

CARATTERIZZAZIONE AVANZATA MEDIANTE TECNICHE NEUTRONICHE NEL SETTORE DEI BENI CULTURALI

di Massimo Rogante



Fig. 1 - Biconica dal sito di Santa Maria in Campo (Fabriano) e relativo frammento di parete analizzato mediante PGAA.

Le tecniche neutroniche, inizialmente impiegate nel ristretto settore della fisica di base, sono utilizzate da diversi anni per la soluzione di quesiti tecnologici e industriali. Il loro campo d'applicazione nella scienza dei materiali e nella tecnologia, grazie a criteri metodologici e procedure opportunamente concepiti, può considerarsi attualmente assai vasto, comprendendo anche i beni culturali.

Nel presente articolo sono riportati esempi di caratterizzazione avanzata eseguita dallo Studio d'Ingegneria Rogante mediante tali tecniche, con particolare riguardo ad indagini arqueo-metallurgiche di reperti di necropoli adriatiche e ad analisi di altri oggetti del patrimonio culturale.

Un'adeguata attività di ricerca sul patrimonio culturale rappresenta uno degli strumenti determinanti per il consolidamento dell'identità di un popolo, quale importante mezzo per migliorare la conoscenza della sua cultura. Tale attività, per essere efficace il più possibile, deve tenere conto delle più innovative tecniche d'indagine fisica, nell'ambito di una ricerca da condurre a 360° (Fiori et al. 2018). Nell'intento di adiuvarne la ricerca archeologica tradizionale nel trovare risposte, anche sofisticate, a quesiti storico-archeologici che le fonti tradizionali non riescono a focalizzare ulteriormente, si inserisce in maniera appropriata l'applicazione di un approccio metodologico multistadio: questo, nel solco della tradizione degli studi in materia, dato che comunque da sempre la scienza storica dell'archeologia si avvale dell'aiuto di altre discipline per elaborare e decifrare correttamente i diffusi dati che si vanno raccogliendo normalmente in uno scavo stratigrafico.

I neutroni costituiscono i più potenti strumenti d'indagine della materia condensata, capaci di fornire informazioni sulle strutture e sulle dinamiche atomiche, nella scienza e nell'ingegneria dei materiali, in archeometria, biologia, chimica, fisica, geologia, ed in varie altre discipline scientifiche ed ingegneristiche. Le tecniche neutroniche sono da tempo diventate uno strumento d'indagine sempre più significativo per i materiali, potendone rivelare proprietà sostanziali e confermando sempre più la loro utilità nel campo del patrimonio culturale.

Lo Studio d'Ingegneria Rogante (SIR), riferimento per le applicazioni delle tecniche neutroniche per la caratterizzazione avanzata e non distruttiva di parti e materiali nei settori industriale e dei Beni Culturali, ha messo a punto particolari criteri metodologici e apposite procedure per ricavare importanti informazioni su parametri fondamentali responsabili di funzioni e performance (Rogante 2008; Fioletto 2013).

In questo articolo sono riportati esempi dei risultati ottenuti dall'analisi di reperti archeologici, condotta da SIR utilizzando approcci metodologici multistadio e combinando tecniche complementari non distruttive e non invasive che non hanno richiesto alcuna preparazione dei campioni e parti investigati. Il vantaggio principale di questi approcci si basa sull'adozione delle tecniche di seguito descritte, inclusi i metodi sperimentali basati sui neutroni, che hanno consentito d'ottenere in maniera complementare una visio-

ne rilevante della composizione e di altre caratteristiche di quanto analizzato.

a) Diffusione neutronica a piccoli angoli (DNPA), per contribuire alla conoscenza di vari parametri e caratteristiche e ricavare nuovi dati sostanziali, onde integrare le conoscenze per comprendere la base strutturale per le proprietà chimico-fisiche dei materiali considerati (Rogante 2008a). Tale tecnica è stata impiegata per sondare in generale la struttura atomica e su scala nanometrica, fornendo principalmente le seguenti informazioni: struttura e quantità di difetti, in relazione ai metodi di produzione e ai processi d'invecchiamento; anisotropia nell'orientamento degli elementi strutturali come dipendente da tali metodi e processi.

b) Radiografia neutronica (RN) (Rogante 2008b). Tale tecnica è stata impiegata per mostrare la struttura interna a scala macroscopica e controllare l'eventuale presenza interna di parti vuote, pori dilatati o imperfezioni dovute ai processi di manifattura o tracce di materiale di rinvenimento.

c) Spettroscopia gamma indotta da neutroni (*prompt gamma activation analysis* - PGAA) (Rogante 2008c; Rogante 2006). Tale tecnica è stata impiegata per analisi di "bulk", onde determinare la composizione media dei reperti investigati e calcolarne i rapporti di massa, utili per una possibile classificazione. L'analisi dei componenti principali applicabile ai dati standardizzati, inoltre, ha permesso di ricercare eventuali schemi di distribuzione dei reperti all'interno dello spazio di composizione.

d) Diffrazione dei neutroni (DN), per studiare su scala atomica il comportamento dinamico del materiale, l'eventuale tessitura cristallografica e lo stato tensionale residuo interno (Rogante 2008d).

e) Spettroscopia d'emissione di raggi X indotta da protoni (*particle induced X-ray emission* - PIXE), considerata come metodo aggiuntivo per analizzare quantitativamente gli elementi principali e in tracce, determinandone la distribuzione, quali informazioni sulla composizione elementare in prossimità della superficie complementare ai dati caratteristici forniti dalla PGAA (Johansson et al. 1970; Maenhaut et al. 2002; Mandò et al. 2009).

