales de la operación y a la disponibilidad de recursos humanos y de ingeniería, presentes en el mercado de la restauración o, mejor aún, entre los sostenedores de la empresa¹².

Así la retardación de estas grandes naves seguía, de hecho, vía diferente dependiendo si tenía o no a disposición un laboratorio de restauración, o también que existieran los recursos financieros para crear uno.

La lógica del tratamiento con “caparazón cerrada”, cambia completamente el esquema de trabajo: no es el naufragio que se lleva al laboratorio de restauración, sino más bien, las tecnologías de intervención que se traslada a la excavación. Se prescinde, por lo tanto, de la disponibilidad de áreas equipadas y se desvincula de los límites temporales que los tratamientos de impregnado con productos tradicionales conlleva. Sin embargo, se aceptan otras limitaciones, la primera de las cuales es la necesidad de disponer de un proyecto sobre el cual basarse ya durante la excavación arqueológica; cosa no difícil de actuar una vez que se conozcan las dimensiones del naufragio, sus condiciones de yacimiento y su estado de conservación general¹³.

10. Entre los despojos restaurados y musealizados con esta metodología mencionamos el barco de Kyrenia (Katzev, M.L., *Resurrecting the oldest known Greek ship*, «Nat. Geo.», 1970, 137:6, pp. 840-857, el de Serçe Liman (Steffy, J.R. (1982), *The Reconstruction of the 11th Century Serçe Liman Vessel*, «IJNA» 11.1, pp. 13-34) expuesto en el castillo de Bodrum (Turquía) y el casco púnico de Marsala, cuya historia conservativa se encuentra en: Frost, H. (1981), *Lilybaeum*, «Atti Acc.Naz.Lincei», Vol.101 Suppl. (1976), Roma, pp. 45-51.

11. El ejemplo más adecuado es el navío *Vasa* que fue recuperado entero y restaurado con PEG mediante un equipo de pulverización de las soluciones calientes. El tratamiento todavía tiene baja eficacia y necesita un tratamiento cíclico de las partes del barco para compensar los defectos de consolidación, como se explica muy bien en: Håfors, C., *The Role of the 'Wasa' in the Development of the Polyethylene Glycol Preservation Method*, in: R.M. Rowell, R.J. Barbour, (a cura di), *Archaeological Wood. Properties, Chemistry and Preservation*, Washington 1990, pp. 195-216.

12. El ejemplo más importante es el de la recuperación de los barcos romanos del Lago de Nemi que representa una empresa única tanto por los resultados conseguidos, como por la visión general del problema aprovechado en manera de garantizar el estudio arqueológico y la conservación de los materiales, como se lee en: Ucelli, G., *Le navi di Nemi*, Ist. Pol. e Zecca dello Stato, Roma 1983.

13. Al principio el proyecto utilizará los datos analíticos preliminares extraídos de las análisis de las primeras piezas de maderas descubiertas. Sin embargo, los datos tienen que ser integrados con nuevas análisis conducidas sobre los elementos de madera que pertenecen a las diferentes partes del excavado del casco. Esta procedura fue aplicada por la Texas University en Turquía, como se ve en: Bass, G.F., (a cura di), *Navi e Civiltà. Archeologia marina*, Milano 1974, y también en algunas intervenciones conducidas por el I.C.R., como se lee en: Ferroni, A.M. & Meucci, C., *I due relitti arabo-normanni di Marsala*, «Bollettino di Archeologia Subacquea» 1-2, 1996, pp. 282-350.

El método aquí propuesto consiste en la construcción de una caparazón de varios materiales adherente al casco que, adecuadamente reforzada, permita la circulación en su interior, de las soluciones de tratamiento. Caparazón y armazón metálica de refuerzo colaboran estrechamente en términos de resistencia mecánica a los requerimientos, ya sea en fase de movimiento que de impregnado y acompañan el naufragio en su larga vida desde el área de excavación hasta el museo.

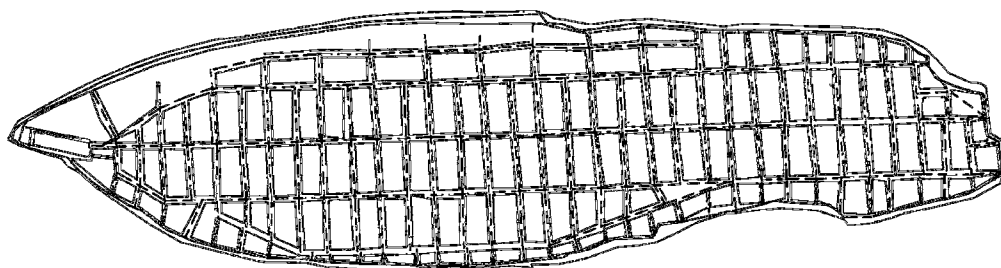


Fig. 46:

Barco de Valle Ponti (Comacchio): representación gráfica del relieve instrumental de la valva superior de la caparazón de VTR con ubicación de las posiciones de los elementos de refuerzo. (Por M. Sabatini - PRAGMA s.r.l.)

El tratamiento de conservación es realizado a través de instalaciones externas dedicadas, que gracias a su simplicidad, y al reducido volumen pueden ser fácilmente arrastradas, permitiendo una notable economía en la preparación de una eventual sede operativa. Y el dimensionamiento de la instalación sobre los volúmenes efectivos de solución circulante en el sistema, además, genera una ulterior economía, también porque se reduce sensiblemente la cantidad de productos utilizados para el impregnado.

La caparazón rígida

Está constituida por una sucesión de estratificación de materiales de diversa naturaleza química, elegidos con base en las específicas funciones que éstos deben desempeñar y puestos en acción de manera tal que originen una sucesión de caparazones estañas, perfectamente adherente una con otra.

En directo contacto con la madera se aplica una goma de silicona de moldeo que pueda servir ya sea de protección del casco que, sobre todo, de tina de tratamiento. En la intervención realizada en el barco de Ercolano¹⁴ la aplicación se realizó con un elastómero moldeable, aplicado directamente sobre los estratos de protección¹⁵ y plasmado en espesor más o menos uniforme por todo el tiempo de

elaboración del producto. Este manera de proceder ha generado una laminación de espesor no uniforme susceptible de ruptura si se somete a estiramiento y, por lo tanto, no del todo confiable en términos de estañadura del volumen. Las experimentaciones realizadas sobre el naufragio árabe-normando de Marsala han mostrado posteriormente que la aplicación de la goma sobre un tejido de soporte permitía obtener una caparazón continua y adherente aunque fuese aplicado en momentos sucesivos y, además, en un ambiente decididamente desfavorable¹⁶ como puede ser un sitio subacuático. Fue, en consecuencia, del todo lógica la decisión tomada sobre el naufragio de Ravena, donde la goma de silicona fue soportada de una tejido de vidrio en hojas de cerca 50 cm. de lado. La continuidad del estrato estaba garantizada por la parcial sobreposición de los bordes de las hojas, además de la capacidad de la goma de silicona para adherirse a sí misma cuando no está revestida por productos avilantes. La posterior aplicación sobre el tejido de vidrio de un sutil estrato de gelcoat (un barniz de bajísima porosidad interna comúnmente usada para el terminado del casco de los barcos) mejora y completa la estañadura dando así origen a la tina de tratamiento por contacto. La caparazón rígida de resina es la estructura resistente a la cual se asigna la función primordial de contrastar los requerimientos mecánicos durante las fases del tratamiento. También este elemento ha sufrido una evolución notable a partir de la primera experiencia de Ercolano. Aquí la caparazón era monolítico con un espesor de cerca 8 mm. Había sido dimensionado para resistir sobre todo la carga estática del llenado de tierra en las fases de levantamiento y rotación de la nave. La desmolde estaba garantizado por un revestimiento de madera de dimensiones adecuadas, establecidas con base en los requerimientos aplicados en cada uno de los panel plano, mientras la resistencia de la deformación era incrementada por la inclusión de alas de acoplamiento de los paneles, que daban origen a verdaderas costillas resistentes. La posición de estas secciones transversales como elementos de fuerza tenía también en cuenta la técnica de construcción original de la embarcación, en cuanto ésta coincidía con el esqueleto del mismo barco. En Ercolano la adopción de este sistema ha permitido aislar el barco del terreno de abajo, de levantarla en cerca 180 cm. y rotarla sobre el eje longitudinal en 180° para poderla excavar internamente liberando el casco del relleno de toba.

14. Ferroni, A.M. & Meucci, C. (1989), Prime osservazioni sulla Barca di Ercolano: il recupero e la costruzione navale, in: G. Tampone, (a cura di), Il restauro del legno, Vol.I, Firenze, pp. 105-112.

15. Nel caso cui ci si riferisce erano stati applicati in successione uno strato di garza ed uno di carta giapponese fatti aderire allo scafo con una soluzione di resina acrilica.

16. Meucci, C. (1986), Le bateau arabo-normand de Marsala: la protection in situ, in: Proceedings of the Conference "Preventive Measures during Excavation and Site Protection", Gand, 6-8 nov. 1985, Roma, pp.155-158.

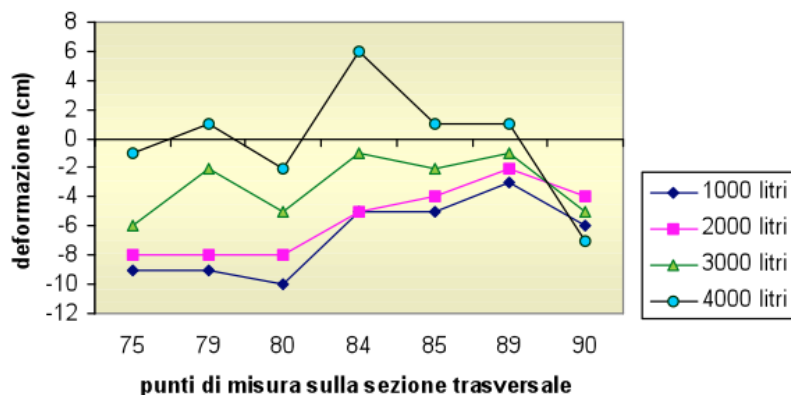


Fig. 47:

Casco de Valle Ponti (Comacchio): tendencia de las deformaciones de una sección transversal de la caparazón antes de endurecer la valva superior

La estructura de acero fue de inmediato dimensionada para garantizar la máxima resistencia a los requerimientos: una flecha máxima de 1 cm. sobre los 10 m de largo ea la deformación admitida con una carga estimada de 16.000 Kg en las fases de levantamiento y de rotación del casco. Por otra parte, en el interior, el estrato de intervención de goma de silicona garantizaba la absorción elástica de las variaciones locales de presión en todas las fases de la rotación. Es un hecho que las precauciones tomadas hubiesen sido suficientes, cosa que se ha constatado cuando, al terminal la desocupación del barco, se tuvo la oportunidad de estudiar en los mínimos detalles las estructuras, todavía íntegras, de sistema de soporte de la timonera, sobre la cual estaba todavía amarrada con un ballestrinque la cima de retención del remo timón.

Las diferentes dimensiones y la geometría del casco hicieron mucho más compleja la realización de la caparazón de la nave de Valle Ponti hoy en tratamiento en el Museo de Comacchio¹⁷. En este caso se decidió realizar una doble capa de fibra de vidrio en la cual las soluciones de tratamiento pudieran seguir un recorrido más libre. La caparazón de fibra de vidrio monolítica, de hecho, dejaba un cierto espacio libre para que el casco flotara teniendo, éste, una distancia promedio desde la capa rígida de cerca 1 cm. en la parte inferior y de cerca 3 cm. en la parte superior. La caparazón fue realizada y perfectamente estañada desde el inicio,

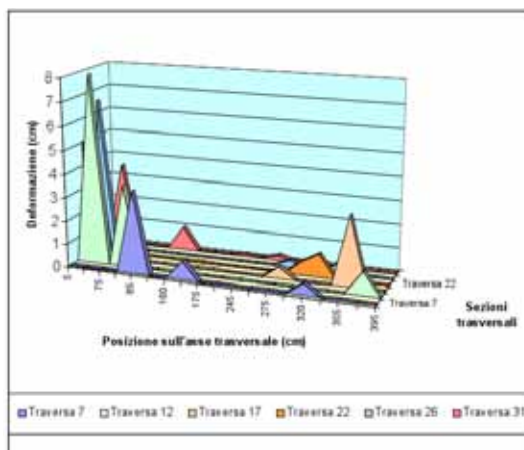
17. C. Meucci, F. Berti, La nave di Comacchio: documenti di un restauro, Schede si Archeologia dell'Emilia Romagna, 1997..

18. Los controles instrumentales fueron realizados en el curso de distintas medidas por M. Sabatini (PRAGMA s.r.l.); los datos fueron elaborados por G. Buzzanca del I.C.R.

pero su definitiva adecuación requirió posteriores momentos de verificación y de intervención estructural. Por cuanto, de hecho, la superficie de las capas fuesen interrumpidas por siete transversales cada 55 cm. en correspondencia con la posición original de las maderas del piso y por análogos largueros longitudinales, de manera tal de fragmentar la superficies en elementos de cerca 1 m² cada uno (fig. 46) en el momento en el cual se efectuaba la carga de agua para llenar el volumen interno se encontraron deformaciones de la caparazón que podían llegar hasta la delaminación de la resina.

Fig. 48:

Casco de Valle Ponti (Comacchio): tendencia de las deformaciones de las secciones transversales después el endurecimiento del a valva superior



La medida de las deformaciones¹⁸ efectuada con estación topográfica fijada sobre sesiones transversales representativas (fig. 47) y sobre las secciones longitudinales correspondientes a los largueros de refuerzo por cada 1000 Kg. de carga (el volumen interno de la caparazón había sido estimado en cerca 7 m³) llevó a concluir que las fuerzas de presión hidrostática debidas al batiente del agua se descargaban de manera desigual sobre cada una de las porciones de la caparazón en función de su particular geometría. En todas las secciones de referencia, sin embargo, se notaba una inicial fase de aplastamiento en correspondencia de un eje longitudinal ubicado en el rodete de la parte izquierda de la nave, seguida de un levantamiento de los bordes libres del casco con valores decididamente elevados, hasta algunas decenas de centímetros (fig. 48). En los casos en los cuales el vínculo transversal era menor, la cubierta de fibra de vidrio se encorbaba en sentido inverso a la geometría, con tendencia a alcanzar la forma cilíndrica, es decir aquella correspondiente a los requerimientos más ecuamente distribuida. El panel individual, mostraba ser requerido en correspondencia de su centro de gravedad, de manera tal que asumía una forma convexa con cúspide de

deformaciones del orden también de algunos centímetros (fig. 49).

En el plano horizontal las deformaciones de la capa superior de la caparazón, medidas en condiciones de carga estática, ponían en evidencia áreas de concentración de los esfuerzos del todo congruentes con cuanto había surgido estudiando las marchas verticales de las secciones transversales (fig. 50). El eje longitudinal correspondiente al rodete izquierdo de la carena sume una función de perno, mientras la pared izquierda tiende a rotar hacia el interior; contemporáneamente el lado derecho se levanta haciendo asumir a la caparazón una forma que tiende al cilindro.

Sobre la base de tal información se decidieron algunos correctivos que llevaron a anular las deformaciones en la fase de carga: el panel individual fue reforzado con un incremento de la estratificación de tejido de vidrio hasta el espesor de 10 mm., teniendo cuidado de incrementar la resistencia del borde libre de la caparazón con la sobreposición de los tejidos. Se resolvió, de esta manera, el problema del levantamiento del panel individual en correspondencia del centro gravedad y el de las delaminaciones generada sobre el encordador de efecto cremallera, ejercido por el contemporáneo empuje hacia debajo de la capa inferior y hacia arriba de la superior. La inclusión de un ala de 10 cm. en la cabeza de los tabiques transversales, realizada con tres sucesivas aplicaciones de tejidos bidireccionales y unidireccionales, ha incrementado la resistencia a la embarcación pero sólo la puesta en marcha de tabiques transversales continuos, de compensado marino, estrechamente conectados a un círculo metálico superior y al soporte inferior de acero, permitió anular las deformaciones bajo carga.

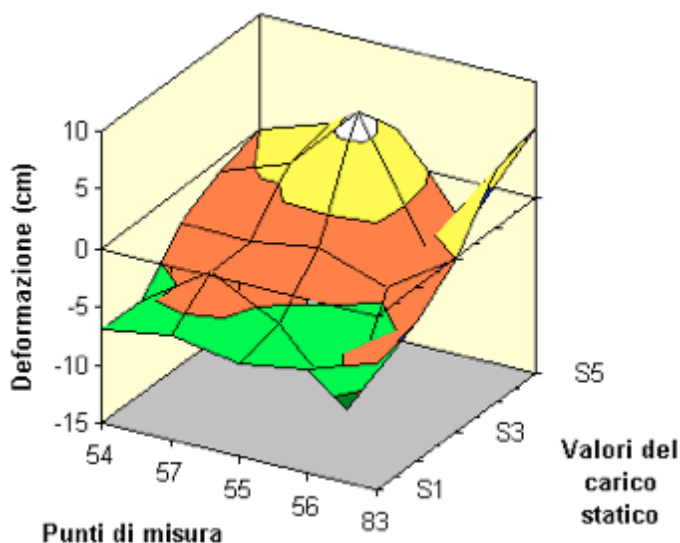


Fig. 49:
Casco de Valle
Ponti (Comacchio):
deformaciones de un panel
plano de la valva superior
de la caparazón rigida con
carga de agua

Se ha generado, de esta manera una especie de celosías de diversos materiales en el ámbito del cual los soportes de hierro y los tabiques de madera colaboran con la caparazón de fibra de vidrio para la homogénea distribución de los esfuerzos sobre las capas de la estructura de tratamiento de conservación del naufragio.

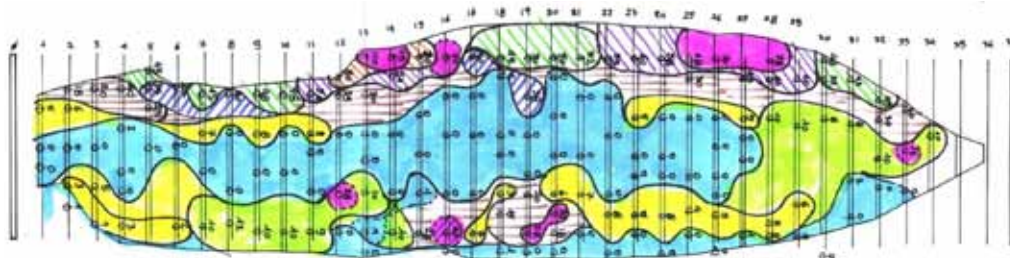


Fig. 50:

Casco de Valle Ponti (Comacchio): mapa de las deformaciones de la valva superior de la caparazón rígida con carga de agua

La simetría del todo similar de la Barca de Ravenna, unida a sus reducidas dimensiones¹⁹, ha facilitado el trabajo para la recuperación de este naufragio²⁰. Se volvió, de hecho a la estratificación de goma de silicona en directo contacto con la madera, seguida de una caparazón en compuesto, en el cual los cuatro tejidos de vidrio de las dos caras (alternativamente un Matt 400 y un tejido biaxial 45°) eran acoplados con un colchoncillo de PVC para obtener un sándwich de cerca 3,5 cm. de espesor. Una solución mucho más resistente que la estratificada monolítica de Comacchio y de Ercolano, que, habiendo sido ulteriormente reforzada por siete transversales longitudinales cerrados con zunchos metálicos, de hecho anuló las deformaciones en fase de carga, al punto que éstas resultaron del orden máximo de dos milímetros bajo una presión hidrostática de cerca cuatro bares.

Esta misma metodología fue ya aplicada para la recuperación de la nave F de Pisa San Rossore y actualmente se encuentran en fase final de realización para la nave C, demostrando que la técnica puede ser susceptible de ulteriores adaptaciones en función de las particulares condiciones de excavación, aún manteniendo invariado el principio sobre el cual se basa la misma.

19. Maioli, G. & Medas, S. (2000), Il relitto tardo-romano del Parco di Teodorico, Ravenna: dallo scavo al recupero, in: Atti del IX Simposio Internazionale di Archeologia Navale, Venezia 4/12/2000, cds.

20. No existe todavía una publicación sobre la recuperación y la consolidación del naufragio de Ravenna; en el curso del Congreso de marzo 1999 "Despojos navales entre tierra y mar: arqueología, estudio, restauración", Restauo 99, Ferrara 28 marzo 1999, fue realizada, por la municipalidad de Ravenna y la dirección artística de Silvio David, la película "El barco del Parque del Mausoleo de Teodorico" que describía los complejos trabajos hechos sobre el naufragio desde la descubierta hasta el traslado al taller de restauración.

Las instalaciones de servicio

El esquema funcional de la instalación de tratamiento es relativamente simple: se trata de un sistema a circuito cerrado que obra a caída y que consta (fig. 51) de una bomba de circulación, un filtro mecánico, un esterilizador de rayos U.V.; de una central térmica dedicada y, por último, de tanque de recolección y de distribución equipados de una bomba de vaciado²¹.

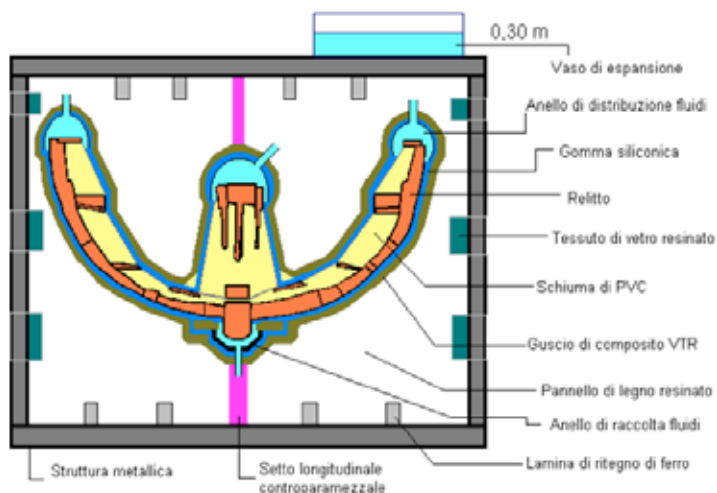


Fig. 51:

Casco C de Pisa S. Rossore: esquema simplificado de la estructura de la caparazón rígida y sus conexiones con la armadura exterior de hierro

Todos los componentes son de elevada resistencia al ataque químico de ácidos y bases, además que de los disolventes orgánicos, y, además, están en capacidad de soportar las temperaturas de ejercicio del tratamiento de conservación. Las bombas son dimensionadas sobre los volúmenes para tratar y garantizan un máximo de tres cambios diarios. La central térmica debe permitir temperaturas de proceso promedio de $55^{\circ} C + 5^{\circ} C$. A nivel de la caparazón la circulación está garantizada por canales ubicados a lo largo de la línea del encordador, mientras la recolección de las soluciones está garantizada por un canal puesto en marcha en correspondencia con el eje de quilla (fig. 52).