I risultati ottenuti dall'applicazione di queste tecniche hanno fornito, in generale, nuove informazioni su nano(micro)-struttura dei materiali, metodologie di produzione e origine degli oggetti investigati, supportando inoltre lo sviluppo di strategie per la promozione del rispettivo territorio orientata anche al turismo culturale legato al Patrimonio conservato nei Musei coinvolti. Il turismo puramente culturale/artistico infatti, può elevarsi ad uno più responsabile dal punto di vista della conoscenza degli antichi metodi di produzione e delle tecnologie scientifiche di caratterizzazione, collocando tali Musei in una posizione altamente competitiva. Varie attività legate ai Beni Culturali, infatti, si occupano di restauro, protezione chimica, software per rappresentazioni virtuali all'interno di musei e digitalizzazione, tuttavia gli utenti desiderano impegnarsi maggiormente con la cultura, integrando le informazioni in nuovi progetti creativi e coinvolgendo in qualche modo anche la re-immaginazione. Il patrimonio culturale può essere sfruttato, pertanto, come arricchito attraverso nuove e avanzate tecnologie, al fine d'allargarne la conoscenza in maniera globale. Le informazioni su natura e stato dei metalli, ad esempio, aiutano a ricavare notizie sui relativi depositi minerali, la tecnologia di produzione, la funzione e l'autenticità di ogni singolo reperto archeologico, e conseguentemente sull'impostazione di conservazione (Fiori et al. 2018).

L'approccio diagnostico innovativo multi-tecnologico in



Fig. 2 - Elmetto dal sito di Villa Clara (Matelica) e relativo frammento di parete centrale analizzato mediante PGAA.

questo caso impiegato può realmente contribuire, ad es., all'identificazione, valorizzazione e valutazione della conservazione di vari tipi di reperti archeologici, affrontando diversi casi di studio reali e includendo una varietà di materiali, tipi di oggetti e questioni storico-artistiche e archeologiche (ad es., tecniche di fabbricazione e datazione). Tale approccio, oltre a soddisfare la curiosità archeologica dei visitatori dei Musei, è in grado di stimolare un ulteriore sentimento estetico con apprezzabile miglioramento nel fascino dei musei coinvolti: favorendo il follow-up di un pubblico di esperti e stabilendo interazioni positive tra le diverse figure professionali coinvolte (Fiori et al. 2018).

ESEMPI DI CARATTERIZZAZIONE AVANZATA DI ARTEFATTI ARCHEOLOGICI

Matelica, città delle Marche, si trova nella Valle del Fiume Esino a circa 350 metri s.l.m., e dista meno di una settantina di chilometri dal Mare Adriatico. Lo storico romano Plinio il Vecchio (I sec. d.C.) la cita nella sua opera principale come *Matilica* e la pone nella Regio VI (grosso modo, l'attuale Umbria) e non nella Regio V Picenum (all'incirca, il

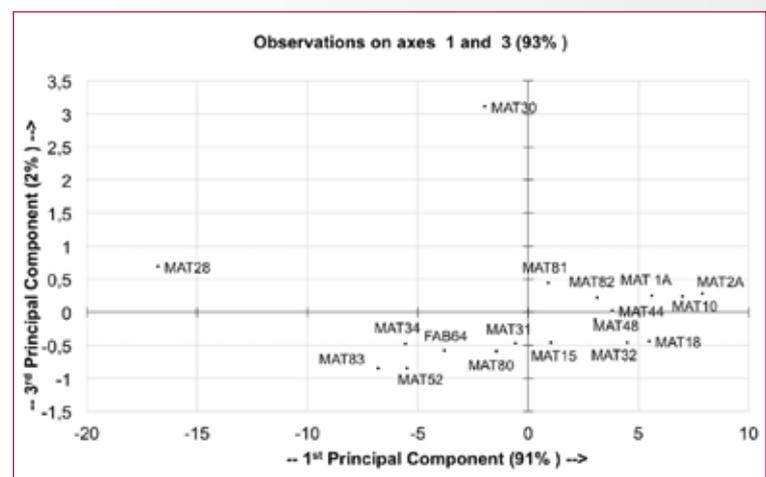


Fig. 3 - PCA dei frammenti di reperti enei dei siti di Matelica e Fabriano investigati mediante PGAA (Rogante et al. 2007).