Un problema técnico está representado por la dispersión térmica del sistema a causa de las elevadas superficies de intercambio de éste presenta. Es necesario, en efecto, que la caparazón mantenga una cierta capacidad de aislamiento térmico para no

21. El esquema funcional de las instalaciones de tratamiento conservativo alcanza su desarrollo completo al final de los trabajos de excavación arqueológica, de análisis de la madera y de cálculo dimensional de todos los componentes. Este procedimiento es parte integrante de la metodología de recuperación y tratamiento conservativo a caparazón rígida ya aplicada por la restauración de muchas imbarcaciones arqueológicas.

tener que sobredimensionar la central térmica y para garantizar, en caso que se trabaje con glicócos polietilénicos, buenos valores de viscosidad de las soluciones a las concentraciones más elevadas. En el caso de caparazones monolíticas (como el caso de la Nave de Comacchio) se hace uso de esterillas avilantes térmicos, mientras cuando se ha elegido la solución de las estratificaciones en compuesto se disfruta la capacidad de aislamiento térmico de los materiales mismos.

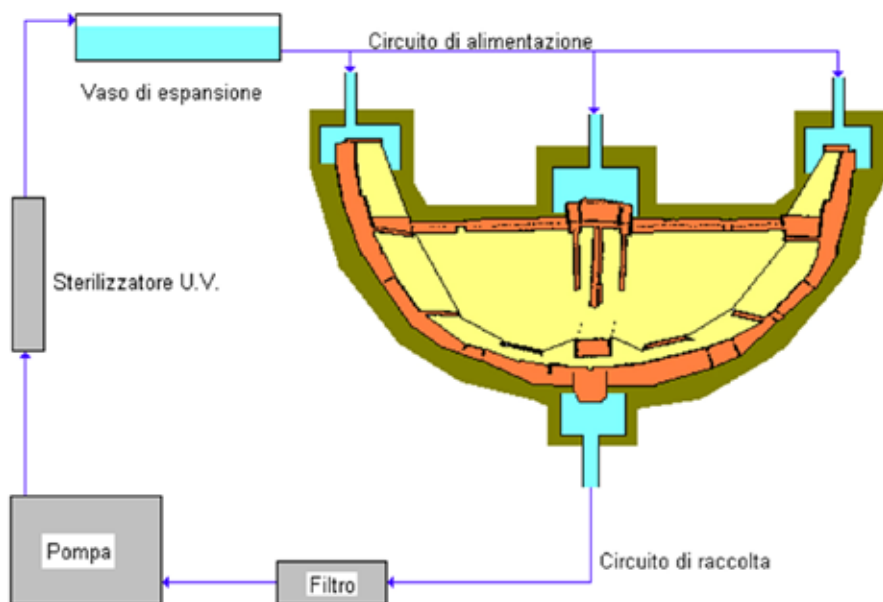


Fig. 52:

Casco C di Pisa S.Rossore: esquema simplificado de la circulación de las soluciones de tratamiento al interior de la caparazón rígida.

Las soluciones de tratamiento de conservación y la dinámica del intercambio

El sistema puede funcionar con cualquier producto hidrosoluble, aunque en ámbito de los límites impuestos por la dimensión de cada uno de los componentes. Con oportunas modificaciones, de otra parte, es posible también actuar procedimientos que hacen uso de disolventes orgánicos. En el caso de la Barca de Ercolano, por ejemplo, el consolidante utilizado fue un silicato de etilo, mientras en los casos de Comacchio y de Ravenna se recurrió a mezclas de glicoles de polietileno.

Las soluciones de tratamiento

Cuando se obra una consolidación con los glicoles de polietileno, la decisión

del peso molecular del PEG y de las relaciones de concentración entre los componentes la mezcla depende, como siempre, del grado de degradación de la madera (Hoffmann, P. (1984)) y de sus características morfológicas, un factor limitante, además, está representado por las dimensiones mismas del objeto de impregnar debido a que de éste depende el tiempo de saturación de todo el espesor. Por otra parte, debido a que el grado de degradación del tejido de madera conlleva una variación de su densidad, es bastante intuitivo que a valores bajos de alteración debe corresponder un grado de polimerización del PEG relativamente pequeño (Fig. 53), mientras para valores de degradación superior al 50%, la saturación de la porosidad interna debe ser confiada a polímeros con más elevado peso molecular: en particular cuando el grado de alteración es alto se incrementa la concentración de PEG 4000 si, en cambio, el grado de degradación es poco, o es diferenciado en el espesor de la madera, entonces se incrementan las concentraciones del PEG 400 o del PEG 1500. Sobre base experimental se ha visto que cuando se hace uso de mezclas ternarias de PEG 400, 1500 y 4000, la relación de concentración óptima parecen ser respectivamente de 15, 25, 50 ÷ 60% en peso. De esta manera es posible trazar las curvas de referencia de (fig. 54) en las cuales son representados los desarrollos de las variaciones de concentración de los PEG utilizados para el impregnado con los porcentajes de límites de uso obtenidos de la experimentación realizada.

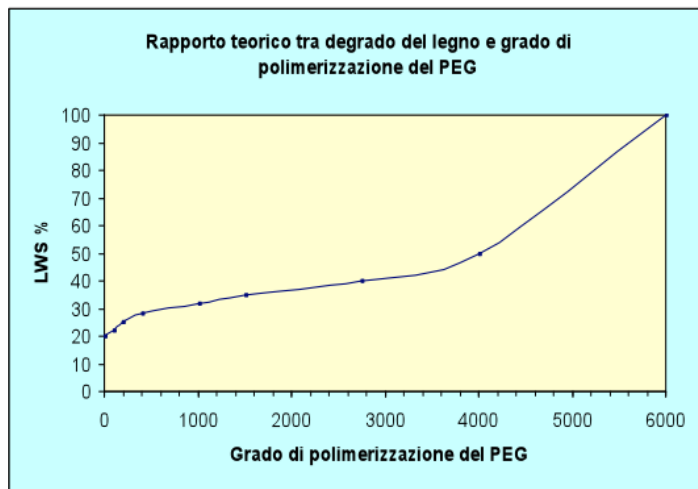


Fig. 53:
Tendencia teórica del
reporte entre degradación
de la madera y grado de
polimerización de PEG

Obviamente las concentraciones pueden variar en el ámbito de una sumatoria igual al 90 ÷ 100° siempre con referencia al estado de alteración de la madera y a las condiciones generales de tratamiento. En el caso de deshidratación en ambiente aéreo, de hecho, los valores en porcentajes de PEG absorbido

deben ser los máximos posibles, mientras en el caso de secado con métodos de crioscopía las concentraciones de consolidante decrecen notablemente.

La dinámica del intercambio

La difusión del PEG (o de cualquier otro consolidante líquido) en el interior de la porosidad de la madera sigue una ley general que puede ser expresada en la fórmula:

$$V_{diff} = f(P, LWS, MWC, \Delta c, PM, T, Vis, S_{cont}, V_{flusso}, RC/L, t_{cont}) \quad [1]$$

donde:

V_{diff} = velocidad de difusión del consolidante,

P = porosidad total de la madera en estado fresco

LWS = pérdida de sustancia de la pared celular

MWC = contenido de agua de saturación

Δc = gradiente de concentración del consolidante

PM = peso molecular del consolidante

T = temperatura de ejercicio

Vis = viscosidad de la solución consolidante a la T de ejercicio

S_{cont} = superficie de contacto entre líquido y sólido

V_{flusso} = velocidad de flujo del consolidante

RC/L = relación volumétrica entre consolidante y madera

t_{cont} = tiempo de contacto entre consolidante y madera

Teniendo en cuenta que en un sistema real P , LWS , MWC , T , S_{cont} , V_{flusso} , RC/L pueden ser considerados constantes, la [1] se vuelve:

$$V_{diff} = K1.f(\Delta c, PM, Vis, t_{cont}) \quad [2]$$

Una vez elegido el consolidante también el peso molecular puede ser englobado en las constante y así también la viscosidad de la solución, directamente relacionada a la concentración de soluto; in tal modo la [2] se vuelve:

$$V_{diff} = K2.f(\Delta c, t_{cont}) \quad [3]$$

Fijado que sea el tiempo de contacto en un proceso continuo, la [3] se simplifica en:

$$V_{diff} = K3.f(\Delta c) \quad [4]$$

Lo que implica que a temperatura constante la velocidad de difusión es directamente proporcional al gradiente de concentración del consolidante con una marcha de tipo lineal.

Si, en cambio, se considera constante el gradiente de concentración entonces la [3] se vuelve:

$$V_{diff} = K_4 \cdot f(t_{cont}) \quad [5]$$

Lo que significa que existe una relación lineal entre el tiempo de contacto y la velocidad de difusión del consolidante en el interior de la estructura porosa de la madera.

La eficacia del método

Múltiples trabajos se realizaron con las mezclas ternarias obrando ya sea en régimen de intercambio por difusión natural, que actuando un intercambio forzado mediante ciclos de vacío/presión²². Los resultados en términos de rendimiento del proceso, calculado como eficacia de contracción (A.S.E. %), han sido generalmente confortantes y llevaron a la determinación de los límites de mezcla de los componentes la solución consolidante. En promedio en los tratamientos en tina abierta, después de un secado controlado al aire, se registraron retiros transversales del orden del 3÷7% para maderas con grado de la pared celular superior al 70%, mientras para el impregnado con autoclave en vacío la eficiencia es siempre elevada y medianamente superior al 97÷98%. Las mínimas variaciones registradas pueden ser imputadas a la heterogeneidad de alteración del elemento de madera en su espesor y, en consecuencia, a una no correcta evaluación de la concentración de PEG 4000 utilizada. De fundamental importancia es en todo caso, el tiempo de contacto con las soluciones impregnadas, sobre todo para los objetos de grande dimensión para los cuales, además, se vuelve crítica la fase de secado.

Resultados más que satisfactorios ha dado el impregnado de una piragua proveniente del río Oglio restaurada en el “Centro Legno Bagnato” de la Superintendencia Arqueológica de la Lombardia, mediante impregnado con mezcla de PEG en tres componentes en una tina abierta y secada en atmósfera controlada, aprovechando un dehumificador de tipo industrial de manera similar

22. Para aplicar esta metodología en el 1996 fue construido un equipo experimental con la que se trataron las maderas del naufragio de Torre Sgarrata (Taranto) cuya excavación esta descrita en: Throckmorton, P., *Atlante di archeologia subacquea*, Novara 1988, pp. 55-59, e dalla stessa nave di Valle Ponti.

a lo realizado por el Centro ARC –ARC-Nucléart di Grenoble para la piragua de Bercy. En el caso de un impregnado con caparazón cerrada, evidentemente, se ha debido abrir la capa superior de la caparazón para proceder al secado controlado con el naufragio puesto en la capa inferior, para luego terminar la restauración de la superficie, una vez alcanzada la estabilización dimensional de la madera.

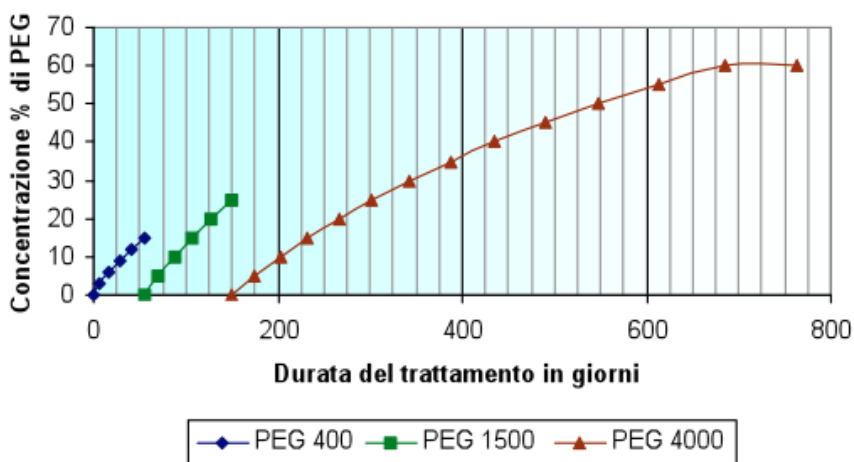


Fig. 54:

Curvas de refiero para la evaluación de la variación de concentración de las soluciones en el tratamiento a caparazón rígida con mezclas ternarias de PEG

Un ulterior elemento a favor de las mezclas es la constatación que su absorción en el tejido de madera, es del todo conforme a la composición del porcentaje inicial, como lo han confirmado controles analíticos cruzados realizados sobre las soluciones residuales de los tratamientos y sobre el PEG absorbido por la madera al final del proceso. La constancia de los valores obtenidos por vía analítica y su correspondencia, a menos de los errores experimentales, con los valores iniciales de la mezcla consolidante, de hecho, muestra por una parte, que el proceso de absorción del consolidante en la madera sigue las leyes de la difusión de materia en los sólidos porosos, de otra parte garantiza una recuperación total de las soluciones de tratamiento residuales, evidentemente reutilizables después de un ciclo de filtraciones y de esterilización. Similares resultados surgieron de las verificaciones realizadas en el laboratorio sobre un sistema modelo de tratamiento a circuito cerrado, aplicado a muestras de madera arqueológica, tomadas de diversos yacimientos subacuáticos italianos y conservados en el I.C.R (Istituto Central de Restauración).

Los soportes de exposición

Se menciona brevemente el problema puesto por las estructuras de exposición de los restos de embarcaciones, sobre todo en consideración de la función que éstas pueden ejercer para la conservación de los objetos, una vez llevados al museo. Por otra parte, es del todo cierto, que la elección de las condiciones de ubicar en el museo un naufragio, en términos de valores de los parámetros microclimáticos, de la elección de los materiales y de las formas de soporte, hace parte integrante del proyecto de conservación. El soporte, de hecho, debe ser respetuoso de las exigencias de conservación de la madera que sostiene. Se debe absolutamente excluir toda especie de vínculos rígidos entre madera y soporte, debido a los evidentes daños que éstos producen en la madera arqueológica, como lo han confirmado las investigaciones termovisivas realizadas sobre la nave púnica de Marsala y las medidas directas efectuadas sobre el naufragio de Oneraria menor II del “Museo delle Navi” de Fiumicino (Roma) (Meucci 1993). Es necesario también limitar el uso de madera fresca en directo contacto con el arqueológico, sobre todo si ha sido consolidado con PEG, con el fin de evitar la difusión del consolidante en la porosidad de las inserciones eventualmente a contacto; riesgo que es mayor en la medida que sean menos estables las condiciones microclimáticas del ambiente que las hospeda. La elección misma del tipo de soporte, como también la de los materiales necesarios para la exposición, debería tener en cuenta el estado de conservación del naufragio y su residual continuidad estructural: es obvio que un naufragio puede ser considerado alternativamente o como un conjunto incoherente de elementos separados, o también como estructura compacta resultante del ensamblaje de sus diferentes elementos constitutivos. En esta segunda hipótesis se está en presencia de una estructura de alguna manera autoportante, mientras que en el primer caso el soporte deberá tener la función de sostener las partes individuales en un conjunto coherente también desde el punto de vista estructural. Indicaciones en este sentido han surgido durante la elaboración del proyecto de los soportes expositivos de la nave de Ercolano²³ que, para ponerla en el museo, presentó problemas de tipo estructural ya sea en sentido estricto, estando la madera completamente carbonizada, que porque el área es a elevado riesgo sísmico. El problema se resolvió, después de una investigación hecha a propósito (Meucci et Al 2001), con la predisposición de un dispositivo antisísmico tridireccional como sostén anti vibrante de la

23. El estudio fue conducido en el ámbito del Proyecto P.O.R. NA/12 en acuerdo con la Superintendencia Arqueológica y el auxilio de consultores especialistas en las diferentes disciplinas involucradas.

estructura de soporte en la cual está colocado el naufragio. Seguramente en la elección de la estructura de exposición deben preferirse todas las soluciones de bajo impacto sobre el naufragio y ciertamente no invasivas con respecto a la estructura naval; Por ahora la construcción ideal prospectada para la nave de Ravena, que en el modelo virtual se había puesto a flotar sobre un cojín de aire y suspendida a simples franjas de luz, queda como una linda hipótesis sobre la cual, actualmente, es posible solamente soñar

Conclusiones

La evolución de la técnica, desarrollada a partir de 1983, actuando sobre los naufragios de complejidad y dimensiones diferentes, hoy ha alcanzado su máximo desarrollo, los ulteriores perfeccionamientos realizados en la obra de Pisa, han llevado a mejorar la interacción entre el material de la caparazón y la armazón metálica con un notable incremento de la resistencia mecánica del conjunto. Los materiales elegidos para la realización de la caparazón, de otra parte, dan suficientes garantías de durabilidad para más del tiempo necesario para efectuar los tratamientos de conservación, aunque éstos deben mantenerse en continua observación para eventuales anomalías de comportamiento en las condiciones de régimen del tratamiento de impregnado. De segura confiabilidad, en cambio, son las instalaciones de soporte al tratamiento de conservación, para las cuales es de todas maneras necesario dimensionarlas correctamente, asegurando la realización con materiales de elevada resistencia al ataque químico de las soluciones de impregnado.

Por lo que se refiere a los productos utilizados para la consolidación, por último se subraya que las experiencias hasta hora realizadas han preferido los glicoles de polietileno en mezcla ternaria aunque las instalaciones de servicio pueden funcionar de manera idéntica con cualquier clase de productos químicos. La elección de los glicoles se hizo teniendo en cuenta la confiabilidad de los consolidantes en términos de logro integral del impregnado, pero también la imposibilidad tecnológica y económica, al momento actual, de realizar una deshidratación con tecnologías avanzadas. En este sentido, sin embargo, es posible prever un desarrollo de la investigación. De otra parte se ha visto que la difusión del consolidante en la estructura porosa de la madera, sigue las leyes generales del intercambio de materia y, por ende, resulta fácil programar los tiempos y las condiciones del impregnado con una aproximación más que suficiente para garantizar un

correcto manejo tecnológico de la intervención de restauración”.

8. METODOLOGÍAS DE PRIMERA INTERVENCIÓN CONSERVATIVA

La conservación temporánea es el conjunto de operaciones que, realizadas directamente sobre los hallazgos inmediatamente después de su recuperación, permite alcanzar las condiciones más favorables para su almacenamiento en espera del restauro. Debido a que los procesos de alteración y el comportamiento químico de los materiales varían según las distintas clases de hallazgos, es evidente que los tratamientos seguirán procedimientos específicos según la composición química, el mecanismo de degradación y el estado de conservación de cada hallazgo. Sin embargo, se pueden establecer unos criterios generales a los cuales hacer referencia durante las operaciones de campo con el fin de no agravar el estado de conservación de los objetos. Es obvio que tales intervenciones tienen que ser realizadas por personal calificado, ya que de su correcta ejecución depende la durabilidad de los materiales. En otros casos, por el contrario, la primera intervención no puede ser separada del restauro propiamente dicho sino que se vuelve el paso obligado para el inicio de los tratamientos de conservación.

Material cerámico

La primera operación que normalmente se realiza es el lavado y tiene la función de remover de la superficie del objeto los sedimentos incoherentes que aún se encuentran después de su recuperación. La operación debería realizarse utilizando agua corriente pero, debido a que las estructuras donde se realizan los trabajos a menudo no lo permiten, es suficiente proceder a la inmersión en baños sucesivos, utilizando la misma agua del sitio de procedencia. Al mismo tiempo, se podrá iniciar el proceso de limpieza, utilizando pinceles muy suaves y evitando el uso de instrumentos abrasivos como punteros y bisturí que podrían cortar o rayar las superficies.

Si se tiene la disponibilidad de agua dulce es posible, en esta etapa, empezar con los tratamientos de desalinización a través de la inmersión de los hallazgos con baños sucesivos, teniendo cuidado de mantener una relación eficaz entre el volumen de agua y la masa que se va a tratar. El valor óptimo encontrado con las experimentaciones es aproximadamente 5 partes de agua por 1 de material cerámico, pero se ha visto también que se obtienen buenos resultados con relaciones 3:1; en todo caso, se aconseja no bajar a menos del valor 2:1 debido a que se reduce mucho la eficiencia de la extracción, aumentando al mismo tiempo

la frecuencia del cambio de agua, ya que se reduce el tiempo de saturación de sales. Para un correcto manejo del tratamiento se aconseja medir con frecuencia diaria la conductibilidad específica del agua de lavado, registrando cada vez sus valores. Cuando el valor de conductibilidad, que expresa de manera indirecta la concentración de las especies salinas extraídas de la cerámica, se mantiene constante, se procede al cambio del agua de lavado, empezando un segundo tratamiento. La mayor eficacia se obtiene, obviamente, utilizando agua desmineralizada, ya que no contiene especies salinas y por lo tanto tiene una mayor capacidad de extracción; sin embargo, es necesario tener atención en realizar gradualmente el paso del agua de red a la desmineralizada con el fin de reducir los posibles daños a la estructura microscópica del material, causados por las bruscas variaciones de la presión osmótica.

El procedimiento termina con el secado, que debe ser gradual y lento y se debe realizar en un lugar sombreado y levemente aireado. Ya que, de hecho, en los tratamientos de campo no es posible alcanzar rendimientos elevados en el tratamiento de extracción de los sales, es necesario evitar que éstos se cristalicen en el interior del cuerpo cerámico para no provocar el agrietamiento de los objetos.

Vidrio

Como se ha podido ver analizando los procesos de degradación, el vidrio tiene una fuerte tendencia a exfoliar, transformándose en una sucesión de estratos con un espesor infinitesimal. Una vez perdida su continuidad estructural, el vidrio alterado encuentra en el agua de saturación el elemento natural que tiene aún conectadas las láminas entre sí, aunque es la misma agua que incrementa la separación entre cada una de las unidades. En la mayor parte de los casos es desaconsejable proceder con el lavado de los vidrios directamente sobre el sitio ya que, a menudo, es imposible distinguir su real estado de conservación debajo de los sedimentos adherentes a las superficies. Por lo tanto, lo más conveniente es postergar la operación al momento de la restauración teniendo, sin embargo, atención para no dejar secar el hallazgo hasta el inicio de la intervención de conservación. En estos casos, por lo tanto, el traslado de la pieza al laboratorio equipado tiene que ser inmediato.

Materiales metálicos

Aunque los procesos de alteración de los metales siguen mecanismos similares, los hallazgos metálicos presentan, como se ha visto, procesos de degradación

un poco distintos debido a la diferente compatibilidad de los metales con los agresivos ambientales. Las operaciones de primera intervención sobre el sitio, por lo tanto, deben tener en cuenta la composición del objeto, además que su estado de conservación, con el fin de evitar que las reacciones químicas activadas por la recuperación y por el nuevo equilibrio ambiental, sean la causa de transformaciones irreversibles y dañosas. Los únicos procedimientos posibles de intervención, por lo tanto, serán el lavado y el secado, que deben realizarse con atenciones diferentes según la composición química de los hallazgos.

Objetos de hierro

En teoría, la intervención de urgencia debería tener la función de interrumpir el ciclo de las reacciones electroquímicas de óxido-reducción que generan la corrosión; es decir, debe representar el primer paso del tratamiento conservativo. Las posibles soluciones son, sin embargo, en la mayor parte de los casos inaplicables en el campo ya que a menudo requieren materiales especiales y adecuadas estructuras de tratamiento. Con mayor razón, las intervenciones se hacen prohibitivas cuando las dimensiones del hallazgo son grandes.

El lavado se debe realizar primero con agua del sitio y después con agua corriente, asegurándose de remover los depósitos incoherentes y aquéllos menos adherentes, con la ayuda de sólo pinceles y cepillos suaves. Durante esta fase es necesario poner mucha atención al estado de coherencia de las concreciones ya que las éstas impiden la evaluación correcta del estado de alteración del hierro. Se desaconseja proceder a la separación de las concreciones ya que éstas engloban el estrato superficial original del metal, que extirpado del alma metálica restante.

La deshidratación se debe realizar con baños sucesivos de mezclas de agua con alcohol (se puede usar el alcohol etílico desnaturalizado sin tetraetilo de plomo) inclusive con alcohol puro, siguiendo con uno o dos baños con mezclas alcohol/acetona al 50% en volumen hasta el tratamiento con acetona pura. La duración de los baños debe ser establecida cada vez sobre la base de la masa que se va a tratar, cuidando que sea respetada la relación de 2:1 entre el volumen de deshidratante y la masa de hierro tratada.

El secado tiene que hacerse con aire corriente frío o caliente en lugar de volumen reducido por un tiempo proporcional a la masa que se va a tratar. En las operaciones de campo, si se dispone de una base logística en tierra, es posible realizar una instalación para el secado a través de una estufa a ventilación forzada o también de un ventilador, activados en la boca de un

túnel de plástico dentro del cual se ponen los hallazgos.

Objetos de cobre y aleaciones de cobre

También para este tipo de hallazgos, las fases de intervención conservativa son tres. El lavado se debe hacer con agua corriente para facilitar la remoción de los depósitos incoherentes y es posible llevarlo hasta el tratamiento con agua desmineralizada, siempre que se disponga de una base logística con materiales y soportes necesarios. Téngase en cuenta que en el caso de inmersión en agua desmineralizada, es necesario añadir al baño un producto inhibidor de la corrosión, con el fin de evitar que las reacciones redox aumenten la velocidad de alteración del metal.

La deshidratación debe ser rápida y eficaz ya que la falta de permanencia de especies salinas en las incrustaciones y en los productos de corrosión, con particular referencia a los cloruros, es causa de corrosión activa inclusive en ambiente aéreo. El uso de baños de alcohol/acetona hasta acetona pura parece ser la solución más rápida para llegar a un estado suficientemente anhidro para proceder al secado del hallazgo. Obviamente, el tiempo de permanencia en las soluciones deshidratantes depende de las dimensiones del hallazgo, quedando firme el respeto de la relación mínima de 2:1 entre volumen de solución y masa metálica.

El secado se debe realizar necesariamente en volumen delimitado con ventilación forzada de aire caliente y puede ser realizado con las mismas estructuras ilustradas anteriormente.

Objetos de plomo

No obstante el plomo sea en apariencia estable al aire, el metal extraído de los sitios subacuáticos necesita de tratamientos preliminares para ser almacenado en ausencia o con bajos riesgos de ulterior degradación.

La remoción de los depósitos incoherentes puede hacerse con baño con la misma agua del sitio con un enjuague rápido con agua corriente con el fin de evitar la formación de óxidos debidos a la interacción del metal con el oxígeno disuelto en el agua. La velocidad de reacción es elevada y obliga a proceder en tiempos muy breves con la deshidratación y el secado de los hallazgos según las metodologías ilustradas anteriormente.

Obviamente las dimensiones de los objetos contribuyen a menudo a que las cosas se compliquen, tanto que parece ser una buena norma empezar lo antes posible con los procedimientos de restauración. Si esto no es posible, es necesario, de

todas maneras, acelerar lo más posible el secado del material, tratando que esté en un ambiente aireado y sombreado.

Materiales orgánicos

Independientemente que se trate de cuero, tejidos o madera, los procedimientos de rápida intervención tienen que limitarse a la remoción de los depósitos incoherentes solamente con agua y pinceles suaves, teniendo cuidado de mantener el estado de saturación del material. En las fases de remoción de los depósitos incoherentes, además, es necesario tener la máxima atención sobre el estado de conservación puntual de los hallazgos, ya que la pérdida de los componentes químicos fundamentales (en particular de la celulosa) incrementa su estado de fragilidad ya sea debido a la despolimerización de las fibras textiles, que a la pérdida de sustancia celulosa de la pared de las células de madera. El riesgo de una operación demasiado violenta o hecha de prisa, por consiguiente, es el de fragmentar el hallazgo o destruirlo por disgregación.

El cuero, por su lado, presenta problemas análogos, sobre todo porque la degradación de las sustancias proteicas se hace principalmente en superficie, contribuyendo a romper la unidad estructural del tejido orgánico. El lavado y la limpieza deben, por lo tanto, ser totalmente superficiales, dejando a la restauración la tarea de poner el hallazgo en las condiciones óptimas para su tratamiento conservativo. De otras maneras, los hallazgos orgánicos no deben sufrir procesos de secado ni siquiera parcial.

Téngase en cuenta que el tratamiento preliminar de los materiales orgánicos requiere la existencia de una base de apoyo y la disponibilidad de instrumentos aptos, más coherentes a un laboratorio de restauración que a un sitio de trabajo de campo arqueológico.

8.1. Materiales y métodos para el almacenamiento temporáneo en espera de la restauración.

Si la primera intervención en el campo tiene la función de remover los sedimentos y las causas más inmediatas de alteración de los hallazgos, el almacenamiento debe permitir que los materiales no sufran daños durante la espera antes de la intervención de restauración. Por lo tanto, es obvio que la preparación de los restos para la conservación en almacén tiene que respetar el estado de conservación de cada uno de los materiales y debe ser funcional para retomar los tratamientos de conservación en cualquier momento.

Las características de los ambientes resultan ser vinculantes para la conservación temporánea ya que de sus condiciones termo-higrométricas dependen tanto la posibilidad de que se desarrollen ataques biológicos, como la reactivación de procesos de corrosión electrolítica de los metales. Los ambientes, por lo tanto, deben ser secos, aireados y poco luminosos así como reparados del polvo. Las soluciones para el embalaje de los materiales, por último, varían en función de la naturaleza de los hallazgos y de su estado de conservación.

Hallazgos de cerámica y de vidrio

Los materiales cerámicos pueden ser conservados en sacos de plástico, tratando de elegir aquellos que no suelten materiales nocivos y que presenten baja permeabilidad al vapor de agua. De esta manera se evita tanto el depósito de polvos en directo contacto con las superficies, como los fenómenos de agua de condensación dentro de los contenedores. Además, sería buena costumbre conservar los objetos más frágiles en contenedores rígidos con cierre hermético. Análoga solución se debería adoptar para los restos de vidrio cuando han sido sometidos a los procedimientos de lavado, de extracción de las fracciones salinas y secado. Para estos materiales, en cada caso, siempre se deberían utilizar contenedores rígidos en los cuales colocar suavemente los distintos objetos después de haberlos puesto en bolsas de plástico selladas. En caso que los hallazgos estuviesen todavía en estado de saturación, es buena regla evitar el contacto continuo con agua desmineralizada, sustituyéndola con soluciones alcohólicas. Sin embargo, en este caso, el tiempo de permanencia en depósito debe ser reducido al mínimo con el fin de evitar ulteriores daños al material.

Hallazgos metálicos

Los materiales metálicos deben ser metidos en sacos o contenedores rígidos de plástico teniendo cuidado de sellarlos y de poner en su interior oportunas sustancias higroscópicas dotadas de indicador de nivel de saturación, como, por ejemplo, el gel de sílice que pasa del azul al rosado durante el absorción de agua, de manera que se pueda periódicamente restablecer el nivel de sequedad. Es importante, que el lugar de almacenamiento no tenga valores elevados de humedad relativa ya que de otro modo, podrían activarse nuevos procesos de corrosión electroquímica favorecidos por la presencia de especies salinas residuales dentro de las concreciones.

Los materiales metálicos en general y, en particular, los restos de plomo y de hierro,

nunca se deben conservar en agua, a menos que no haya una coexistencia de los mismos con materiales orgánicos, ya que el contacto con agua rica de oxígeno acelera los procesos de oxidación, activando reacciones de degradación más rápidas. Por otro lado, también la conservación en ambiente aéreo de objetos de hierro no desalinizados o en ambientes húmedos crea procesos de corrosión que despegan las concreciones, sacando también la superficie original del metal.

Hallazgos orgánicos

El almacenamiento de los materiales orgánicos requiere estructuras adecuadas e instalaciones dedicadas pero se basa siempre y de todas maneras, sobre el mantenimiento del estado de saturación con el fin de evitar los retiros dimensionales y la pérdida de la forma debidos al secado incontrolado.

Los métodos pueden variar mucho según el tipo de material y sus dimensiones, dependiendo, además, de la disponibilidad de espacios y tecnologías.

Antes de ser almacenados, los materiales orgánicos deben ser sometidos a un proceso de lavado y limpieza con el fin de remover de las superficies todo residuo posiblemente dañoso; se hace por lo tanto necesario un tratamiento biocida que sea en condición de bloquear el desarrollo de las especies patógenas normalmente asentadas en los materiales. Si es posible, el biocida debe tener una función específica (la elección debe basarse sobre el conocimiento preciso de las especies asentadas y de aquéllas presentes en el ambiente de almacenamiento), de lo contrario, hay que utilizar uno con un amplio espectro, teniendo cuidado de averiguar que el principio activo no tenga interferencias químicas con los productos para la restauración. Obviamente, el tratamiento debe repetirse en el transcurso de tiempo, respetando el tiempo de actividad del principio activo del biocida.

El enlatado o embalaje se deben realizar con materiales plásticos inertes, tratando de sellar los recipientes con el fin de impedir, o por lo menos reducir al mínimo, el riesgo de contaminar el ambiente. El ambiente de conservación debe ser fresco y con una temperatura más o menos constante para evitar que los materiales sufran por variaciones termo-higrométricas del ambiente externo. La ausencia de luz, además, contribuye al control indirecto del desarrollo de contaminantes biológicos. Tales condiciones se pueden reproducir con facilidad en una habitación, por ejemplo, usando un refrigerador con valores de temperatura de aproximadamente 4°C.

Las estanterías de soporte del almacén deben ser realizadas con materiales inertes, resistentes al ataque químico y biológico, cosa que limita la elección al acero inoxidable o al hierro tratado con galvanización a calor, que se pueden

encontrar entre las manufacturas de tipo industrial.

La iluminación, por último, debe ser realizada con lámparas a emisión controlada para contrastar el posible desarrollo de especies biológicas. Incluso en condiciones óptimas, de todos modos, el tiempo de permanencia en depósito no puede ser muy largo debido a la pérdida de agua de los materiales.

Otra solución tecnológicamente más avanzada, con mayor eficacia y duración, es la congelación. El procedimiento sigue los mismos criterios y parámetros de referencia de las técnicas propias de la industria de los alimentos. La congelación tiene que ser rápida (efectuada a $T < -40^{\circ}\text{C}$) con el fin de producir los cristales de hielo de muy pequeñas dimensiones, cuyo aumento de volumen no destruya la continuidad de las paredes celulares. Obviamente, no todos los materiales pueden someterse a este tipo de tratamiento y, sobre todo, es necesario considerar que a la congelación no puede seguir un tratamiento conservativo que esté basado sobre métodos crioscópicos; en este sentido, por lo tanto, la congelación se convierte en un paso de la línea de restauración que, sin embargo, debe ser precedido por la impregnación con el producto de consolidación más oportuno. La limitación se da por las dimensiones de los hallazgos y por la disponibilidad de las tecnologías necesarias para la realización de estas particulares intervenciones conservativas.

El problema más grave, sin embargo, lo generan los hallazgos y las maderas de grandes dimensiones. A menudo, de hecho, se han realizado recuperaciones de embarcaciones sin haber programado ni un proyecto de restauración, ni las estructuras idóneas para su conservación temporánea. Además, ya que la única solución posible es la construcción de tinajas donde se puedan poner, y por lo tanto se pasa del problema técnico del proyecto al económico para realizarlo y al logístico de la ubicación.

En los últimos decenios del siglo pasado, la recuperación de 11 piraguas monóxilas de grandes dimensiones en los lagos del Norte de Italia puso en primer plano el problema de su conservación temporánea: fueron preparadas tinajas de acero del largo necesario y los barcos fueron colocados en éstas, sumergidos en agua y con una cobertura hecha con hojas de fibra de vidrio. Las tinajas fueron alineadas sobre un terreno de propiedad del Estado sin la predisposición de un tejado de cobertura o de una planta de circulación y esterilización del agua. Obviamente, tras un breve período, crecieron algas y otros biodeteriogenos que obligaron a la puesta en obra de una planta de circulación lenta del agua, dotada de filtros mecánicos y de un sistema de alimentación de soluciones de cloro activo para la esterilización. A pesar de que los tratamientos con cloro activo, de uso común en las estructuras deportivas, tienen la capacidad de bloquear el desarrollo biológico y retardar la velocidad de degradación que éstos producen, la acción

química del cloro (en forma de hipoclorito de sodio) se desarrolla a cargo de la lignina contribuyendo al incremento de la velocidad de la degradación química de la madera. El tratamiento con hipoclorito, por lo tanto, debe ser limitado en el tiempo, mientras que el material debe estar sometido a frecuentes controles analíticos para verificar y registrar los efectos negativos sobre el mismo.

Es evidente que el proyecto de restauración conservativo será interferido por los efectos del tratamiento biocida con soluciones cloradas.

Más recientemente, en el área de excavación del viejo puerto de Pisa (Toscana), el hallazgo de numerosos cascos en un estado de conservación bastante bueno, puso el problema de su conservación temporánea en situ, en espera de tomar una decisión sobre su futuro y sobre las metodologías de intervención conservativa. La solución adoptada para la protección conservativa fue aquella de incluir la parte expuesta de la excavación en una cubierta de fibra de vidrio montada por partes directamente sobre el casco después de haber puesto sobre la madera un estrato de tejido sintético con función protectora. Las cubiertas fueron equipadas con un sistema de alimentación de agua de manera de mantener constante el estado de saturación de la madera. La alimentación de agua dentro de las cubiertas protectoras tenía, sin embargo, carácter esporádico y no involucraba contemporáneamente todos los puntos de aducción, permitiendo así que el agua creara cursos preferenciales que impedían la homogénea impregnación de la madera. En la primera fase de las obras, además, los cascos estaban expuestos directamente a la radiación solar (las cubiertas con telas contra el sol fueron instaladas sólo en un segundo momento) lo cual hacía que aumentara la evaporación, ya que las cubiertas no eran herméticas. El resultado de este tipo de tratamiento ha sido el secado parcial de los elementos superiores que volvían pobres de agua ya sea por el natural proceso de evaporación que por la tendencia del líquido de perderse en la tierra subyacente. Obviamente, las variaciones se vuelven importantes en el momento de la intervención conservativa, en cuanto la homogeneidad del sistema naufragio es la que determina la difusión del producto de consolidación dentro de las estructuras de la madera.

La construcción de una cubierta hermética a contacto con el naufragio sigue una lógica similar (cfr la técnica de la cubierta cerrada), pero favorece la posibilidad de alimentar el sistema continuamente a través de una planta de recirculación y purificación del agua de lavado. La solución resultó eficaz en todos los casos de recuperación que se hicieron con este método, desde la nave de Ercolano, hasta el naufragio de Mausoleo Teodorico en Ravenna, así como las naves de Pisa san Rossore (así llamado “Piroga” y el naufragio de la “Giuditta”). En

particular, la nave de Ravenna ha sido objeto de monitoreo continuo durante todo el periodo de espera desde su recuperación en el febrero de 1999 hasta el inicio de su restauración en el año 2005. La planta de recirculación del agua, de hecho, se alimentaba con agua desmineralizada con el fin de extraer los sales contenidos en la madera y eliminar cada residuo potencialmente dañoso para la correcta ejecución de la impregnación con los productos de consolidación.

9. MATERIALES Y MÉTODOS PARA LA RESTAURACIÓN CONSERVATIVA

Como se ha subrayado varias veces, la conservación de los materiales en el laboratorio subacuático) es el resultado de una secuencia de acciones realizadas según un proyecto cuya elaboración debe basarse sobre el conocimiento de los procesos de degradación al cual los distintos materiales están sometidos. A menudo, además, el límite entre la intervención en el sitio y la restauración es muy sutil e inclusive inexistente, tanto que muchos de los procedimientos de intervención de urgencia se colocan dentro de la restauración conservativa.

Sin embargo, no siendo el objetivo de este texto redactar un manual de restauración ni enfrentar el amplio tema de la restauración conservativa de los materiales de excavación arqueológica subacuática, nos limitaremos a la discusión de los métodos de mayor eficacia y más fácil realización en el sitio, sin dejar aquellos pocos que, aunque complejos desde el punto de vista tecnológico, abren perspectivas nuevas. La mayor parte de las técnicas de intervención, de hecho, se encuentran también en forma de “recetas” de restauración, en todos los textos especializados.

9.1. Materiales y métodos para el tratamiento conservativo de materiales metálicos

En el describir los distintos tratamientos preliminares al almacenamiento de los restos metálicos se ha mencionado la necesidad de usar productos químicos capaces de inhibir los procesos de corrosión que inevitablemente se desarrollan durante el lavado. Además, ya que la primera operación que hay que realizar es la extracción de las fracciones solubles, en los tratamientos tradicionales en tina el uso de estos productos se vuelve fundamental. Las elecciones metodológicas que se hacen durante las

operaciones de campo, en fin, están relacionadas con la posibilidad de organizar una área de tratamiento en la cual colocar los restos y armar las estructuras de restauración, adoptando una línea de intervención que integre las actividades del taller arqueológico con aquellas de conservación.

La experiencia del naufragio árabe-normando de Marsala

A título de ejemplo, se describen en seguida algunas experiencias realizadas con ocasión de la obra de excavación arqueológica y restauración realizada sobre el naufragio durante los años 1984-86²⁴.

Operaciones de rápida intervención y conservación

Desde el 1984 la estrecha colaboración que se había creado entre la Superintendencia Arqueológica para la Sicilia occidental y el I.C.R. (Instituto Central para la Restauración) había permitido de poner en marcha muestras de restauración y controles de laboratorio sobre los restos de materiales orgánicos. El programa de trabajo, por lo que se refería a los dos naufragios, se había desarrollado según dos pensamientos: la protección temporánea en el sitio y el proyecto de intervención global de recuperación y de restauración de las estructuras navales.

El problema de la protección temporánea había sido solucionado con el uso de materiales novedosos para la fijación de los elementos de madera del casco, inevitablemente móviles, dada la particular técnica de la construcción naval. En este contexto no entraremos en el detalle de la investigación que se hizo entonces, ya que los resultados conseguidos ha sido presentados en otra sede²⁵; sin embargo, no se deja de resaltar la funcionalidad de la solución elegida y adoptada que garantiza en cada momento el descubrimiento del naufragio ya sacado a la luz, sin causar daños a la estructura.

El estrato de protección ha sido realizado con una técnica de contramoldura, a través de caucho de silicona de calco²⁶ soportados sobre telas de lino sanforizado, puestos en obra con una mínima yuxtaposición mano a mano que las operaciones de excavación, documentación y recolección de las muestras, se concluyan. Después de

24. Se haga referencia al respecto: A.M. Ferroni, C. Meucci, art. cit., 1996.

25. C. Meucci, *Le bateau arabo-normand de Marsala: la protection in situ*, Atti della Conferenza "Mesures preventives en cours de fouilles et protection du site", Gand 6-8 novembre 1985, ICCROM Roma 1986, pp. 155-158.

26. En particular, se ha utilizado el caucho RTV 1600 producido por la Rhone-Poulenc Italia, que ha resultado ser el más idóneo a la ejecución de una réplica subacuática.

aproximadamente dos horas de la aplicación de las telas, realizada la polimerización del caucho, las maderas de la nave quedaban fijadas, en la posición del hallazgo, por un estrato elástico de sellado continuo, resistente al envejecimiento y a la acción química de los más comunes solventes utilizados en la restauración. Haciendo de esta manera, una vez recuperada toda la estructura de madera del barco, la misma cubierta de silicona podría funcionar como tina para el tratamiento conservativo.

Contemporáneamente, las primeras investigaciones realizadas habían permitido, como ya se mencionó, la redacción de un proyecto detallado de intervención sobre la base del cual se pusieron en marcha las obras del 1985 y 1986.

Otro problema para enfrentar era la restauración de los materiales recuperados, hasta ese momento guardados en un “lugar seguro” pero sin haber sido aún sometidos a una intervención conservativa. Una de las primeras dificultades que debe enfrentar un restaurador en laboratorio arqueológico subacuático, de hecho, es la absoluta falta de soportes tecnológicos y de una base logística. Si bien el problema de la intervención rápida se puede solucionar con una meticulosa programación de la actividad de laboratorio, siempre y cuando se pueda disponer de personal calificado, la constitución de un laboratorio de restauración en condiciones de azar, no siempre es fácil. Éste en realidad es un falso problema ya que casi todas las misiones arqueológicas poseen una base operativa. La única verdadera necesidad, una vez que se haya aceptado el principio de la necesidad de la intervención rápida en el sitio y de la restauración conservativa²⁷, consiste en la necesidad financiera relacionada al obvio y necesario empleo de personal con alta y específica formación profesional. En nuestro caso, la cercanía al Museo Arqueológico de Marsala hizo posible la preparación de una sala totalmente destinada a la restauración en la cual, con turnos determinados por las exigencias operativas de la excavación, los mismos profesionales del I.C.R. activos en laboratorio subacuático, se alternaban con las operaciones de intervención rápida y de restauración.

Desalinización con agua destilada, secado controlado, deshidratación y consolidación, han sido realizados sobre los hallazgos cerámicos antes de su encolado y de la recomposición de las formas. Con análogo criterio conservativo se ha operado sobre los materiales metálicos y orgánicos en general.

Como ya se ha mencionado varias veces, al final de los trabajos, 1986, los restos ya restaurados fueron expuestos en el museo cercano. Para una completa información y por considerar que dichas informaciones pueden ser útiles a quien quisiera enfrentar la excavación arqueológica subacuática, con una visión similar a la que se propone, se ilustran en el último párrafo de este trabajo las fichas de restauración

27. Al respecto, se comparte plenamente cuanto claramente expresado en A. Melucco Vaccaro, *Archeologia e restauro*, Milano 1989, pp. 256-273.

más significativas entre las que fueron preparadas durante el trabajo.

Fichas conservativas de los restos

Se presentan en seguida, como ejemplos, solamente algunas de las fichas conservativas relativas a los restos restaurados durante los trabajos en 1986 en el laboratorio preparado dentro del Museo Arqueológico de Marsala, además de otras fichas de materiales restaurados en los laboratorios del I.C.R. ya a partir del 1984.

Clavos de hierro de los relictos A y B

Se trata de clavos a sección cuadrada (alrededor de 0,7 – 0,8 cm de lado por un largo oscilante entre 4 y 8 cm.) hallados enteros o fragmentados sobre dos naufragios encontrados concrecionados en el fondo del mar pero estrictamente pertinentes a la estructura naval. El cuerpo metálico está siempre completamente mineralizado tanto que el interior de la concreción es hueco. El estrato concrecionado es a menudo friable y contiene arena y detritos del fondo del mar.

Limpieza: mecánica con cepillo suave y bisturí.

Tratamiento: a inmersión con solución de NaOH 0,5M en dos baños sucesivos.

1° baño: días 7

2° baño: días 30

Secado con corriente de aire.

Observaciones: en algunos elementos se desarrolla la suavización de la concreción externa y el adelgazamiento de la pared.

Balde de cobre (inv. exc. 26.86)

La vasija resulta bastante bien conservada en la forma, afuera que sobre una porción de la barriga cerca del fondo que, más expuesta en el estrato de yacimiento, ha sufrido un aplanamiento y otras fracturas más o menos consistentes. El espesor de la pared está muy delgado debido a fenómenos de corrosión activa causados por las fases depuesta al descubierto. Los productos de corrosión forman una espesa concreción que envuelve, además que el arena, varios fragmentos cerámicos (entre los cuales el cuello de un ánfora inv. exc. 30.86 y otros fragmentos de otra ánfora inv. exc. 29.86) y también dos pesitas en forma de corazón con dimensiones de aproximadamente 3,5

cm. de largo por un espesor promedio de 2 cm. Debajo de la concreción se conserva el lustro metálico del cobre; la superficie intacta muestra todavía las huellas del trabajo. Sobre el mango de cobre amarillo (Otón) se observan pátinas de malaquita y azurita, bien adheridas al metal y bien cristalizadas.

Limpieza: mecánica, con remoción de la concreción generalmente sacada de la superficie externa; con el bisturí las concreciones más duras y adherentes; con el tampón, con alcohol etílico puro, la remoción de los residuos de tierra y de los óxidos adherentes de hierro.

Tratamiento: lavados rápidos con agua destilada; tratamiento con solución de sesqui carbonato de sodio para dos ciclos de 15 días cada uno; deshidratación con dos baños de alcohol puro, seguidos por dos baños en acetona pura.

Observaciones: sobre la superficie se deposita un velo de carbonato de cobre que se puede remover con facilidad con un cepillo suave. La superficie contiene las huellas del trabajo.

Como se puede ver, se trata de intervenciones sencillas que requieren solamente la disponibilidad de los productos químicos que se deben utilizar, pero que, de todas maneras, necesitan de una precisa organización del entero ciclo del trabajo, basada principalmente sobre la presencia de profesionales especializados, es decir, de restauradores subacuáticos, capaces de ejecutar todas las operaciones de conservación a partir de la excavación y recuperación de los hallazgos hasta su organización en el depósito.

Otras soluciones posibles para el tratamiento del hierro son el uso de soluciones de solfita de sodio (Na_2SO_3) al 6,3% en peso y aquella de los baños con solución al 2% en peso de NaOH en presencia de nitrito de sodio²⁸ (NaNO_2) que actúa como inhibidor de corrosión²⁹.

Ambos métodos requieren un control de la eficacia de extracción de los cloruros, pero permiten de alcanzar óptimos resultados en términos de estabilización de los restos. Para la remoción de las concreciones por materiales de hierro es posible, además, realizar un tratamiento reductor sumergiendo la pieza en un baño de agua desmineralizada

28. N. A. North, C. Pearson, Alkaline Sulphite Reduction Treatment of Marine Iron, Preprints, ICOM Committee for Conservation, 4th Triennial Meeting, Venice, March 13, 1975. ICOM, Paris.

29. W. Basilissi, A. Ferradini, A. Giglio, R. Mancinelli, Il restauro di elmi di ferro provenienti da uno scavo subacqueo presso Torre Santa Sabina (Brindisi), in: R. Petriaggi (ed.), *Archaeologia Maritima Mediterranea. An International Journal on Underwater Archaeology*. Volume 1, 2004, pp. 157-169.

al cual se haya añadido el nitrito de sodio como inhibidor y el zinc en polvo o en pequeñas losas como agente redox. La reacción de óxido reducción que se activa induce a la formación de hidrógeno gaseoso y a la reducción de los óxidos de hierro directamente sobre la superficie de la pieza: la concreción se vuelve progresivamente más suave hasta despegarse y se conserva la superficie original de la manufactura. Al mismo tiempo, se desarrolla la extracción de los cloruros y la estabilización del elemento metálico.

Todas las operaciones de limpieza sucesivas a estos tratamientos necesitan de una intervención mecánica que resultará tanto menos invasora cuanto más eficaz ha sido la acción del tratamiento sobre la consistencia de la concreción y sobre su adherencia a la superficie del hallazgo.

De mayor complejidad, pero de eficiencia superior, es, por último, el tratamiento electrolítico que permite la extracción de los cloruros y al mismo tiempo de despegar los estratos de concreción de las superficies, sin tener que recurrir necesariamente a la acción mecánica.

Para la realización del método es necesario tener la disponibilidad de una tina de tratamiento oportunamente aislada (se pueden utilizar tinajas de fibra de vidrio o también de acero recubierto con fibra de vidrio), de un alimentador de corriente continua de electrodos de acero que funciones por ánodo (redes de acero armónico) y por cátodo (puntales de acero que se conecten a metal arqueológico). Obviamente la instalación es fija y requiere una cierta práctica para que el tratamiento se desarrolle de manera correcta.

El baño de tratamiento está representado por una solución de hidróxido de sodio al 10% en peso o de otros electrolitos en grado de crear el ambiente básico necesario, mientras la intensidad de la corriente es determinada con relación a la superficie de metal que se va a tratar: en general se usan valores de $0,001 \div 1$ amp/cm² de acuerdo con el objetivo que se quiere alcanzar (extracción de los cloruros o remoción de la concreción). El límite del tratamiento es dado por la permanencia de alma metálica en el objeto, sin la cual no se tendría un contacto útil con el cátodo. Además, va controlado continuamente el contenido de iones cloruro porque cuando la extracción alcance el máximo, es necesario renovar la solución electrolítica de tratamiento.

Los cañones del naufragio español de Villasimius (Cerdeña)

En un artículo titulado “Villasimius, después de veintitrés años regresan los cañones españoles” publicado el 11 de agosto de 2009 en “La Unión Sarda”, en el cual se lee: «Hace veinte años el descubrimiento. En las aguas de la Isla de los Cavoli fue descubierto a diez metros de profundidad un galeón que los estudiosos han indicado

como un mercantil aragonés, proveniente de España. Lo hicieron aprovechando las informaciones obtenidas de la carga recuperada y constituida en parte por una buena cantidad de azulejos, típicas baldosas esmaltadas en azul, producidas en la zona de Valencia y probablemente destinadas a embellecer un palacio de una familia noble palermitana. La nave se hundió alrededor de 1450, arrastrando al fondo marino también veinte cañones, municiones, vajillas y el ánora de la nave. La convicción es que el galeón ha sido ampliamente saqueado en los años anteriores a los levantamientos arqueológicos hechos hace veinte años por buzos que exploraban a poca profundidad alrededor de la isla. En Villasimius, entonces, llegó una lumbrera española, Martín Bueno, arqueólogo que definió el descubrimiento de excepcional valor histórico. Los restos del galeón están todavía en el fondo del mar. Fueron de todas maneras recuperados los veinte cañones y transportados a Cagliari donde permanecieron custodiados hasta hace algunos días”

Al descubrimiento siguió una excavación sistemática que permitió recuperar materiales de diversa naturaleza (Salvi, 2005) recolectados para el estudio y la conservación temporal en los locales de Villa Clara en Cagliari. La solicitud al ICR (Instituto Central del Restauro) de Roma presentada en 1992, de la asistencia técnica para la restauración produjo un proyecto de intervención dirigido a la recuperación de los materiales de hierro, que sólo en parte fue realizado, llevando al museo los hallazgos los cuales actualmente se encuentran expuestos en el Museo Municipal de Villasimius. No obstante los tentativos hechos en los años sucesivos, la gran parte de los hallazgos metálicos permanecían abandonados a sí mismos al punto que en la rubrica “Cronaca di Cagliari della Unione Sarda” del viernes 18 de agosto de 2006, un artículo de Matteo Vercelli titulado “Los cañones olvidados de Villa Clara” dice textualmente:

«Debían ser conservados en tres tinajas de agua y sal. No se hizo nunca y ahora están en poder de los vándalos. Desde entonces las tinajas de conservación se han transformado en tumbas para aquéllos que un tiempo eran hallazgos de los cañones recuperados en 1987, pertenecientes a una embarcación catalana del siglo XV, naufragada a lo largo de la isla dei Cavoli, en el mar de Villasimius. Irreconocibles, los restos de los cañones, que podrían ser un tesoro de la historia española, están todavía abandonados en uno de los edificios de Villa Clara, sobre la cima del homónimo Monte. Tres pequeñas ventanitas, protegidas por las rejas, son el único observatorio incómodo (y prohibido) desde el cual se puede ver el cúmulo de óxido. Cuando se salta el cerco (arruinado y ciertamente superado por muchos improvisados visitantes), el muro que rodea el edificio tiene algunos agarraderos que permiten asomarse a las ventanitas y observar los cañones, o por lo menos, lo que queda de ellos, dentro de tres tinajas y pasar por encima de una polea para moverlos. Todo abandonado”.



Fig. 55:
Uno de los cañones de Villasimius (Cardeña)
durante el tratamiento electrolítico

Y también la restauración de los primeros mascler y del cañón habían ocupado no poco a los restauradores de la empresa Docilia de Savona que había sido encargada de los trabajos: ocupación de tiempo y económica, pero también de elaboración de proyectos y puesta en función de las estructuras necesarias para la realización de aquellos tratamientos electrónicos que por primera vez venían puestos en práctica en Italia.

El control de la eficacia de extracción de los cloruros se efectuaba con métodos analíticos veloces (Acquaquant test Merck) a tiempos prefijados y suministraba informaciones inmediatas sobre el estado de saturación de las soluciones electrotécnicas de tratamiento (fig. 55)³⁰ en las condiciones operativas elegidas de 0,5 amp/cm². Como se ve cada ciclo de tratamiento tiene tiempos de extracción mayores, pero concentraciones límite de ión cloruro decrecientes como confirmación de la extracción de la matriz.

Obviamente, debido a que durante el proceso electrolítico se tiene la reducción de los iones ferrosos en la interfaz del metal con la concreción, a cada ciclo de electrolisis corresponde también el desprendimiento de parte de la concreción, con incremento de la eficacia de extracción de los iones responsables de la corrosión.

El tratamiento final, después de la completa limpieza de las superficies y su secado al aire para permitir la carbonatación de los hidróxidos y la estabilización del hierro, se efectuó con la aplicación de una cera microcristalina con función de protección superficial para reducir la capacidad de absorción del agua vapor por parte de la masa metálica.

Los hallazgos metálicos del naufragio de Torre Flavia (Roma)

A título de ejemplo, se presentan en seguida los procedimientos realizados para el tratamiento de los hallazgos de plomo provenientes del naufragio de Torre Flavia en Ladispoli (Roma) (Meucci 1993)³¹.

30. Los datos fueron tomados por: Docilia S.n.c., Relazione preliminare sui trattamenti di reperti di ferro del Relitto di Villasimius, Savona 1994, Archivio ICR.

31. C. Meucci, Il relitto di Torre Flavia a Ladispoli. Caratterizzazione, studio e restauro dei materiali, Bollettino di Archeologia Subacquea, N. 0, 1993, pp. 17-61. Las restauraciones fueron realizadas por Ines Felici Cortese dell'ICR.

Los metales del casco de Ladispoli (Roma)

Las particulares condiciones de yacimiento, permitiendo la instauración de ciclos de cobertura/exposición, no han favorecido la conservación de los materiales metálicos, debido también a la exigua cantidad de los resultados. Los únicos hallazgos abundantes son las grapas de plomo, ya sea que estén en su lugar o no, con función de anclaje de las paredes de los dolia por varios motivos rajados. Todos los objetos encontrados, por lo menos de los que tiene conocimiento el I.C.R., en el momento actual son realizados en plomo, material relativamente poco alterable en ambiente marino. Para las investigaciones analíticas se ha recurrido a técnicas no destructivas y a microanálisis no invasivos de común uso en el sector, teniendo cuidado de dirigirlos hacia la caracterización de los materiales originarios y de sus productos de alteración, sobre todo en consideración a las necesarias operaciones de restauración. Además de la caracterización de los productos de corrosión, analizados con la usual técnica de la difracción a los rayos X de los polvos, sobre las muestras de plomo en estudio se efectuaron análisis de espectrometría RX en dispersión de energía para obtener la composición elemental de las aleaciones utilizadas, además de una preliminar comprobación no destructiva –sino superficial- con la técnica de la fluorescencia RX radioisotópica. Otras eventuales investigaciones complementarias sobre las muestras en examen serán ilustradas, junto a los resultados obtenidos, en el curso de la discusión sobre el estado de conservación de cada uno de los hallazgos.

La grapa del dolium

En el breve período de almacenamiento, antes de la intervención de conservación a la inevitable pérdida de agua correspondió la formación de eflorescencia blanca y amarilla en las zonas de elemento metálico más a contacto con la masa cerámica. El análisis de difracción de las incrustaciones y de las eflorescencias muestra la presencia de algunos productos típicos de la corrosión del plomo en ambiente marino, aunque con algunas discrepancias. La galena (un sulfuro de plomo PbS , ASTM 5-592), de hecho es el producto favorito en la corrosión en ambiente anaeróbico, en el cual estén presentes también fuertes contaminaciones orgánicas (en este caso se trataría de la descomposición de sustancias orgánicas que contienen azufre en las estructuras moleculares), y su presencia mal se acopla con la del laurión (un hidroxiclورو de plomo, $Pb(OH)Cl$, ASTM 6-268) que se forma, en cambio, en un ambiente aeróbico. De otra parte el sulfuro de plomo está uniformemente difundida sobre la superficie indicando un proceso

corrosivo bastante continuo en el tiempo. Análogamente la difundida presencia de anglesita (un sulfato de plomo PbSO_4 , ASTM 5-577) demuestra que la corrosión se ha desarrollado también en ambiente anaeróbico, en el cual era importante el componente orgánico de concreción, como lo testimonia la presencia constante del aragonito.

Parece, por lo tanto, confirmado el sucederse de las fases de cobertura/exposición del sitio, fases a las cuales es imputable la presencia de los diversos productos de alteración. Los mismos análisis elementales de la aleación, de otra parte, muestran que la alteración ha penetrado notablemente en todo el cuerpo del elemento metálico, al punto que el ión cloruro está presente en porcentajes elevadas y preocupantes (cerca del 30%) en el interior del objeto, con valores comparables a los correspondientes a los estratos externos de corrosión.

La lámina

Un tenor muy elevado de plomo tanto en la aleación como en los productos de corrosión, confirma una buena refinación del mineral con eliminación casi total de las escorias. La segunda fusión, para pasar del lingote a la hoja, probablemente seguida de un martilleo para obtener el espesor deseado, podría haber mejorado el grado de pureza del metal. De otra parte el mismo análisis elemental de la aleación, muestra inequívocamente la ausencia de impurezas metálicas en el objeto. De manera particular, resulta ausente en el corazón del metal, el hierro que, al contrario, se adensa en la superficie como se indica en el análisis difractométrico y en los análisis de fluorescencia radioisotópica. El hierro, de todas maneras, está siempre presente como elemento secundario en términos de concentración y, de otra parte, el encontrar la presencia sólo en superficie, permite pensar que es completamente extraño al objeto en cuestión. El hierro, bajo forma de pirita (un sulfuro de hierro, FeS_2 , ASTM 6-710) está íntimamente mezclado con la galena para indicar no sólo la corrosión en ambiente anaeróbico, sino también la probable presencia en las inmediatas cercanías de un objeto de hierro. En tal caso, la pirita presente sobre la superficie de la lámina sería imputable a una migración de productos de corrosión de una fuente cercana.

La caldera

Las concreciones adherentes a la superficie metálica, además de las calcáreas debidas a la actividad de los organismos marinos incrustantes, son de diversa naturaleza y origen: galena, cerusa (un carbonato de plomo, PbCO_3 , ASTM

5-417) se mezclan íntimamente menores cantidades de anglesita y laurión. Una vez más se nota la alternancia de ambientes de yacimiento, oxidantes y reductores, así como en los casos anteriormente examinados. Resulta extraña, al contrario, la presencia de cerusita, producida normalmente por procesos de corrosión en ambiente terrestre; se podría, en primera hipótesis, pensar que la naturaleza fuertemente incrustante del fondo, favoreciendo la formación de concentraciones elevadas de ión a contacto con la superficie de afloramiento del sitio. Haya de alguna manera favorecido llegar a las condiciones químicas necesarias y suficientes para la precipitación del carbonato de plomo. En realidad, parece más probable, considerando también que éste sería un fenómeno aislado, que la formación de la cerusita sea precedente al naufragio, o sea que el uso mismo del objeto pueda haber creado las condiciones favorables a esta específica alteración del plomo. La composición de la aleación –prácticamente un plomo puro y bien refinado- estaría indicando un cierto cuidado en la realización de este objeto, casi seguramente de uso común”.

Para todos estos hallazgos, las operaciones de restauración consistieron en el lavado para la extracción de los cloruros, el la limpieza de las superficies desde las concreciones menos adherentes y, en fin, en el secado total en ambiente ventilado. A causa de los particulares procesos de alteración del plomo en agua desionizada,, para el lavado de los hallazgos y la extracción de los cloruros se decidió operar en un autoclave a prueba de agua, con agua desmineralizada, oportunamente destilada con flujo continuo de azoto. La instalación es de realización simple y aprovecha la capacidad del azoto de extraer del agua los otros gases disueltos sobre la base de la ley de Henry: prácticamente se hace borbotear azoto a través de un difusor vertical poroso de vidrio durante todo el tiempo del lavado, controlando periódicamente el contenido de cloruros extraídos. Cuando se alcanza el valor límite de extracción, se efectúa el cambio del baño y se inicia un segundo ciclo hasta acabar casi totalmente con el contenido de cloruros.

La deshidratación siguiente a la limpieza se efectuó con baños de alcohol/acetona y de acetona pura, seguidos de evaporación en corriente de aire caliente.

9.2 Materiales y métodos para el tratamiento de conservación de materiales cerámicos

Las técnicas de restauración de los hallazgos de proveniencia marina o, en general, subacuática, no difieren mucho de aquéllas que se adoptan ya desde hace varios decenios para las cerámicas de excavación terrestre. A aumentar las

dificultades de intervención, sin embargo, son los procesos de alteración que modifican el estado de coherencia del material volviéndolo, la mayor parte de las veces, friable e inclusive plástico. Las operaciones que es necesario realizar son:

- La extracción de las especias salinas solubles con agua desionizada,
- La limpieza, de realizarse posiblemente con medios químicos,
- La consolidación, de realizar para impregnación con adecuados productos químicos.

Con el fin de demostrar la utilidad de esta secuencia operativa, se reportan enseguida los resultados de las experiencias realizadas sobre los hallazgos del “Naufragio de Marsala³²” gracias a la posibilidad de preparar un laboratorio de restauración en la sede del actual Museo Arqueológico y a la presencia de dos restauradores subacuáticos especializados en la restauración de materiales arqueológicos.

Los materiales cerámicos del naufragio árabe-normando de Marsala

La primera fase de la intervención de conservación fue realizada directamente en la obra mediante limpieza de los hallazgos en agua de mar y remoción de los depósitos incoherentes con brochas blandas. Posteriormente los hallazgos eran registrados con una numeración provisional de excavación y llevados al laboratorio de restauración donde eran inmediatamente iniciadas las operaciones de restauración para la conservación después de haberlos catalogado, fotografiado y dibujados y, eventualmente, habiendo tomado muestras para las investigaciones analíticas. Los procedimientos de restauración conservadora eran decididos sobre la base del estado de conservación de cada uno de los fragmentos, teniendo cuidado de adoptar las mismas metodologías para los elementos provenientes del mismo conjunto de yacimiento y pertinentes a la misma forma.

Ánforas a “cannelures”

Aparte el grado de fragmentación en el cual se encuentra un gran número de las ánforas encontradas, el estado de conservación de los hallazgos es generalmente discreto, a excepción de algunos amasijos cerámicos más blandos, o sea, con el estrato superficial poco adherente a la masa de fondo. Concreciones difundidas sobre las superficies. Fisuras que pasan también en las paredes de algunas jarras.

32. A.M. Ferroni, C. Meucci, art. cit., 1996.

Limpieza: Remoción mecánica de las concreciones adherentes. Limpieza de las superficies externas con brocha y tampón con agua y alcohol. Recuperación con brocha de los depósitos superficiales internos.

Tratamiento: parcial deshidratación con empaques de alcohol etílico puro. Consolidación con solución de Paraloid B72 al 3% w/w en acetona por inmersión y/o con brocha.

Observaciones: después del pegado y la eventual integración de las lagunas se procedió a aplicar un estrato de protección superficial con la misma solución de consolidación. Las piezas restauradas fueron conservadas en vitrinas cerradas. Fragmentos de formas abiertas: tazas, cántaros, ollas. Se trata sobre todo de piezas fragmentadas e incompletas, caracterizadas por amasijos porosos, quebradizos y escasamente compactos. Todos los fragmentos son con fuertes concreciones, a menudo con elementos ferrosos pertenecientes a las construcciones navales.

Limpieza: mecánica para la remoción de las incrustaciones y de las concreciones adherentes; con tampón con alcohol etílico para la remoción de las superficies de los residuos de tierra.

Tratamiento: consolidación por inmersión en Silicato etílico I hasta la saturación con posterior tamponado de las superficies externas con alcohol etílico y acetona para remover el exceso de consolidado. Polimerización e hidrólisis del consolidado por 15 días de exposición a la sombra y en corriente de aire.

Observaciones: el tratamiento de consolidación realizado hace aumentar la resistencia de la masa pero no garantiza la adhesión de las astillas por exfoliación superficial para las cuales es a veces necesario emplear localmente soluciones concentradas de Paraloid B72 o de un pegante más fuerte.

Vasijas con decoración rojo-marrón sobre fondo amarillo

El color de la decoración se presenta muy desvanecido, al color amarillo del fondo, por total pérdida de la vitrina superficial. La pasta es blanda y friable.

Limpieza: con brocha blanda y con tampón con alcohol etílico puro; lavados con agua destilada hasta la desaparición del ión cloruro; deshidratación con baños posteriores de alcohol etílico puro y de acetona.

Tratamiento: consolidación por inmersión en solución de Paraloid B72 al 3% w/w en acetona. Encolado con resina de dos componentes. Integración con yeso odontológico cargado con tierras naturales. Protección superficial con B72 al 3% en acetona aplicada con brocha

Observaciones: la pasta blanda soporta mal el lavado en agua destilada sin haber sido previamente consolidada.

Ánfora con decoración marrón (inv. Sc. 34.85)

La pasta, aunque bastante blanda, es consistente y no presenta exfoliaciones. El vaso es totalmente fragmentado.

Limpieza: mecánica con bisturí para la remoción de las concreciones y de los depósitos adherentes; con tampón con alcohol etílico puro para la eliminación de los residuos de tierra por las superficies y por los bordes de los fragmentos.

Tratamiento: consolidación por inmersión en solución de Paraloid B72 al 3% w/w en acetona y fijado de los bordes de unión con varias manos con brocha. Encolado con resina de dos componentes. Integración de las lagunas con yeso odontológico colorado con ocre naturales. Protección final con Paraloid 3%.

Observaciones: restauración completada integralmente; hallazgo expuesto en vitrina.

Anfora con decoración marrón (inv. Sc. 10.86)

La pasta roja, aunque porosa, conserva una discreta resistencia; las fracturas tienden a redondearse por pérdida de material. El vaso está muy fragmentado, al punto que sus partes fueron halladas en el curso de todas las campañas de recuperación y excavación realizadas de 1983 a 1986.

Limpieza: la casi totalidad de fragmentos, aquéllos encontrados en las excavaciones precedentes, había sido sometida a restauración en el Laboratorio de la Superintendencia Arqueológica de Palermo donde, siguiendo técnicas tradicionales, se había compuesto la forma encolando los fragmentos e integrando las lagunas. En 1986 la recuperación de otros elementos pertenecientes al ánfora requirió el desmonte del vaso y la limpieza mecánica de los bordes de unión.

Tratamiento: extracción de las sales solubles con agua destilada, deshidratación con baños sucesivos de alcohol etílico y acetona; consolidación localizada de los bordes de unión con Paraloid B72 al 3% en acetona, consolidación por inmersión

en la misma solución. Pegado con resina de dos componentes e integración de las lagunas con tierras naturales coloradas. Protección superficial con Paraloid 3%.

Observaciones: El ánfora completamente restaurada ha sido expuesta en una vitrina del museo. Un pequeño fragmento encontrado al finalizar la obra, imposible de insertar en el conjunto ya compuesto, ha sido conservado separado para el análisis petrográfico y tecnológico.

Uno de los mayores problemas de la restauración de los hallazgos de proveniencia marina es la remoción de los depósitos de concreción a base de carbonato de calcio, que a menudo se enganchan en las superficies de manera tan sólida que hace imposible la remoción mecánica sin causar daños a los objetos. De otra parte los medios químicos tradicionales, como las soluciones de EDTA y las mezclas de carbonato y bicarbonato de amonio, son a menudo ineficaces o requieren de tiempos largos para alcanzar resultados de verdad muy escasos.

Con el fin de encontrar soluciones innovadoras a este problema y en la perspectiva de completar las investigaciones ya iniciadas en el curso de las anteriores obras, en 2003 se desarrolló una experimentación que ha tomado en consideración los dos mayores problemas inherentes a la restauración de los hallazgos cerámicos de proveniencia marina: la extracción de las sales solubles y la remoción de las concreciones de carbonatos. Los resultados de esta experimentación han constituido la base de la tesis de diploma de dos restauradores: E. Africano y A. Casagrande, ambos buzos y especializados en la restauración de los materiales arqueológicos (Africano & Casagrande 2003). Las técnicas de extracción de las fracciones solubles permitieron mejorar la metodología ya a su tiempo experimentada (Meucci 1990) en el ámbito de una investigación dirigida también a optimizar las intervenciones de consolidación.

En la nueva experimentación se decidió confrontar las tradicionales técnicas de limpieza química y mecánica, que hacen uso de soluciones químicas y de ablator, con la innovadora del tratamiento en inmersión con soluciones acuosas saturadas de CO₂, retomando un método ya en parte experimentado para la restauración de los mármoles. Las pruebas mecánicas pusieron en condiciones de verificar que la acción manual del bisturí era la que causaba menores daños a la superficie, gracias a la capacidad de control que el restaurador podría ejercer, elementos, sin embargo, tan variable que no resultar un parámetro objetivo de confrontación. Las metodologías químicas

mostraban, al contrario. Una cierta variabilidad de eficiencia relacionada sobre todo al estado físico y a la morfología de la superficie de contacto: se obtenían, de hecho, escasos resultados sobre las superficies dejadas tal cual, mientras la eficiencia de la reacción de solubilidad aumentaba si las concreciones habían sido precedentemente afinadas con medios mecánicos (micro-fresas, vidrio y ablator). Obviamente la reactividad de cada producto se volvía un criterio sobre la eficiencia de la reacción así que las mezclas de carbonato y bicarbonato de amonio resultaban menos reactivas que las soluciones de EDTA, mientras este último producto actuaba en tiempo superior a las resinas a intercambio iónico en forma ácida. Además de la velocidad global de la reacción química de disolución de los carbonatos, de todas maneras, variaba en los diversos métodos el esquema de interacción con el sustrato: mientras, de hecho, las mezclas de los sales de amonio y de EDTA actuaban por estratos, las resinas a intercambio iónico operaban según un modelo crateriforme hecho posible por la forma de las resinas mismas (pequeñas esferas con grupos reactivos al externo) y por la discontinuidad de las superficies de contacto.

Al contrario, la inmersión de los fragmentos cerámicos concrecionados en una solución acuosa saturada de CO_2 permitía alcanzar la casi total eliminación de las concreciones de carbonio en sólo 3-5 días de tratamiento, sin necesidad de efectuar preliminares limpiezas mecánicas. El tratamiento se realiza en autoclave estaño con borboteo continuo de CO_2 a través de una difusión de vidrio de paredes porosas. Se subraya que con este tratamiento se obtienen contemporáneamente dos objetivos: remueve las concreciones calcáreas y extraer las especies solubles potencialmente dañosas; además, como han demostrado controles analíticos sucesivos, durante el tratamiento no se desarrollan reacciones secundarias que pueden inducir variaciones de la composición química y de la estructura del cuerpo cerámico.

9.3. Materiales y métodos para el tratamiento conservador de materiales lapídeos

Las técnicas de restauración para esta clase de materiales, una vez extraídos del sitio, no difieren de aquéllas utilizadas para los hallazgos de proveniencia terrestre: la única atención que se debe tener para su conservación consiste en extraer las especies salinas que han saturado la porosidad. En el caso de hallazgos provenientes de ambientes marinos, la limpieza puede crear problemas ya sea por la presencia de esponjas adherentes a menudo intensamente coloradas ya

sea, sobre todo, por los depósitos calcáreos que a veces cubren las superficies adhiriéndose gracias a la acción corrosiva de los agresivos biológicos que las generan. En estos casos es posible adoptar una metodología no invasiva que da óptimos resultados inclusive con tiempos relativamente largos.

Las Estatuas del Lido de las Sirenas, Anzio (Roma)

En 1994 fueron recuperadas en el litoral de Anzio dos estatuas y diversos fragmentos de decoración arquitectónica de mármol fuertemente corroídos por obra de microorganismos litódomos y con frecuentes concreciones carbonáticas adherentes a las superficies. La diferente naturaleza de los mármoles (todas típicas provenientes de las canteras de Carrara, pero de color blanco – el mármol blanco de Carrara – al gris – mármol beige de Carrara- había favorecido procesos de degradación diferentes, pero causaba también un diverso impacto estético de las concreciones organogénicas. De otra parte, los hallazgos eran de grandes dimensiones y necesitaban de todas maneras un tratamiento de desalinización antes de ser iniciadas las operaciones de consolidación y de restauración estética. La solución adoptada fue la de someter cada uno de los hallazgos a una especie de lavado con agua deionizada nebulizada, recurriendo al uso de tinas pandas para los fragmentos arquitectónicos y a una instalación vertical para las estatuas. Este último estaba constituido por una tina circular de recolección y por un cilindro transparente del diámetro de cerca 100 cm. dotado en la parte superior de cinco boquillas para la vaporización del agua que eran orientados hacia las superficies de la estatua. El agua deionizada estaba dotada de un desmineralizador a intercambio iónico conectado a un recipiente de almacenamiento del cual, mediante una bomba, el agua era puesta en circulación. A la salida de la tina de recolección algunos filtros mecánicos garantizaban que las partículas sólidas fuesen bloqueadas, mientras una lámpara a emisión UV permitía la esterilización del agua de tratamiento, suficiente para impedir el desarrollo de especies biológicas.

En el curso del tratamiento se procedía, también, a la determinación del contenido de especies salinas (con particular referencia a los cloruros y a los sulfatos) para seguir en tiempo real la eficiencia de la extracción y determinar cuándo cambiar las soluciones de lavado.

El efecto de este tipo de tratamiento es doble, puesto que, aunque la extracción de sales solubles se ve de a largo tiempo siendo reducido el tiempo de contacto del agua con la masa sólida, se incrementa enormemente la velocidad de disolución de los carburantes, ya que la vaporización aumenta la superficie de contacto del agua con aire favoreciendo la disolución de CO₂ gaseoso.

La reacción de carbonatación que se activa en estas condiciones tiene una cinética acelerada y reacciona en el ámbito de la interfase de contacto con el mármol causando la separación de la concreción.

Por lo tanto, el método necesite una inversión económica muy elevada para la realización del implante, su aplicación baja el gasto compresivo de la operación ya que reduce el tiempo de empeño del restaurador garantizando, contemporáneamente, una elevada eficacia sea en la extracción de las sales, sea en la limpieza.

9.4. Materiales y métodos para el tratamiento conservativo de materiales orgánicos

Es, este un argumento de grande actualidad, pero de enorme dificultad ya que los métodos para el tratamiento conservativo de la madera arqueológica saturada de agua son múltiples y todos eficaces si son aplicados con el debido respeto a las condiciones de alteraciones del material. Como hemos dicho muchas veces, antes de escoger una metodología de tratamiento ocurre determinar el estado de alteración de los repartos y individuar los mecanismos de degrado en acto; además van tomadas en seria consideración las concretas posibilidades de actuar intervenciones de elevada tecnología, por ejemplo, la liofilización o el tratamiento con amídos que requieren maquinarias costosas y espacios adecuados.

Se prefiere por lo tanto en esta sede pasar en publicación algunos de estos métodos poniendo en relieve los aspectos destacados, preferiblemente que empezar un examen que no habría suficiente espacio para ser correctamente desarrollado.

Impregnación con melamina

Esta metodología es desarrollada en los laboratorios del museo de Mainz -Alemania (Pferdehirt 2005) y consiste en impregnar los hallazgos con una solución de resina melaminica la cual polimerización viene hecha en un adecuado reactor. Al terminar la catalización los resultados vienen sujetos a un tratamiento con microondas para obtener la mayor parte del agua retenida y finalmente secarlos en el aria hasta lograr el equilibrio termo-higrométrico con el habiente que los hospeda. Al ver los resultados obtenidos el método parece optimo: los naufragios, en efecto, son expuestos en el museo sin ninguna protección ya que la madera no es más sujeta a variaciones de volumen por absorción de agua vapor, ni puede sufrir danos en la acción de mantenimiento ordinario el cual puede ser, la cepillada para remover el polvo depositado.

En sustancia, la madera a modificado completamente su estructura y su composición volviéndose un sistema complejo en el cual la resina melaminica polimerizada (comercialmente conocida como fórmica) impone su estabilidad y inercia química a los residuos orgánicos de la madera. El método es del todo irreversible y incompatible con otros tratamientos, aunque si no modifica el volumen de la manufactura, ni su forma, siempre que el tratamiento venga realizado manteniendo los elementos en formas regidas que contengan las eventuales modifcicas legadas a la riticulacion de la resina.

Desde el punto de vista tecnológico parece claro como este método requiera sofisticados aparatos y una proyectación química de alto nivel, ya que las reacciones de polimerización generan polímeros de elevada calidad solo si son hechos en las oportunas condiciones.

Desecación con fluidos supercríticos

La ventaja innegable de este método (Festuccia 2005) reside en el hecho que la desecación del tejido orgánico puede ser hecho sin necesariamente impregnar el material con un consolidante, que es mas podría anular el buen resultado del tratamiento.

El entero proceso debe ser realizado en un reactor oportunamente dimensionado, en grado de resistir a la acción solvente del metanol y a las presiones de ejercicio CO₂ liquido (aproximadamente 40 bar). El procedimiento es la siguiente:

- Completa sustitución del agua con metanol,
- Completa sustitución del metanol con CO₂ liquido,
- Depresión del CO₂ hasta el valor de criticidad para favorecer el pasaje al estado gaseoso

Al termine del tratamiento, la estructura porosa del material es del todo libre y en grado de absorber, sin riesgo deformaciones o distribuciones diferenciales, cualquier cosa se quiera eventualmente agregar para incrementar la resistencia mecánica. Así que este es un método que en su sencillez teórica parece ser el mejor. De hecho aunque si la deshidratación mediante dióxido de carbonio ofrece ventajas notables para la total ausencia de sollicitación mecánica y de deformaciones en las varias fases del tratamiento, la eliminación del agua de la red porosa del material incrementa enormemente la fragilidad y no modifica la capacidad de intercambio termo higrométrico del tejido orgánico con el ambiente que los hospeda.

El tratamiento con una resina termoplástico reversible, por lo tanto, se vuelve casi inevitable si se quiere poder manejar el objeto sin o con reducidos riesgos

de dañarlo; además la estabilidad termo-higrométrica requiere que el hallazgo venga musealizado en un ambiente a microclima controlado, con consecuente aumento de los costos de gestión.

Impregnación con amidos

Este parece ser el método más prometedor del punto de vista de las posibilidades de desarrollo y de aplicación por que replica exactamente la estructura microscópica de la madera ayudando a la macromolecular de celulosa sobrante en la estructura de degradación con macromoléculas de amidos, la cual composición química es del todo parecida a la de la celulosa.

El método requiere una impregnación de la madera saturada de agua con mezclas de amidos con diferentes grados de polimerización y con concentraciones variables por un tiempo que depende del grado de la madera y del espesor del hallazgo. La impregnación viene realizada en un reactor con agitación continua de la solución esta concentración de amidos viene incrementada cada 4÷5 días hasta lograr un valor aproximado 30÷35%. El entero ciclo de impregnación 20÷30 días dependiendo de espesor de la madera tratada.

A este punto el hallazgo viene sujeto a un tratamiento térmico con vapor y aria a la temperatura de 130-140°C por aproximadamente 30 minutos y sucesivamente a una depresión mediante bomba vacía haciendo decrecer la temperatura del sistema de los 20-21°C iniciales aproximadamente a 1÷3°C al final del proceso. La completa deshidratación (la madera así tratada debe conservar una cantidad suficiente de agua de no modificarle los valores de equilibrio termohigrométrico con el ambiente que los hospeda) viene alcanzada después de un número de ciclos variables sobre la base de las dimensiones del hallazgo.

El resultado final es una madera de color natural, relativamente ligera y estable, que mantiene capacidad higroscópicas del todo similares a la madera fresca y que, por lo tanto, puede ser expuesta en museo aun en ausencia de climatización, también si la higroscopicidad favorece comúnmente la adherencia del polvo. Los límites son puestos de la necesidad de un implante tecnológico que, cuanto pueda ser realizado con máquinas portátiles, tiene en el reactor principal su centro neurálgico y su mismo límite: mayor son las dimensiones del hallazgo, mayor debe ser el reactor y más potentes las máquinas de servicio. No obstante, el método es potencialmente susceptible de desarrollo particular, que lo podrían volver más versátil y económico.

Desecación para la liofilización

La liofilización es ciertamente el método tecnológico de desecación aplicado desde

hace mucho tiempo para el tratamiento conservativo de los hallazgos orgánicos saturados de agua. Se basa sobre el principio físico de la sublimación del agua sólida que se hace a bajas temperaturas y a bajas presiones sin tener la transición al estado líquido. El implante tiene por lo tanto que prever un reactor en el cual ocurre el cambio de estado, un implante de refrigeración para mantener los valores de temperatura necesarios a la variación, y por último un implante de vacío para general al interno de la autoclave las condiciones de presión residuales útiles a la correcta realización del ciclo. Un implante costoso que necesita mantenimiento de alto nivel técnico y notable experiencia para la gestión.

El tratamiento provee la impregnación del material con glicolios polietilénicos de peso molecular oportuno y con concentraciones variables dependiendo del estado de alteración y de las condiciones operativas escogidas; el tiempo de impregnación, de resto varía enormemente en acuerdo con el tipo de metodología que se usa y con las dimensiones del objeto cuando la difusión del PEG es uniforme al interno de la madera, se presenta el hallazgo a un congelamiento rápido hasta -40°C en modo de congelar el agua en pequeños cristales y hacer depositar el PEG al interno de las cavidades del tejido de madera. Empieza, por lo tanto, el proceso de disminución de la presión hasta valores suficientemente bajos de permitir al hielo de pasar directamente al estado de vapor (sublimación) dejando el PEG en las posiciones obtenidas en la fase de congelamiento. El aumento gradual y lento de la temperatura facilita el proceso y consiente de llegar a una manufactura estabilizada desde el punto de vista dimensional. La higroscopicidad del sistema final, es incrementada de la presencia del PEG tanto de necesitar que la exposición sea en un ambiente climatizado.

10. EPÍLOGO

Es objetivamente difícil llegar a conclusiones sobre todo lo que se ha expuesto hasta ahora. Surge de inmediato la consideración de la necesidad de una estrecha colaboración, a lo largo de toda la obra, entre el arqueólogo y el conservador, que son las figuras clave en la proyectación y la gestión de una excavación arqueológica subacuática en todas sus etapas.

Al fin de realizar una intervención conservativa, es necesario adquirir un buen nivel de conocimiento de todos los materiales arqueológicos que se encuentran en el sitio, con particular atención hacia la tecnología de producción y hacia su estado de conservación. De hecho, sobre estos parámetros se basa la posibilidad de realizar una conservación en el mismo sitio o bien de recuperar los objetos y de someterlos al instante al tratamiento de restauración. Sin embargo, el hecho

de seleccionar las metodologías aptas a la protección del sitio y aquellas que permitan efectuar la conservación provisional de los hallazgos y su correcto almacenamiento depende del estado de degradación de los materiales, así como de las características del sitio y del medio ambiente.

Tratando el tema de la conservación en arqueología subacuática el esfuerzo mas grande ha sido proponer una visión global de las diferentes dificultades que los arqueólogos y los conservadores pueden encontrar durante la intervención. Una de las mayores dificultades ha consistido también en proponer en lo posible la máxima simplificación de los contenidos técnicos y científicos sin olvidar que la correcta interpretación científica de los mecanismos de degradación así como aquella de los procesos de conservación son la base necesaria para plantear correctamente las intervenciones. Por esta razón, y sobre todo con referencia específica a las experiencias pasadas, es necesario que la intervención subacuática se desarrolle según un proyecto global en el cual las necesidades arqueológicas y conservativas posean la misma importancia. En este sentido, las experiencias italianas desarrolladas en los últimos años del siglo pasado han demostrado que este equilibrio se puede lograr y también que es posible realizar intervenciones de elevado contenido técnico con empeño económico de bajo costo y excelentes resultados.

A lo largo de este proceso, la formación de profesionales especializados es una actividad de importancia primordial, ya que al buen éxito de la intervención arqueológica subacuática con propósitos conservativos contribuyen, como se explicó en los capítulos precedentes, diferentes profesionales. La formación en el campo es, por lo tanto, una ocasión única para conseguir que los diferentes especialistas trabajen juntos al fin de crear grupos de trabajo multidisciplinarios que pueden operar directamente en los sitios.

Desde el punto de vista de la conservación, aunque algunas intervenciones de restauración necesitan de equipos especializados, la experiencia desarrollada en Chile ha demostrado que es posible crear con bajo costo y tiempo reducido las infraestructuras necesarias para realizar en el campo, sobre los hallazgos recuperados, las primeras intervenciones conservativas que son fundamentales para garantizar la conservación futura de los mismos y también su correcto almacenamiento.

En este caso, además, los resultados conseguidos se deben a la colaboración en la fase de elaboración del proyecto formativo de los diferentes profesionales involucrados.



12

12

12

12

12

12

12

12

12



EL PATRIMONIO CULTURAL SUBACUÁTICO EN CHILE

**CLAUDIA PRADO
PAULINA ACUÑA
RODRIGO RIVEROS**

EL PATRIMONIO CULTURAL SUBACUÁTICO EN CHILE

Introducción

Las características geográficas e históricas de Chile hacen que este país sea poseedor de un valioso patrimonio subacuático, tanto de época prehispánica como histórica. Territorialmente Chile es el país más largo y angosto del mundo, y proporcionalmente es el que tiene mayores espacios marítimos, con una superficie de 4.633.615 km². Históricamente presenta una de las ocupaciones más antiguas de América, con 13.000 años de antigüedad, y evidencias del desarrollo de técnicas de navegación desde hace al menos 6000 años.

Desde el descubrimiento del Estrecho de Magallanes (1520 d.C.) por parte de europeos y hasta la construcción del Canal de Panamá (1914), Chile fue la ruta de paso obligada para las embarcaciones que se dirigían desde Europa hacia la vertiente Pacífica del continente Americano, frecuentada también por las que se dirigían a Asia. En muchas ocasiones -por motivos bélicos, climáticos o técnicos- estas embarcaciones naufragaron, formando actualmente parte del patrimonio subacuático del país.

Por otro lado, y debido a las regresiones y transgresiones marinas, y al movimiento tectónico del área, asentamientos generados en espacios litorales de data prehispánica se encuentran actualmente bajo el agua.

Destacan además sitios conformados por restos de embarcaciones indígenas al interior de lagos y ríos en el sur de Chile.

Todos estos bienes tienen la categoría de Monumento Arqueológico por el sólo ministerio de la Ley y son propiedad del Estado (Art. 21° de la Ley 17.288 de Monumentos Nacionales). Además, fueron declarados genéricamente como Monumento Histórico en 1999 a través del Decreto Exento N° 311 del 08/10/1999 del Ministerio de Educación, el cual incorpora toda traza de actividad humana existente el fondo de los ríos y lagos, de las aguas interiores y mar territorial y que tenga más de 50 años de antigüedad.

Marco Legal

El Consejo de Monumentos Nacionales es el organismo técnico del Estado de Chile encargado de la protección y tuición del patrimonio cultural y natural de carácter monumental, y por ende, del patrimonio cultural subacuático.

Fue creado en 1925 por el Decreto Ley N° 651 del 17 de Octubre de ese año. Esta normativa es la que rige hasta 1970, cuando se promulga la Ley N° 17.288

de Monumentos Nacionales que está en vigencia hasta nuestros días. Esta ley le asigna las siguientes funciones básicas:

1. Otorgar protección oficial a bienes del patrimonio cultural: declaraciones de Monumentos Nacionales por Decreto (Monumentos Históricos, Zonas Típicas y Santuarios de la Naturaleza). Implica gestión de solicitudes y pronunciamiento a Ministro de Educación.
2. Proteger y velar por la conservación de los Monumentos Nacionales que tienen por el solo ministerio de la ley protección oficial: Monumentos Arqueológicos, Monumentos Paleontológicos y Monumentos Públicos.
3. Supervisar y autorizar las intervenciones en Monumentos Nacionales: intervenciones arquitectónicas y urbanísticas, restauraciones, investigaciones en arqueología y paleontología, obras de infraestructura con incidencia en los Monumentos Nacionales, etc.
4. Elaborar proyectos y normas de intervención (Planes de Manejo, instructivos) en Monumentos Nacionales; ejecutar y/o promover la realización de labores de conservación y promoción.
5. Gestionar la adquisición por parte del Estado de los bienes que convenga que sean de su propiedad, toda vez que los Monumentos Nacionales pueden ser de propiedad pública, fiscal o privada.
6. Llevar el Registro de Museos, autorizar préstamos de colecciones que son Monumentos Nacionales, autorizar salida al extranjero de Monumentos Nacionales y de colecciones de Museos del Estado y colaborar en el combate del tráfico ilícito de los bienes culturales.
7. Participar en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental en lo relativo a patrimonio monumental. (A partir de la dictación en 1994 de la Ley N° 19.300 sobre Bases del Medio Ambiente).
8. Operar como organismo técnico encargado de los bienes culturales de la aplicación de la Convención del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural de la UNESCO (aprobada por la Conferencia General de este organismo internacional en 1972 y ratificada por Chile en 1980).

Si bien es una institución antigua, sólo en la última década se ha consolidado. Tiene presupuesto asignado y Secretaría con más de una persona sólo desde 1995 y cuenta con sede institucional sólo desde el 2003.

Su carácter es centralizado, y ha enfrentado la necesidad de tener presencia en todo el país y de desconcentrar sus funciones, a través de la creación de Comisiones Asesoras de Monumentos Nacionales, de nivel regional, provincial o comunal, sin facultades resolutivas.

El Consejo es una entidad de carácter colegiado, es decir, está integrada por representantes de organismos públicos y privados. Internamente, el Consejo funciona organizado en Comisiones Técnicas, las cuales cubren los diferentes ámbitos del patrimonio por el que debe velar este organismo. En el ámbito arqueológico –marco en el que se encuentra el patrimonio cultural subacuático (PCS)- la Ley cuenta con un Reglamento sobre Excavaciones y Prospecciones Arqueológicas, Antropológicas y Paleontológicas (1994) que regula su quehacer.

Cabe destacar que el Consejo tiene como lineamiento básico en la materia evitar el impacto en los sitios arqueológicos, privilegiando la conservación in situ del mismo. Y cualquier intervención en él requiere la autorización previa del CMN.

Para ello, se deberá presentar una solicitud, con los requerimientos establecidos en el Reglamento arriba citado, a través de un Formulario de Solicitud Arqueológica (descargable desde la página web de la institución, www.monumentos.cl).

Para el caso de una investigación arqueológica subacuática, se deberá contar además con una autorización de la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (DIRECTEMAR) de la Armada de Chile, quien norma, autoriza y fiscaliza las actividades de buceo en Chile (www.directemar.cl).

En el caso que se proyecte realizar una actividad arqueológica subacuática sin intervención –prospección, registro, filmación- se requerirá un certificado del CMN, para la tramitación de la respectiva autorización de la DIRECTEMAR.

Destacamos que gran parte de los trabajos arqueológicos que se realizan actualmente en Chile se enmarcan en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, establecido en la Ley 19.300 sobre Bases del Medio Ambiente, de 1994. El objetivo del mismo es diagnosticar el impacto que generarán determinados proyectos establecidos en la citada ley, y establecer las medidas de mitigación, compensación o reparación que correspondan.

Desde 1995 el Consejo ha debido participar como organismo con competencia ambiental en el marco del SEIA, para el componente de Monumentos Históricos y Arqueológicos, Zonas Típicas y Santuarios de la Naturaleza, en virtud de lo

establecido en los artículos 10° letra p) y 11° letra f) de la Ley 19.300, además de los artículos 11°, 75°, 76°, 77° y 78° del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA, D.S. 95/01, del MINSEGPRES), refiriéndose los últimos cuatro artículos a permisos ambientales sectoriales que le corresponde otorgar al Consejo.

En relación al PCS, a fines de la década de los noventa se buscó reforzar su protección legal, además de la categoría de Monumento Arqueológico. Esto, dado que en esa fecha prácticamente no se realizaban investigaciones arqueológicas subacuáticas en el país y tampoco existían profesionales nacionales con dicha especialidad. Por otro lado, se había detectado la existencia de buscadores de naufragios interesados en la explotación comercial de su carga, por ejemplo de cargamentos de cobre de naufragios del siglo XIX, que en el marco de otras leyes vigentes –y el desconocimiento de la ley de Monumentos Nacionales- obtenían autorización de DIRECTEMAR para su recuperación y venta. Obviamente estos trabajos se realizaban sin preocupación por la preservación o estudio de este tipo de patrimonio.

Por ello se exploró la posibilidad de dictar una ley específica para el patrimonio cultural subacuático, optándose finalmente por dictar una declaración genérica del mismo como Monumento Histórico -Decreto Exento N° 311 del 08/10/1999 del Ministerio de Educación-, abarcando el que tuviera más de 50 años de antigüedad existente en el fondo de los ríos y lagos, de las aguas interiores y mar territorial. Este trabajo se realizó en coordinación con la DIRECTEMAR, y con posterioridad a la dictación del Decreto 311 se ha actuado en función a las normativas de ambas instituciones, en lo que tiene que ver con las autorizaciones en torno a este patrimonio. En la actualidad, ya no se cursan autorizaciones para la explotación con fines netamente comerciales de estos naufragios.

Finalmente, hay que señalar que Chile no ha ratificado la Convención sobre la Protección del Patrimonio Cultural Subacuático de la UNESCO (2001). No obstante los lineamientos de esta Convención, así como los indicados en la Carta de Sofía, en cuanto a la protección y preservación del Patrimonio Cultural Subacuático, han sido la orientación que ha seguido el CMN en la última década.

Investigación en arqueología subacuática en Chile

Si bien en la década de los '80 y '90 se recuperaron materiales subacuáticos, como cargamentos de cobre de navíos del siglo XIX, y restos de una dalca² en lagos del sur de Chile, que se conservan en museos estatales chilenos, esto correspondió a recuperaciones sin fines científicos o hallazgos fortuitos.

La investigación arqueológica subacuática propiamente tal se inicia recién a

mediados de los '90, con el proyecto de investigación realizado en el pecio San Martín, en la Bahía de Mejillones, en la II Región de Antofagasta, en restos de un navío hasta esa fecha no identificado. El mismo había sido intervenido previamente por un buscador de naufragios y en él se iba a practicar, por parte de un particular, actuaciones de carácter no arqueológico con el fin de recuperar un cargamento que supuestamente debía conservarse in situ junto con gran parte de la estructura del pecio. Fue realizado por los docentes antes citados de la Universidad Internacional SEK, con la intención de realizar la documentación arqueológica de los restos, su estudio inicial y la identificación del navío citado³. Se determinó que correspondía a un navío del siglo XVIII, capaz de desplazar entre 500 y 800 T, y artillado con 60 ó 70 cañones, lo que fue corroborado por la documentación de archivo que determinó se trataba del navío de registro de nombre San Martín (alias el Félix), varado en la Bahía de Mejillones en 1759. Posterior a la dictación del Decreto 311 en 1999, se pudo frenar la intervención no científica en el navío, presentando el mismo grupo de investigadores españoles –residentes en Chile– un proyecto de continuidad de investigación en el pecio, pero que por problemas de financiamiento se ha dilatado en el tiempo.

Ya a inicios del siglo XXI se destaca el joven arqueólogo Diego Carabias, que promueve la realización de investigación subacuática complementarios a los objetivos de distintos proyectos de investigación “terrestre” o en proyectos de evaluación de impacto ambiental, para posteriormente realizar proyectos independientes. Con su quehacer en conjunto con otros investigadores, y la presentación de sus trabajos en distintos congresos e investigaciones científicas ha ayudado a posicionar la investigación arqueológica subacuática en Chile, y a fomentar la formación de otros colegas en la materia.

A continuación enumeramos los trabajos de investigación realizados por el Sr. Carabias, que prácticamente equivalen al trabajo arqueológico subacuático realizado por investigadores nacionales en el país⁴:

- **[2002 – 2005]** Proyecto FONDECYT N° 1020616. “Procesos y Orígenes del Poblamiento Marítimo de los Canales Patagónicos: Chiloé y el Núcleo Septentrional”. Prospección y sondeo arqueológicos subacuáticos en la Bahía de Ancud y Golfo de Quetalmahue, Región de los Lagos. Proyecto multidisciplinario impulsado por la Universidad de Chile.

2. Tipo de embarcación indígena, realizada en madera.

3. Pedro Pujante. Primeros resultados de una intervención subacuática en Chile: el proyecto Bahía Mejillones. En <http://www.naya.org.ar/articulos/submar05.htm>.

4. Información tomada de la página www.arkaconsultores.cl

- **[2002 – 2005]** Proyecto “Valparaíso Sumergido. Evaluación del Patrimonio Cultural Subacuático de la Bahía de Valparaíso”, proyecto interdisciplinario desarrollado por el Centro de Ciencias y Ecología Aplicada (CEA) de la Universidad del Mar en colaboración con el Groupe de Recherche en Archéologie Navale (GRAN).
- **[2004 – 2005]** Proyecto FONDECYT N° 1040326. “Dinámica Ocupacional y Ambiental de los Bosques Templados del Sur de Chile: estudio interdisciplinario de la Cuenca de Valdivia durante los períodos Arcaico y Transición Formativo”. Prospección, registro y sondeo arqueológico subacuático del sitio Dos Canoas, Lago Calafquén, Región de Los Lagos.
- **[2005]** Documentación, Análisis y Puesta en Valor de los restos de una dalca procedentes del Lago Chapo, Región de Los Lagos. Museo Juan Pablo II Puerto Montt. Proyectos FONDECYT N° 1020616 y 1040326.
- **[2006 - 2007]** Proyecto Fondecyt 1060216. “Habitando Bosques, Lagos y Volcanes: comparación de las ocupaciones Arcaico y Alfarero Temprano en los ámbitos cordilleranos Llaima-Lonquimay y Villarrica-Lanin (39°S)”. En el mismo se considera la prospección subacuática en el lago Villarrica, documentando distintos sitios sumergidos, especialmente embarcaciones indígenas, entre ellas wampos. Corresponde a un proyecto de investigación arqueológica sobre los primeros pobladores de las regiones cordilleranas, incluyendo actividades de prospección, sondeos y excavaciones, además de inspecciones subacuáticas. Esta última actividad se desarrolló a fines del año 2006 y consistió en el reconocimiento de espacios lacustres de Villarrica, Caburga, Colico y Clafquén, entre otros, con el objetivo de testear metodología aplicada y sentar bases operativas y logística para futuros trabajos de campo.
- **[2006 - 2008]** Proyecto “Wager. Enfoques Integradores en Arqueología Marítima: Prospección Arqueológica Combinada Costera y Subacuática Islas Wager – Byron, Archipiélago Guayaneco, Región de Aisén”. Proyectos DGI P13-2006, DID S-2007. Dirección Museológica, Universidad Austral de Chile; Centro de Investigación en Ecosistemas de Patagonia (CIEP); Centro de Ciencias y Ecología Aplicada (CEA), Universidad del Mar; ARKA Consultores.

En este proyecto se realizó una expedición al Golfo de Penas, zona

septentrional del archipiélago Guayaneco, con el objetivo de detectar y documentar los restos de la fragata inglesa HMS Wager, naufragada en 1742, y los sitios arqueológicos asociados en la costa de las islas Byron y Wager. En este sentido, se buscó la integración de los sitios arqueológicos localizados en tierra, como bajo el agua, que daban cuenta del contacto cultural entre los navegantes ingleses y grupos indígenas locales (Kawésqar o Alacalufes y Chonos).

Es así que se logró identificar un total de 14 sitios arqueológicos. Entre estos, podemos mencionar conchales, corrales de pesca, varaderos de canoas y una gran estructura correspondiente al casco de una embarcación, construido íntegramente de madera, probablemente correspondiente a la fragata naufragada⁵.

El PCS en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)

Un importante avance en la protección del PCS en los últimos años ha sido su paulatina incorporación en el SEIA. Esto, con el objeto de evaluar y evitar o mitigar el impacto de proyectos de infraestructura sobre el PCS.

Esto ha ido de la mano con un proceso de especialización sobre la materia por parte de los arqueólogos del CMN que evalúan proyectos con impacto sobre este componente, lo cual ha redundado en el continuo perfeccionamiento en los criterios de evaluación. Esto último ha significado un aumento en las exigencias realizadas sobre las líneas de base arqueológicas para medios subacuáticos.

Por otra parte, se ha transitado desde una actitud reactiva, en donde se aplicaban acciones de rescate en la medida que se daban los hallazgos, a otra actitud preventiva, a través de la exigencia de líneas de base arqueológicas, que permitan la detección temprana de elementos del PCS, antes de la ejecución de los proyectos. Esto a su vez, permite implementar medidas más efectivas en la mitigación de los potenciales efectos de estos proyectos sobre el PCS.

Destaca en este ámbito el descubrimiento de sitios subacuáticos de los cuales no se tenían registros sistemáticos. Un caso destacado al respecto corresponde al sitio con evidencias de fauna finipleistocénica, en el litoral de la Región de Valparaíso. En el marco del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Terminal de Gas Natural Licuado (GNL) Quinteros, cuando se realizaba la línea de base

5. Carabias, Diego 2010. Encuentro de dos Mundos. Naufragio del HMS Wager en la Patagonia.

arqueológica, se halló un yacimiento identificado preliminarmente como un conchal de origen antrópico, en el área de influencia directa del proyecto. A raíz de este hallazgo, en el año 2007, se realizó la ampliación de la línea de base, correspondiente a la caracterización del sitio por medio de pozos de sondeo.

Este yacimiento, denominado sitio GNL Quinteros 1 (GNLQ1), está ubicado en la bahía de Quinteros, aproximadamente a 13 metros de profundidad y a unos 500 metros de la costa. En él se encontraron restos de fauna continental extinta del periodo Pleistoceno depositados in situ en sedimentos terrígenos actualmente sumergidos. Existen indicadores, aún no del todo concluyentes, que plantean la posibilidad de que este conjunto de restos sea parte de un contexto del periodo Paleoindio o Arcaico Temprano, afectados por una trasgresión postglacial holocénica. (Carabias 2008:7)⁶.

Independiente de la condición arqueológica o paleontológica del yacimiento, este constituye un hallazgo de importante valor científico y patrimonial, además de estar protegido tanto por la ley de Monumentos Nacionales, como por el Decreto 311. De esta forma, y dentro del Sistema de Impacto Ambiental, este sitio prontamente deberá ser objeto de un rescate arqueológico, consistente en la excavación extensiva del mismo.

Proyectos de investigación y puesta en valor del PCS con participación del CMN

En los últimos años destacan también los siguientes trabajos realizados o en que ha participado el CMN:

Llico, VIII Región del Bío Bío: Evaluación Arqueológica Subacuática, Sitio Punta Fraile 1, Comuna de Arauco, Región del Bío Bío⁷.

La evaluación del sitio arqueológico subacuático Sitio Punta Fraile 1, en la comuna de Arauco, Región del Bío Bío, nace de la inquietud existente por el patrimonio subacuático del Sindicato de Pescadores de Llico.

En el año 2006, buzos mariscadores del sindicato identificaron restos de un cañón sumergido. Posterior a esto, se realizaron inmersiones sucesivas con el fin de relocalizar el sitio, sin embargo esto no ocurrió hasta septiembre de 2007, cuando se organizó una búsqueda colectiva organizada por el sindicato. En esta oportunidad recuperaron el citado cañón y otros artefactos no identificados, los

6. Carabias, Diego 2008. Evaluación Arqueológica Subacuática Sitio GNL Quinteros 1, Comuna de Quintero, V Región. Arka Consultores.

7. Carabias, Diego 2008. Evaluación Arqueológica Subacuática sitio "Punta Fraile 1", Comuna de Arauco, VIII Región del Bío- Bío. Arka Consultores

cuales fueron trasladados al Museo Marino de Llico.

Es en este contexto, en el que existía una comunidad preocupada de la puesta en valor del patrimonio subacuático, pero sin los conocimientos técnicos para ello, que el Consejo de Monumentos Nacionales decidió apoyarla, con el objetivo de sensibilizarla además en la protección de este tipo de patrimonio. Para ello contrató a ARKA Consultores, quien realizó una evaluación arqueológica subacuática del pecio encaminada a proporcionar antecedentes documentales del potencial Patrimonio Cultural Subacuático del área, caracterizar de forma general el pecio, adscribirlo cronológica y culturalmente, documentar y analizar los materiales descontextualizados extraídos por los buzos, proponer medidas básicas para la protección del sitio y de los materiales recuperados.

De esta forma, el yacimiento Punta Fraile 1, representa un importante precedente referido a la protección e investigación del Patrimonio Cultural Subacuático en Chile, al ser el primer trabajo de evaluación técnica de un sitio arqueológico sumergido, encargado por el Consejo de Monumentos Nacionales.

Si bien, el trabajo se origina a partir de una intervención acientífica y asistemática, en la cual se perdió parte importante del contexto arqueológico, muestra el interés de las comunidades locales por investigar y poner en valor su Patrimonio Cultural Subacuático. Interés que con apoyo institucional y profesional puede ser redireccionado logrando así una protección efectiva, conforme a la legislación existente.

Juan Fernández, Proyecto El Pecio de la Punta Lobo, Un Naufragio en la Isla de Robinson Crusoe. Fundación Archipiélago Juan Fernández y Societé d'Etude en Archéologie Subaquatique S.E.A.S.⁸

Tiene sus antecedentes en el año 1996, cuando un equipo franco-chileno decide realizar una campaña de prospección con la finalidad de elaborar una carta inventario de los yacimientos arqueológicos subacuáticos de la Bahía de Cumberland en la Isla Robinson Crusoe del Archipiélago Juan Fernández, motivados por la gran riqueza de Patrimonio Cultural Subacuático de la isla, producto de su importante rol estratégico a lo largo de la historia de la navegación en el Pacífico y los naufragios allí acaecidos.

En esta campaña se descubrió un gran navío, probablemente del siglo XVII o XVIII, a unos 27 metros de profundidad en la Bahía de Cumberland, cerca

8. Fundación Archipiélago Juan Fernández y Societé d'Etude en Archéologie Subaquatique S.E.A.S 2008. El Pecio de la Punta Lobo, Un Naufragio en la Isla Robinson Crusoe. Proyecto de Revalorización y Protección del Patrimonio Arqueológico de la Isla Robinson Crusoe.

de la Punta Lobo, al mismo tiempo que se extrajo de un ancla del yacimiento, sin la utilización de metodologías propias de la disciplina arqueológica, ni considerando la conservación del objeto extraído.

Años más tarde, la Fundación Archipiélago Juan Fernández, conscientes de la importancia de la preservación y revalorización del patrimonio cultural de la isla Robinson Crusoe, solicita a la Société d'Etude en Archéologie Subaquatique (S.E.A.S), llevar a cabo una primera evaluación y excavación del pecio de la Punta Lobo. Esta vez hay un objetivo de investigación, y utilización de metodología arqueológica y técnicas de conservación para los materiales recuperados, y se cuenta con las autorizaciones correspondientes.

De esta forma, en el año 2008 ambas entidades solicitan autorización y apoyo institucional para la realización de un proyecto de investigación del Pecio Punta Lobo al Consejo de Monumentos Nacionales, el cual acoge favorablemente la petición. Es así que se organizan las actividades de campo entre febrero y marzo de 2010, las cuales lamentablemente no pudieron ser terminadas producto del tsunami del 27 de febrero que asoló la isla, pero se espera puedan ser completadas prontamente.

Cabe destacar que la investigación científica del PCS en Chile desde sus inicios se ha planteado como una actividad interdisciplinaria, en donde, si bien las actividades han sido guiada por arqueólogos, se ha dado cabida a especialistas provenientes de la conservación, geofísica, etc.

Formación en arqueología subacuática en Chile

Contrastando con la riqueza del patrimonio cultural subacuático chileno, y lograda su protección legal explícita, su documentación, investigación y protección efectiva es mínima. Entre otras cosas se debe al escaso desarrollo de la arqueología subacuática en el país, no impartándose en este momento la especialidad en universidades chilenas, que permita contar con profesionales para efectuar investigación y catastros del patrimonio existente.

Destaca la formación prácticamente autodidacta de arqueólogos nacionales en la materia, que por su compromiso y seriedad han logrado desarrollar destacados proyectos de investigación.

Al respecto, el CMN ha propiciado y participado en iniciativas para realizar cursos de especialización en arqueología subacuática. Entre ellos destacan: Curso de Arqueología Subacuática NAS (Introducción y Nivel I), realizado el año 2008, y organizado por el Centro de Investigación Marina de Quintay (CIMARQ) de la Universidad Andrés Bello, ARKA Consultores y el CMN.

Fue certificado por la Nautical Archaeology Society (NAS) y contó con la participación arqueólogos chilenos e instructores ingleses y argentinos patrocinados por el Instituto de Antropología y Pensamiento Latinoamericano de Buenos Aires. Tuvo una duración de 3 días, para 12 personas, con una sección teórica y otra práctica, y estuvo enfocado a la capacitación de arqueólogos, para adquirir las técnicas básicas de documentación científica de evidencias arqueológicas bajo el agua.

Curso de Formación Teórico Práctico en Arqueología Subacuática y Conservación de los Materiales, realizado en Santiago, Quintay y Valparaíso entre el 23 de marzo y 8 de abril de 2009. Realizado a través del Servicio para la Cooperación del Instituto Italo Latinoamericano (IILA) y Consejo de Monumentos Nacionales, con el aporte de la Dirección General para la Cooperación al Desarrollo del Ministerio de Asuntos Exteriores de Italia, y la participación del Ministerio para los Bienes y las Actividades Culturales de Italia (MiBAC), la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de Chile, el Centro de Investigación Marítima de Quintay (CIMARQ) de la Universidad Andrés Bello, Arka Consultores y la Armada de Chile.

Contó con una sección teórica y otra práctica, con alrededor de 50 participantes en la primera y 12 en la segunda, y la participación, entre otros, de los siguientes docentes: Sr. Claudio Mochecciani Carpano, Director de la Sección Técnica para la Arqueología Subacuática (STAS) del Ministerio para los Bienes y las Actividades Culturales de Italia; Sr. Constantino Meucci, conservador, experto internacional de la UNESCO y Sr. Diego Carabias, experto en arqueología subacuática en Chile, de Arka Consultores.

En cuanto a instancias de formación en Chile, hay que mencionar también el Curso electivo de Arqueología Subacuática realizado en el Departamento de Antropología, Universidad de Chile, el año 2001, por el Sr. Carabias, que motivo el interés en la materia de jóvenes profesionales de dicha Universidad.

Cabe recordar además el Programa de Arqueología Subacuática propiciado por algunos docentes españoles en la Universidad Internacional SEK a partir de 1995 y hasta fines de la primera década del siglo XXI, pero que no tuvo continuidad en el tiempo. Destaca de esta iniciativa la formación inicial en la materia de jóvenes egresados de la carrera de arqueología de dicha casa de estudios, más que los proyectos de catastro que se intentó implementar -Sistema de Información Cartográfico de Arqueología Subacuática (SICAS) y Estudio del potencial arqueológico sumergido de la costa chilena entre los ríos Mataquito y Maule (VII Región), a través de la aplicación de sistemas de prospección geofísica- los que no llegaron a término y no tuvieron un mayor impacto en la documentación

y protección del patrimonio cultural subacuático chileno.

Por último, señalamos que el CMN, consciente de la importancia de este patrimonio, ha buscado capacitar a sus profesionales a través de la participación de los cursos del año 2008 y 2009 arriba mencionados, así como en iniciativas en el extranjero, con la finalidad de tener personal calificado en la materia.

**Curso IILA de Formación teórico práctico en Arqueología subacuática y conservación de los materiales, Santiago, Quintay y Valparaíso.
23 de marzo - 8 de abril de 2009.**



Fig. 1:
Clases de
conservación

Fig. 2-3:
Inmersiones
prácticas





Fig. 4: grupo de buzos

Problemáticas en la protección del PCS en Chile.

A partir de lo expuesto, se puede afirmar que Chile ha experimentado un lento pero sostenido crecimiento en cuanto a la protección e investigación del PCS. En ese sentido, las instancias descritas nos muestran una continua especialización en este ámbito, así como la evolución de las políticas Estatales sobre este tópico, pasando de un escenario en donde virtualmente no existía consideración sobre esta materia, a un momento actual en donde existe una serie de mecanismos legales y administrativos que favorecen su preservación e investigación. Aún así, queda mucho camino por recorrer, lo cual necesariamente pasa por dar solución a una serie de problemáticas concretas que atentan contra la integridad del PCS. Uno de estos problemas consiste en el desarrollo de obras de infraestructura sobre elementos del PCS, sin la debida supervisión arqueológica. A pesar de que en los últimos años se ha incorporado progresivamente el PCS en el SEIA, reconocemos que esto no es suficiente, debido a la falta de capacidad de fiscalización efectiva de los compromisos ambientales asumidos por los titulares sobre este tópico, así como la escasez de arqueólogos especializados en este ámbito. Otro de los problemas que hemos diagnosticado es la existencia de una cultura

del expolio entre los usuarios tradicionales del medio subacuático. Los elementos del PCS se aprecian como potenciales “souvenirs” que se encuentran disponibles para su libre recolección para aquel que lo encuentre. Su valor, en este contexto, es comprendido por su carácter de reliquia u objeto exótico, más que como medio a través del cual se puede obtener información sobre el pasado de las actividades vinculadas al mar.

Un tercer problema que hemos observado consiste en la afectación al PCS por iniciativas que, paradójicamente, buscan su protección y puesta en valor. Impulsadas por museos que buscan incrementar sus colecciones, a partir de la obtención de piezas museabilizables en la inmediatez, estas iniciativas se presentan bajo el equívoco argumento de que los elementos del PCS se encuentran en un constante peligro bajo las aguas, principalmente por factores ambientales. A partir de esto, se pretende la recuperación de estos, descartando los objetivos, métodos y técnicas de la arqueología y la conservación de materiales.

Finalmente, una de las mayores amenazas que pesan sobre el PCS consiste en la actividad de los cazatesoros; a menudo estos se presentan a la opinión pública como promovedores del conocimiento y apreciación del PCS, generando de esta forma una errada noción sobre la real protección del PCS entre el público no especializado.

En general, podemos indicar que un factor común que comparten estas problemáticas consiste en el desconocimiento que existe entre el público no especializado sobre la fragilidad del PCS y su necesaria vinculación con la arqueología y la conservación de materiales, entre otras disciplinas. Influidos por los medios de comunicación masiva y el manejo mediático de los pseudoinvestigadores, el PCS es comprendido por el público general como una fuente de recursos económicos que se encuentran a disposición del que lo descubra; cuando se manifiesta un interés patrimonial, este solo se enfoca en la exhibición de objetos exóticos o reliquias y no como un medio a través del cual el arqueólogo puede reconstruir el pasado de las sociedades que los originaron. Esta situación no es menor, puesto que cuando desde el CMN se rechazan las iniciativas antes descritas, se genera una errada idea en la comunidad de que se están poniendo trabas en la protección del PCS. Esto nos plantea la urgente necesidad de difundir entre el público no especializado la importancia de la investigación científica del PCS, así como los resultados que esta genera en cuanto a la efectiva protección y puesta en valor de este patrimonio.

Conclusiones

Chile en las últimas décadas ha experimentado un significativo crecimiento en cuanto a la investigación y protección del PCS. Esto ha ido de la mano del surgimiento de una conciencia tanto en el sector público como el privado que reconoce la importancia de este patrimonio así como su necesaria vinculación con la arqueología y la conservación de materiales.

Aun así, persisten una serie de problemáticas, lo cual a su vez nos plantea una serie de desafíos a futuro:

1. Desarrollo de catastros de sitios arqueológicos. Esto nos permitirá generar planes de gestión efectiva para la protección del PCS.
2. Estimular la formación de arqueólogos, conservadores, etc. especializados en la materia, que puedan hacerse a cargo de la investigación así como de las demandas surgidas desde el SEIA.
3. Estimular las iniciativas de investigación científica, bajo la premisa que solo conociendo este patrimonio, podrá ser protegido en forma efectiva.
4. Finalmente, difundir entre la población no especializada la importancia del PCS, la necesidad de investigarlo científicamente y los resultados de estas actividades.

Estas tareas obviamente no pueden ser asumidas solo por el CMN. Al respecto, es necesario estimular la participación de las diversas instituciones que convergen en el medio subacuático, ya sea del sector público como privado, de tal manera que podamos lograr una efectiva protección y puesta en valor del PCS chileno.

BIBLIOGRAFÍA

ARQUEOLOGÍA EN AGUA

AMM. MARC.

ARISTOT., *Part. an.*, II, 16

ARISTOT., *Pr.*, XXXII, 3; XXXII, 5; XXXII, 11

PROTOP., *Bell. Goth.*, IV, 22, 8

CIC., *Acad.*, II

FEST.

HOR., *Sat.*, I, V, 1-26

LIV., III, 26., VIII, 14,12; XLIV, 10, 3

HOM., *Il.*, XII, 385; XVI, 750

HOM., *Od.*, XII, 913

PAUS., X, 19, 1

PROP., IV, 9,5

SUET., *Aug.*, 379

TIB., II, 5, 33

THUC., VII, 25

VARRO, *Ling. lat.*, V, 43; V, 126; VI, 19

CIL, VI, 1872; VI, 9801; XIV, 409 y 451

Le Gall J., *Le Tibre, fleuve de Rome dans l'antiquité*, Paris 1953

Rodríguez Almeida E., *Il Monte Testaccio: ambiente, storia, materiali*, Roma 1984

CONSERVACIÓN

Alessio A., Calia A., Giannotta M.T., Quarta G. (2002), Ancient coastal quarries of southeastern of Taranto: identification and initial analyses of the characteristics peculiar to the lithotypes, en ASMOSIA 6th Proceeding of the Sixth International Conference, Venice June 15-18, 2000, Padova, pp.279-284

AA.VV. (1986), *Il Museo archeologico di Marsala 'Baglio Anselmi'*, Palermo.

Africano E. & Casagrande A. (2003), *Problemi conservativi di manufatti ceramici provenienti da scavo subacqueo marino*, Tesi di Diploma 53° Corso, ICR, Roma, 175 p.

Basilissi W., Ferradini A., Giglio A., Mancinelli R. (2004), *Il restauro di elmi di ferro provenienti da uno scavo subacqueo presso Torre Santa Sabina (Brindisi)*, in: R. Petriaggi (ed.), *Archaeologia Maritima Mediterranea. An International Journal on Underwater Archaeology*. Volume 1, pp. 157-169

Bass G.F. (1987), *Splendors of the Bronze Age*, National Geographic, vol. 172, N° 6, December 1987, pp. 692-733.

Berti F. (1990), *Fortuna Maris. La nave romana di Comacchio*, Bologna 1990.

Bingeman J.M, Bethell J.P, Goodwin P., Mack A.T. (2000), *Copper and other sheathing in the*

- Royal Navy, *IJNA*, 29.2: 218-229.
- Bonaiuti R. (2000), *Tecniche di restauro applicate allo scavo subacqueo*, L'Archeologo subacqueo, Anno VI, 1 (16).
- Bonaiuti R. (2008), *Prove di impregnazione subacquea su un manufatto ligneo*, in: www.cantiere-napipisa.it/Pubblicazioni_Gradus 2008.
- Bottini P., Freschi A., De Magistris E. (1984), *Archeologia subacquea a Maratea*. Catalogo della mostra, Maratea.
- Clarke R.W. & Blackshaw S.M. (1982), (Eds) *Conservation of Iron*, Maritime Monographs and Reports, 53, 73 p.
- Colombini M.P., Giachi G., Modugno F., Pallecchi P., Ribechini E. (2002), *Caratterizzazione della pittura e del materiale impermeabile delle navi rinvenute nel porto antico di San Rossore (Pisa)*, in: Camilli A., (a cura di), *Cantiere delle navi di Pisa, La nave C "Giuditta" dallo scavo al laboratorio*, Firenze, pp. 24-25.
- Consorzio Aretè (1995), *Relazione tecnica sulle prove di consolidamento di alcuni campioni lignei bagnati provenienti dall'Isolino Virginia nel Lago di Varese (Biandronno)*, Ia Parte, Archivio ICR.
- Consorzio Aretè (1996), *Relazione tecnica sulle prove di consolidamento di alcuni campioni lignei bagnati provenienti dall'Isolino Virginia nel Lago di Varese (Biandronno)*, Ila Parte, Archivio ICR.
- D'Atri V., Gianfrotta P.A. (1987), *Un relitto con dolia a Ladispoli*. Campagne di scavo 1983-1984, in *Archeologia subacquea* 3, BdA, Suppl. al n. 37-37, pp. 203-208.
- D'Ercoli G., Marabelli M., Santin V. (2005), *Control electroquímico de la corrosión del Sático danzante de Mazara del Vallo*, en: R. Petriaggi (Ed.), *Il satiro danzante di Mazara del Vallo*, Actas de la Convención, Roma 3-4 junio 2003, Nápoles, pp. 63-76.
- Di Stefano C.A. (1984), (a cura di), *Lilibeo*. Testimonianze archeologiche dal IV sec. A.C. al V sec. D.C., Chiesa del Collegio, 3 dicembre 1984, Palermo.
- D'Urbano S., Meucci C., Nugari M.P., Priori G.F. (1989), *Valutazione del degrado biologico e chimico di legni archeologici in ambiente marino*, in G. Tampone (a cura di), *Il restauro del legno*, Vol. I, Firenze, pp. 79-84.
- Ferroni A.M. & Meucci C. (1996), *I due relitti arabo-normanni di Marsala*, *Bollettino di Archeologia Subacquea*, 1-2, pp. 283-350.
- Festuccia A. (2005), *Conservazione di reperti archeologici lignei ed organici con tecnologia a fluidi supercritici*, *Atti del Seminario Internazionale: "Restauro e conservazione dei legni provenienti da antichi relitti. Esperienze a confronto"*, Scuola Normale Superiore, Pisa 30 giugno – 1 luglio 2001, in: *Science and Technology for Cultural Heritage*, 14, pp.69-73.
- Frost H. (1981), *Lilybaeum*, *Atti Accademia Nazionale dei Lincei*, Supplemento al Vol. XXX, 1976, Roma.
- Gianfrotta GP, & Pomey P. (1980), *Archeologia subacquea*, Milano, pp. 210-227.
- Goffer Z. (1980), *Archaeological Chemistry*, New York, pp. 137-162.
- Guidobaldi F., Mattias P., Meucci C. (1982), *Alterazione di malte pozzolaniche in strutture laterizie romane a contatto con acqua di scorrimento*, in: *Il mattone di Venezia*, *Contributi presentati al 'Concorso di idee su patologia, diagnosi e terapia del mattone di Venezia'*, Venezia, pp. 293-310.
- Jespersen K. (1986), *Extended storage of waterlogged wood, when excavated and in situ*, *Proceedings of the Conference "Preventive measures during excavation and site protection"*, Ghent 6-8 November 1985, ICCROM, Roma, pp. 147-154.
- Hoffmann, P. (1984), *On the stabilization of waterlogged oakwood with PEG*. Molecular size versus degree of degradation, *Proceedings of the 2nd ICOM Waterlogged Wood Working Group Conference*, Grenoble 28-31 August 1984, pp. 95-115.

- Le Gall J. (2005), *Il Tevere. Fiume di Roma nell'Antichità*, (por: C. Mocchegiani Carpano & G. Pisani Sartori), Roma.
- MacLeod I.D., North N.A., Beegle C.J. (1986), The excavation, analysis and conservation of shipwreck sites, Proceedings of the Conference "Preventive measures during excavation and site protection", Ghent 6-8 November 1985, ICCROM, Roma, pp. 113-132.
- Mafferi C. (2000), Studio sedimentologico e stratigrafico degli strati di ricopertura del sito archeologico sommerso denominato "Relitto delle Antefisse" di Cala Sinzias – Castiadas (Cagliari), Tesi di laurea in Scienze geologiche, a.a. 1999-2000.
- Magrelli B. & Meucci C. (2000), (a cura di), *Degrado e conservazione dei materiali lapidei*, Edilroma Service, Roma, 239 p.
- Maioli M.G., S. Medas (2001), Il relitto tardo-romano del Parco di Teodorico, Navis, 2, pp. 105-135.
- Maniscalco F. (1992), *Archeologia subacquea*, Napoli, pp. 75-85.
- Melucco A. (2000), *Archeologia e restauro*, Roma, pp. 245-259.
- Meucci C. (1986), Le bateau arabe-normand de Marsala. La protection in situ, Proceedings of the Conference "Preventive measures during excavation and site protection", Ghent 6-8 November 1985, ICCROM, Roma, pp. 155-158.
- Meucci C. (1990), Tecniche di estrazione di sali solubili da manufatti ceramici in funzione del loro consolidamento, AGU, 3, pp. 20-24.
- Meucci C. (1992), Allestimento di un laboratorio di restauro per la realizzazione di procedure di pronto intervento e immagazzinamento di bronzi archeologici da ambiente marino a Brindisi, Archivio ICR.
- Meucci C. (1993), Il relitto di Torre Flavia a Ladispoli, Bollettino di Archeologia Subacquea, Numero 0, pp. 17-61.
- Meucci C. (1993), Relitti subacquei e conservazione: dallo scavo al progetto di restauro, in: Masetti Bitelli L. (a cura di), *Archeologia. Recupero e conservazione*, Firenze, pp. 51-73.
- Meucci C. (1998), (a cura di), *Il relitto dell'Isola di Figarolo, Rapporto dell'attività di formazione del Corso per Operatori di restauro subacqueo*, Legge 84/90 lett. C, Consorzio ISI, Roma-Sardegna 1994, in stampa.
- Meucci C. (2000), *Archeologia subacquea. Dal recupero all'esposizione*, in: *Enciclopedia Archeologica*, Roma.
- Meucci C. (2005), Recupero e trattamento conservativo di relitti con il metodo a 'guscio chiuso', *Science and Technology for Cultural Heritage*, 14 (1-2), pp. 55-67.
- Meucci C. (2005), Studio sullo stato di conservazione di manufatti lignei palafitticoli del Lago di Varese, Roma, 34 pag., Archivio Soprintendenza archeologica della Lombardia.
- Meucci C. (2008), L'impatto antropico nella Grotta della Bàsura (Toirano – Italia), en: Toirano e la Grotta della Bàsura. Actas de la Conferencia, Bordighera, pp. 121-126.
- MEUCCI C., D'URBANO S., CAMPANELLA L., TOMASSETTI M. (1989), Una procedura analitica semplificata per la caratterizzazione dei legni archeologici e del loro degrado, in: TAM-PONE G. (ed), *Il restauro del legno*, I, Firenze, pp. 71-78.
- Meucci, C., Pagano, M., Bertocchi, A., Cami, R., Procaccio, A., Indirli, M., Forni, M., Clemente, P., Paciello, A., Ahmadi, H., Fuller, K. (2001), The use of an Innovative 3D-Isolation System for Seismic and Ambient Vibration to Protect the Roman Ship Excavated at Ercolano, Proceedings of the 7th International Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control of Vibration of Structures, Assisi October 2-5, cds.

- Mocchegiani Carpano C. (1986), *Archeologia subacquea. Note di viaggio nell'Italia sommersa*, Roma, p. 130.
- Monna D., Pensabene P., Sodini J.P. (1985), *L'identification des marbres: sa nécessité, ses méthodes, ses limites*, in: *Marmi antichi*, por: P. Pensabene, Roma, pp. 15-30.
- Newton R. & Davison S. (1989), *Conservation of Glass*, Butterworths, London.
- North N.A. & MacLeod I.D. (1987), *Corrosion of metal*, in: Pearson C. (Ed.), *Conservation of Marine Archaeological Objects*, Butterworths, London.
- North N. A., Pearson C. (1975), *Alkaline Sulphite Reduction Treatment of Marine Iron*, Preprints, ICOM Committee for Conservation, 4th Triennial Meeting, Venice, March 13. ICOM, Paris pp. 68-98.
- Pallarès F. (1983), *La nave romana di Diano Marina – S. Bartolomeo al mare, Navigia fundo emergunt*, Genova, pp. 69-81.
- Pallarès F. (1987), *Il relitto della nave romana di Spargi*, *Archeologia subacquea* 3, *Supplemento al Bollettino d'Arte*, 37-38, pp. 89-102.
- Pearson C. (1975), *On site conservation requirements for Marine Archaeology*, in: ICOM, Venezia.
- Pearson C. (1987), *Conservation of Marine Archaeological Objects*, Butterworths, London, pp. 263-266.
- ibidem, p. 113.
- Perini R. (1971), *Una nuova palafitta a Fivè - Carera (Trentino - Giudicarie Esteriori)*, *Preistoria Alpina*, vol. 7, pp. 283-322.
- Perini R. (1983), *Sulle Tracce delle Genti Giudicariesi*, in *Beni Culturali del Trentino*, n.3.
- Perini R. (1986), *Gli scavi nel Lavagnone. Sequenza e tipologia degli abitati dell'Età del bronzo*, *Atti XI Convegno archeologico benacense, Cavriana 17-19 ottobre 1986*, *Annali Benacensi*, n. 9, 1988, pp. 109-153.
- Perini R. (Ed.) (1987), *Scavi archeologici nella zona palafitticola di Fivè-Carera. Resti della cultura materiale: metallo, osso, litica, legno, Parte II Campagne 1969-1976*, Trento.
- Petriaggi R. (1996), *Un nuovo metodo di copertura per il relitto di Montalto di Castro*, *Atti 1° Convegno di archeologia subacquea A.I.A.Sub, Anzio 30 maggio-1 giugno 1996*, *L'Archeologo subacqueo*, set-dic 1996 – gen-apr 1997.
- Petriaggi R. & Mancinelli R. (2004), *An experimental conservation treatment on the mosaic floor and perimeter walls of room N. 1 of the so-called «Villa con ingresso a protiro» in the underwater archaeological Park of Baia (Naples)*, *Archeologia Maritima Mediterranea*, 1, pp. 109-126.
- Pferdehirt B. (2005), *From site to exhibition. Recovery, conservation and restauration of two Roman warships*, *Atti del Seminario Internazionale: «Restauro e conservazione dei legni provenienti da antichi relitti. Esperienze a confronto»*, Scuola Normale Superiore, Pisa 30 giugno – 1 luglio 2001, in: *Science and Technology for Cultural Heritage*, 14, pp. 31-38.
- Purpura G. (1985), *Un relitto di età normanna a Marsala*, *Archeologia subacquea* 2, *Supplemento al Bollettino d'Arte*, 29, pp. 129-136.
- Reindell I., Santarelli M.L., Tei G. (2007), *L'intervento per la conservazione della piroga monosile del lago di Bolsena*, *Atti del V Congresso Nazionale IGIIC Lo stato dell'arte* 5, Cremona, 11-13 ottobre 2007, Nardini Editore, Firenze, pp.343-350.
- Riccardi E. (1988), *Tecniche di lavoro subacqueo per l'archeologia. Mare ed Ipogei*, Savona, pp.47-54.
- Ricci S., Bartolini M (2005), *El biodeterioro del Sático*, in: R. Petriaggi (Ed.), *Il satiro danzante di Mazara del Vallo*, *Actas de la Convención*, Roma 3-4 junio 2003, Nápoles, pp. 49-57.

- Ricci S., Priori G.F., Bartolini M. (2007), Bioerosione di pavimentazioni musive sommerse ad opera della spugna endolitica 'Cliona Celata', *Bollettino ICR Nuova serie*, 15, pp. 7-18.
- Salvi D. (1994), Antefisse fittili da un relitto nelle acque di Cala Sinzias, Castiadas, *Quaderni della Soprintendenza archeologica di Cagliari e Oristano*, n. 11, pp. 263-271.
- Salvi D. (2005), Il relitto dell'Isola dei Cavoli. Spade e cannoni, *Convegno internazionale di studi "Contra Moros y Turcos. Politiche e sistemi di difesa degli Statimediterranei della Corona di Spagna in Età Moderna"*, 20 - 24/09/2005 - Villasimius, S.Maria Navarrese (Baunei).
- Scrinarì V.S.M. (1979), *Le navi del Porto di Claudio*, Roma.
- Staffà A.R., Pellegrini W. (Eds) (1993), *Dall'Egitto copto all'Abruzzo bizantino*, Teramo.
- Studio Artea (1993), *Bronzi di Punta del Serrone (Brindisi)*, Roma, *Archivio ICR*.
- Throckmorton P. (1988), *Atlante di archeologia subacquea*, Novara, pp. 88-90.
- Ibidem, pp. 32-36.
- Ucelli G., (1983), *Le navi di Nemi*, Roma.
- Zarattini A. (1996), Tutela e interventi lungo la costa laziale, *Atti 1° Convegno di archeologia subacquea A.I.A.Sub, Anzio 30 maggio-1 giugno 1996, L'Archeologo subacqueo, set-dic 1996 - gen-apr 1997*.

ARQUEOLOGÍA SUBACUÁTICA

- Bass G.F. (ed), *Navi e civiltà. Archeologia marina*, Milano, 1974.
- Casson L., *Navi e marinai dell'antichità*, Milano, 1976.
- Childe V.G., *Piecing together the Past*, London, 1956.
- Ciabatti E., *L'archeologo subacqueo*, Pisa, 1984.
- Digby A., *Barche e navi*, in: Singer (ed), *Storia della tecnologia*, I, Torino, 1961, 742-756.
- Ferroni A.M., Meucci C., *I due relitti arabo-normanni di Marsala*, *Boll. Arch. Subacquea*, 1-2, 1996, 282-350.
- Geominy W., *Il relitto di Mahdia*, *Archeo*, X, 1, 49-57.
- Gianfrotta P.A., *Ancore Romane. Nuove materiali per lo studio dei traffici marittimi, Roman Seaborne Commerce, Memoirs of the American Academy in Rome*, XXXVI, s.d., pp.103-116.
- Lamberti A., Lo Schiavo F., Pallares F., Riccardi E., *Lo scavo del laghetto interno della grotta verde di Alghero (Campagna 1979)*, *Rivista di studi Liguri*, LI, 4, 1985, 543-552.
- Riccardi E., *An obsidian core recovered from the waters off Capraia, Tuscany*, *I.J.N.A.*, 21, 3, 1992, 271-272.
- Riccardi E., *Tecniche di lavoro subacqueo per l'archeologia. Mare ed Ipogei*, Savona, 1988.
- Riccardi E., *Urinatores*, *Archeologia Viva*, V, 1/2, 1986, 41-46.
- Riccardi E., *Ustica underwater archaeology itinerary*, *Nautical Archaeology*, 1994, 8.
- Salviat F., *Sources litteraires et construction navale antique*, *Archaeonautica*, 2, 1978, 253-266.
- Throckmorton P., *Atlante di archeologia subacquea*, Novara, 1987.

ARQUITECTURA NAVAL

- Ferroni A.M., Meucci C., *Prime osservazioni sulla barca di Ercolano: il recupero e la costruzione navale*, in: Tamponè G. (ed), *Il restauro del legno*, I, Firenze, 1989, 105-112.
- Galeotti A., *L'épave nord de l'île Sainte-Marguerite*, *Cahiers d'Archéologie Subaquatique*, V, 1976, 131-138.
- Riccardi E., *L'ultimo fassone*, *Archeologia Viva*, V, 7/8, 1986, 73-74.

- Steffy J.R., *Wooden Ship Building and the Interpretation of Shipwrecks*, Los Angeles, 1993.
- Villié P., *L'épave Calvi 1*, *Cahiers d'Archéologie Subaquatique*, VIII, 1990, 19-56.
- Villié P., *La Rondinara, Epave d'un caboteur du XVI/XVII siècle*, *Cahiers d'Archéologie Subaquatique*, VII, 1988, 137-158.

CERÁMICAS

- EAA Atl. I, *Enciclopedia dell'Arte Antica Classica e Orientale, Atlante delle Forme Ceramiche, Vol. I, Ceramica fine romana nel bacino mediterraneo (medio e tardo impero)*, Roma, 1981.
- Hayes J.W., *Late Roman Pottery*, London 1972.
- Meucci C., *Tecniche di estrazione di sali solubili da manufatti ceramici in funzione del loro consolidamento*, *Acta Geoarcheologica Urbica*, I, 3, 1990, 20-24.
- Skeay J., *Late Roman Amphorae in the Western Mediterranean, A typology and economic study: the Catalan evidence*, *BAR International Series 196 (i)*, Oxford 1984.

CONSERVACIÓN

- Barbour R.J., Rowell R.M. (eds), *Archaeological Wood. Properties, Chemistry, and Preservation*, Washington, 1990.
- Leskard M., *The packing and transportation of marine archaeological objects*.
- MacLeod I.D. (ed), *Conservation of Wet Wood and Metal*, Perth, 1989.
- Melucco Vaccaro A., *Archéologie de fouille et conservation: limites et domaine d'intervention respectivement de l'archéologue et du restaurateur*, in: *Preventive measures during excavation and site protection*, ICCROM, Roma, 1986, 1-12.
- Meucci C., *Alcuni criteri per la definizione degli interventi conservativi su reperti archeologici subacquei*, *Relazione tenuta al Convegno di Archeologia subacquea, Favignana*, 1984.
- Meucci C., *Il relitto di Torre Flavia a Ladispoli*, *Boll.Archeologia Subacquea*, 0, 1993, 17-61.
- Meucci C., *Le bateau arabe-normand de Marsala. La protection in situ*, in: *Preventive measures during excavation and site protection*, ICCROM, Roma, 1986, 155-158.
- Meucci C., *Primo intervento di recupero e consolidamento di metalli, vasellame, materiale vegetale e materiale lapideo*, *Dispense per il 1° Corso di formazione di O.T.A.S., Ministero Beni Culturali ed Ambientali*, Roma, 1981.
- Meucci C., *Relitti subacquei e conservazione: dallo scavo al progetto di restauro*, in: *Masetti Bitelli L. (ed), Archeologia. Recupero e conservazione*, Firenze, 1993, 51-73.
- Pearson C., *Conservation of Marine Archaeological Objects*, London, 1987.

MADERA

- D'Urbano S., Meucci C., Nugari M.P., Priori G.F., *Valutazione del degrado biologico e chimico dei legni archeologici in ambiente marino*, in: *Tampone G. (ed), Il restauro del legno*, I, Firenze, 1989, 79-84.
- Felici I., *Legno bagnato*, *Materiale didattico dell'Istituto Centrale per il restauro*, dattiloscritto, Roma, 1975.
- Feroli E., *Atlante degli alberi d'Italia*, Como, 1988, 110-111.
- Giordano G., *Tecnologia del legno*, Vol. I, Torino, 1971, 234-235.
- Grattan D.W., *A Practical Comparative Study of Several Treatments for Waterlogged Wood*, *Studies in Conservation*, 27, 1980, 124-136.
- Higuchi T. (ed), *Biosynthesis and Biodegradation of Wood Components*, Orlando, 1985.
- Hoffman P., Jones M.A., *Structure and degradation process for waterlogged archaeological wood*,

American Chemical Society, 11, 1982, 35-65.
Meucci C., Prendere o lasciare, *Archeologia Viva*, 10, 1984, 28-38
Vannelli S., *Grandi alberi in Sardegna*, Cagliari, 1989.

METALES

Clarke R.W., Blackshaw S.M., *Conservation of Iron*, Maritime Monographs and reports, 53, 1982.
Fiorentino P., Marabelli M., Micheli M., Indagini e interventi di conservazione sui reperti bronzei di Porticello, *Bollettino d'Arte*, 24, 1984, 15-24.
Guida G., Marabelli M., Lo studio metallografico di fibule degli scavi di Osteria dell' Osa, in: Bietti Sestieri A.M. (ed), *La necropoli laziale di Osteria dell' Osa*, Roma, 1987, 479-486.
Guida G., Marabelli M., Reindell I., Restoration and storage of lead artifacts, *Restaurator*, 4, 1980, 227-237.
Lacoudre N., *Electricité et archéologie*, Paris, 1991.
Leoni M., *La corrosione dei metalli. Cause ed aspetti strutturali dei fenomeni corrosivi*, Scuola di perfezionamento per lo studio ed il restauro dei monumenti, dattiloscritto, 1984.
Marabelli M., Medori M., Il metodo delle "eddy currents" per l'esame strutturale dei monumenti in bronzo, *Materiali e strutture*, 1989, 111-120.

MICROBIOLOGIA

Blanchette, Nilsson T., Daniel G., Abad A., Biological degradation of wood, *American Chemical Society*, 11, 1988, 141-174.

RELIEVE

Buzzanca G., Meucci C., Le navi virtuali. Il disegno assistito da tecniche informatiche nella restituzione grafica di relitti di imbarcazioni antiche, in: *IcoGraphics93*, Atti dell'8° Convegno internazionale e mostra sulle applicazioni della computer graphics, Milano, 1993, 77-83.
Buzzanca G., "Il progetto del rilievo" e "Il cantiere del restauro", in: Giorgi E. (ed), *La documentazione grafica nel restauro*, ICCROM, Roma, in corso di stampa.
Cairolì Giuliani F., *Archeologia. Documentazione grafica*, Roma, 1986, 15-17.
Borrelli E., Giorgi E., Navigating through the information, Relazione presentata al Convegno "Imaging the past, Electronic Imaging and Computer Graphics in Museum and Archeology", British Museum, London 3-5 novembre 1994, in stampa.
Nickerson S., Cadd/Database Integration for field use (a poor-man's GIS), Relazione presentata nel "XXVII Annual Meeting of the Canadian Archaeological Association", Edmonton, Alberta 4-8 mag 1994, in stampa.
Tornisiello F., *Simulazione e seduzione*, *Archimedia*, 5, 1994, 35-37.
Visintini C., Metodologie della rappresentazione nell'architettura delle navi dall'antichità al XVII secolo, *Disegnare*, 2, 1991, 5-13.

CUADERNOS IILA – SERIE COOPERACIÓN

1. Curso Internacional Post-universitario de Desarrollo y Gestión de Cuencas Hidrográficas. Ciclo Trienal 1987-1988 - 1989. Informe Final. Roma 1989.
2. PAVAN, M. Trastorno ecológico, hambre e inseguridad en el mundo. Quito, 1991.
3. Curso de formación sobre las tecnologías empleadas en la elaboración y acabado de joyas. Cuenca, 1995.
4. Caracas: Memorias para el futuro. Tivoli, 1995.
5. Centro Piloto de Agrozootecnia, Escuela Agrícola de Itapaya de la Ciudad de los Niños. Cochabamba, 1995.
6. Atti del Corso Sviluppo e Gestione dei Bacini Idrografici. Documentos del Curso Desarrollo y Gestión de Cuencas Hidrográficas. Roma, 1996.
7. Curso de formación sobre las tecnologías empleadas en la elaboración y acabado de objetos de piel. Cuenca, 1996.
8. Nove Lezioni: Roma, “le capitali” nel nuovo ruolo metropolitano. Istituto Italo-Latino Americano “Progetto Italia” - Università degli Studi di Roma “La Sapienza”, Scuola di Specializzazione in Tecniche Urbanistiche per le Aree Metropolitane. Roma 1997.
9. BALDESCHI, L.; TORAL A., L. Guía Metodológica de Marketing para Empresas Artesanas. Roma, 1999.
10. SORIA, S.; SALICE, G.; AVENDAÑO, F., Guía Práctica de Sericultura. Roma, 2001.
11. BALDESCHI, L. y OTROS, Guía Metodológica para la Gestión de las Pequeñas Empresas y de las Empresas Artesanas en América Latina. Roma, 2001.
12. Atti delle Giornate di Studio “Analisi del rischio idrogeologico e misure di prevenzione dei rischi naturali in America Latina” - Actas de las Jornadas de Estudio “Análisis del riesgo hidrogeológico y medidas de prevención de los riesgos naturales en America Latina” Roma, 2002.
13. Curso de capacitación y transferencia de tecnología para la conservación de edificios de valor histórico - monumental. Roma, 2003.
14. Forum sobre “La seda en los Países de la comunidad andina”. Roma, 2003
15. CURZEL, N. La Finca Integral Conservacionista: una Experiencia en Costa Rica. Roma 2003.
16. CECCARELLI, P; AVE, G.; BERVEJILLO, F., Estudio de prefactibilidad para la revitalización de la Ciudad Vieja y del Centro de Montevideo. Roma, 2003.
17. Curso de Conservação, Gestão e Valorização dos Bens Culturais, Ouro Preto - Brasil (Janeiro/Março 2002). Roma, 2003.
18. Curso de Aperfeiçoamento Restauo de Madeira Entalhada e Douramento, Belo Horizonte - Brasil (Outubro 2001 - Março 2002). Roma, 2003.
19. Curso de Restauração da Cerâmica Histórica, Artística e Arqueológica, Salvador da Bahia - Brasil (Agosto - Outubro 2002), Roma, 2003.
20. Forum Internacional: La rivitalización urbana en America Latina y Europa. El caso de Montevideo - Montevideo, 10-12 de Diciembre de 2002. Atti (Roma, octubre 2003).
21. Curso y Mesa Redonda: ConservaciOn, GestioN y valorizaciOn de los bienes culturales en Uruguay, en el Mercosur y en Chile. (Montevideo: 16 de Setiembre - 16 de Octubre de 2002) - Volumen I “El Curso” - Volumen II “La Mesa Redonda” - Roma, octubre 2003.
22. AMATO, P. Proyectar un Museo.Nociones fundamentales, Montevideo (7-16 de abril de 2003). Roma, 2004.
23. CRETARA, L. y OTROS. Breve Manual sobre las técnicas del modelado en cera, repujado, cincelado, fundición y esmaltado. Roma, 2004.
24. CECILIA SANTINELLI - La Madera: historia de un trayecto artesanal entre Europa y Uruguay. Curso Regional de Formación para Restauración de La Madera; Montevideo, Uruguay: 16 de agosto - 5 de noviembre de 2004. Roma 2005.
25. IL PATRIMONIO CULTURALE: RISORSA DI SVILUPPO ED INCONTRO DEI POPOLI ATTRAVERSO CONOSCENZA TUTELA E COMUNICAZIONE. Nell’ambito delle “Giornate per la Cooperazione Italiana” organizzate dalla Direzione Generale per la Cooperazione alla Sviluppo del Ministero degli Affari Esteri. Roma 2005.

26. Patrimonio Cultural en los Países andinos: perspectivas a nivel regional y de cooperación. Encuentro entre la cultura de los Países andinos y la tradición humanista italiana. Actas. Cartagena de Indias, 26 - 27 - 28 de abril de 2005, Roma 2005.
27. La ciudad histórica como oportunidad. Recuperación urbana y nuevos modelos de desarrollo en América Latina - Paolo Ceccarelli, Emanuela De Menna, Compiladores - Roma 2006.
28. ESCOLA - OBRA, MOINHO "COLOGNESE" DE ILOPOLIS, por Cecilia Santinelli - Curso de Artesanato e Restauro da Madeira; Curso de Gestão e Valorização do Patrimônio Cultural da Imigração Italiana. Ilópolis, 18 de Abril - 30 de Setembro de 2005 - Roma 2006.
29. A CERÂMICA GUARANI E GUARANI MISSIONEIRA, aos cuidados de Cecilia Santinelli – Curso de Restauração da cerâmica sul-americana São Miguel das Missões - RS Brasil - 27 de Junho - 23 de Setembro de 2005 - Roma 2006.
30. Curso de Especialización sobre la Restauración del Vidrio. Teoría de la Restauración. La Habana, Cuba 27 de Junio - 1 de Julio de 2005 - Roma 2006.
31. UNIVERSITÀ ITALIANE IN VENEZUELA, Caracas, 28 e 29 novembre 2005.
32. LA CULTURA MATERIAL DE LOS AYOREO Y EL ARTE RUPESTRE DE BOLIVIA Y PARAGUAY, de Gabriella Enrica Pia - Curso de capacitación de catalogadores de bienes demo etno antropológicos en Paraguay y Bolivia 2004 - 2005. Asunción 2006.
33. CURSO DE APERFEIÇOAMENTO EM RESTAURO DE ESCULTURA PROLICROMADA. Curso de Gestão e Valorização do Patrimônio Cultural, Angra dos Reis - Brasil - 21 Agosto a 8 Setembro de 2006. IILA, Roma 2006.
34. CURSO DE RESTAURACION DE MADERA, por Cecilia Santinelli. Valparaíso, Chile del 12 de Septiembre 2005 al 10de Marzo 2006. IILA, Roma 2006
35. CURSO DE TURISMO AMBIENTAL E PATRIMÔNIO HISTORICO, por Mario Lepore - Cecilia Santinelli - Santa Tereza (Rio Grande do Sul) - Brasil, 18 - 29 de Setembro 2006. IILA, Roma 2007
36. COOPERACION IILA - UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - FORTALECIMIENTO DEL INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS - ICTA, por Martha Cecilia Quicazán - Saverio Mannino. Roma, 2007
37. LUCHA CONTRA EL TRAFICO ILICITO DE LOS BIENES CULTURALES, Alessandro Ferretti, Compilador. Roma 2008
38. Carlo Federici - Martín M. Morales - Melania Zanetti: IL RESTAURO DEL LIBRO TRA ROMA E BUENOS AIRES: UN DIALOGO SENZA FRONTIERE PER LA CONSERVAZIONE DEL PATRIMONIO CULTURALE/ LA RESTAURACIÓN DEL LIBRO ENTRE ROMA Y BUENOS AIRES: UN DIÁLOGO SIN FRONTERAS PARA LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL, IILA, Roma 2008.
39. Curso de Conservación y Restauro de la Cerámica precolombina y vidriada por Cecilia Santinelli - Cuenca - Ecuador - 31 de octubre de 2005/21 de Abril de 2006. Roma 2009.
40. Cerámica Arqueológicas: un Puente entre América y Europa por Cecilia Santinelli - CURSO DE RESTAURACION DE LA CERAMICA/Iº Módulo, 2006: Terracota - IIº Módulo, 2007: Mayólica. La Habana, Cuba. Roma 2009.
41. MUSEO COLONIAL CHARCAS, Silvia Boghi – Grazia De Cesare. Roma 2010.
42. LUCHA CONTRA EL TRAFICO ILICITO DE LOS BIENES CULTURALES. LOS INSTRUMENTOS, Alessandro Ferretti, Compilador. Roma 2010
43. Rete Latino - Americana di Sericoltura. Un modello di cooperazione orizzontale come risorsa di sviluppo sociale; a cura di Giorgio Allara e Giovanna Salice. Ottobre 2010
44. Casa Museo Isla Negra - Fundación Pablo Neruda. Compiladora Cecilia Santinelli. 2010
45. Elementos decorativos ecléticos em estuco e cerâmica, Cecilia Santinelli, 2010
46. Programa de lucha a la pobreza en la zona de frontera entre Ecuador y Peru. Componete de desarrollo rural. Texto de Luciano Palmitesta, 2011.
47. Francesca Colosi y Roberto Orazi, Valorización del Complejo Arqueológico de Chan Chan y desarrollo socioeconómico de su territorio (Perú), 2011.
48. Capilla Villegas, Iglesia de La Merced, Lima, Perú. Proyecto de conservación y restauración. Compilador: Mario Micheli. Roma 2012.

ORGANIZACIÓN DE LA PUBLICACIÓN

Textos:

Claudio Mocchegiani Carpano

Profesor de arqueología subacuática en la Universidad “Suor Orsola Benincasa” de Napoles e inspector honorario para la arqueología subacuática del MiBAC.

ccpas@tiscali.it; claudio.mocchegiani@beniculturali.it

Costantino Meucci

Profesor en la Universidad de Roma “La Sapienza” y experto internacional de UNESCO.

costantino.meucci@fastwebnet.it; costantino.meucci@uniroma1.it

Claudia Prado

Licenciada en Arqueología, Encargada de la Comisión del Patrimonio Arqueológico del Consejo de Monumentos Nacionales.

cprado@monumentos.cl

Paulina Acuña

Licenciada en Arqueología, investigador independiente

pacuna@monumentos.cl

Rodrigo Riveros

Licenciado en Arqueología, investigador independiente.

rriveros@monumentos.cl

Compiladores:

Claudio Mocchegiani Carpano

Costantino Meucci

Traducción:

Cecilia Sinisterra

Imágenes:

Archivo personal de los autores de los textos

Imagen pagina 292

David Letelier Pardo

Gráfica:

Riccardo Meucci

riccardo-meucci@libero.it

Coordinación:

Mauro Camicia, Giovanna Donia

cooperazione@iila.org

El Instituto Italo-Latino Americano (ILLA) es un organismo internacional intergubernamental con sede en Roma, del cual hacen parte: Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, Chile, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Haití, Honduras, Italia, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Uruguay y Venezuela.

El Instituto fue constituido el 1 de junio de 1966, a continuación de la suscripción de una Convención internacional, ratificada por Italia y por las veinte Repúblicas de la América Latina.

Los objetivos del ILLA son los siguientes:

- ◊ desarrollar y coordinar la investigación y la documentación inherente a los problemas, realizaciones y perspectivas de los Países miembros en el ámbito cultural, científico, económico, técnico y social;
- ◊ divulgar en los Países miembros los resultados de tales investigaciones y la correspondiente documentación;
- ◊ individuar, a la luz de tales resultados, las posibilidades concretas de intercambio, de asistencia recíproca y de acción común o concertada en los sectores arriba mencionados.

En el campo de la Cooperación al Desarrollo, el ILLA, con la financiación de la Dirección General para la Cooperación al Desarrollo del Ministerio de Asuntos Exteriores de Italia (MAE), realiza programas que responden a las prioridades delineadas tanto por la Cooperación Italiana como en los planes de desarrollo de sus Países miembros en sectores de excelencia italianos.

Tal cooperación se manifiesta en su mayoría a través de proyectos "piloto" de formación teórico – práctica, asistencia técnica, fortalecimiento institucional, realizados a través de un constante intercambio de experiencias a nivel internacional, regional y sub-regional, favoreciendo de tal manera también la cooperación sur - sur. Las intervenciones, multidisciplinarias y multisectoriales, se refieren a las áreas de salud, tutela del medio ambiente, desarrollo rural y seguridad alimentaria, artesanía y pequeñas empresas, valorización, gestión y tutela del patrimonio cultural, colaboración académica y programas de becas de estudio y pasantías en Italia.



Instituto Italo - Latino Americano (ILLA)

Servicio Cooperación

Via Giovanni Paisiello 24

00198 - Roma

www.illa.org

cooperazione@illa.org

Proyecto financiado por la Dirección General para la Cooperación al Desarrollo
del Ministerio de Asuntos Exteriores de Italia



El Curso de Formación Teórico Práctico en Arqueología Subacuática y
Conservación de los Materiales ha sido realizado conjuntamente con



ISBN 978-88-907481-1-0