Fig. 4. Frammento di lamina decorata (inv. n. 1870) dagli scavi di *Tifernum Mataurense*, durante l'analisi effettuata mediante PIXE.

territorio delle Marche di oggi). Fu un *Municipium* almeno dalla metà circa del I secolo a.C. e raggiunse il suo massimo splendore fra il I ed il II secolo dell'Era Cristiana. Il periodo di decadenza, come per molte altre realtà demiche della zona, raggiunse il suo culmine in concomitanza col passaggio delle truppe barbariche straniere dal V secolo d.C. in poi. Luogo di scambi commerciali e crocevia d'importanti vie di comunicazione transappenniniche da almeno 3.000 anni, negli ultimi tre lustri ha visto un proliferare di scavi archeologici (occasionalmente e preventivamente) forieri di clamorosi ritrovamenti, che obbligano gli esperti a dover riscrivere la storia di questa zona di confine fra l'area di influenza umbra e quella picena. I Piceni (o *Picentes*) sono la Cultura preromana che gravita in questa parte d'Italia Centrale essenzialmente per tutto il I Millennio a.C., dal X al III secolo, in pratica la cosiddetta "Età del Ferro". I resti emersi nel matelicense evidenziano estese necropoli già dal IX-VIII secolo a.C., mentre le vestigia di abitati risalgono al periodo compreso fra l'VII ed il IV secolo a.C. Per la nostra conoscenza della Civiltà dei Piceni, come per molte altre *facies* culturali italiche prima della romanizzazione, è di fatto essenziale la documentazione archeologica, essendo poche le testimonianze antiche pervenuteci dalle fonti classiche greche e romane e molto scarse le informazioni derivate dai Piceni stessi nella loro lingua (perlopiù, brevi relitti d'iscrizioni funebri o dediche religiose ancora poco studiate e variamente interpretate). Naturalmente, sono i corredi funebri a costituire la maggior parte dei reperti pervenuti e a darci la mole più consistente d'informazioni scientifiche. Anche grazie ai ritrovamenti di *Matilica*, tuttavia, non sono più così rari i lacerti rinvenuti di strutture abitative picene che, per la loro natura di tipiche architetture proto-urbane, presentano intrinseci motivi di fragilità strutturale, essendo precipuamente costituiti da capanne edificate con elementi deperibili (quali, ad es., materiali lignei e straminei, buche di palo, canalette, battuti e focolari, muretti a secco). La favorevole sinergia sviluppata tra la Soprintendenza per i Beni Archeologici della Regione Marche e SIR ha permesso, negli ultimi anni, d'ampliare la conoscenza di questo argomento, oltre che di altri contesti archeologici. È possibile, conseguentemente, formulare nuove ipotesi e prospettare quindi differenti scenari socio-economico e culturali che

gettano nuova luce su di una realtà che anticamente si doveva presentare molto complessa e vitale e di cui noi, allo stato attuale dell'arte, forse non riusciamo ancora a ben comprendere le intricate vicende (Rogante et al. 2007; Rogante et al. 2010). Le indagini compiute, in questo caso, riguardano la comparazione di oggetti enei, vale a dire manufatti archeologici bronzei appartenenti alla necropoli del *Picenum* del sito di *Matilica*, oggetti risalenti al VII secolo a.C. scoperti durante uno scavo di salvataggio effettuato nel periodo 1994-2005. 17 frammenti selezionati dai reperti considerati sono stati analizzati, insieme a un frammento di bronzo aggiunto per comparazione e appartenente all'area archeologica di Fabriano. Le Figure 1 e 2 mostrano due degli oggetti originali e i relativi frammenti investigati.

Il confronto tra questi reperti enei ha fornito informazioni utili per lo studio della provenienza. In particolare, sono stati determinati i componenti principali con alcuni interessanti elementi in tracce del materiale sfuso, unitamente ai rapporti di massa Sn / Cu e alla PCA. L'assenza di diversità, vale a dire l'uniformità compositiva rivelata tra i reperti scoperti nei siti di Matelica e Fabriano, come evidenziato in Figura 3, ha fornito alla comunità archeologica e al pubblico un ulteriore argomento per considerare l'area di Matelica come un possibile centro metallurgico manifatturiero indipendente dalla regione etrusca (Tirreno).

Col progredire delle ricerche e la costituzione di corpi e sempre più attendibili database in merito, si permetterà quindi agli studiosi di cogliere interessanti aspetti inediti (in questo caso, inerenti la realtà metallurgica del passato) dalle potenziali incalcolabili ricadute scientifiche (Rogante et al. 2007; Rogante et al. 2010; Parrini 2017; Parrini 2008). Diverse indagini periodiche e scavi annuali sono stati effettuati negli ultimi anni a *Tifernum Mataurense* (Sant'Angelo in Vado, nelle Marche), dedicati alla riscoperta di questo comune romano, di origine umbra, appartenente alla *sexta regio augustea*, situato tra l'alta valle del Metauro e la catena appenninica dell'Italia centrale. Le tecniche PGAA, DN e PIXE sono state considerate da SIR per analizzare, per conto dell'Università di Macerata, 6 reperti metallici sporadicamente scoperti nel tempo in quest'area e databili archeologicamente tra il primo e il tardo impero: un bisturi, una capsula, un frammento di statua dorata, un foglio di

metallo decorativo, la punta di una statua e una piccola moneta (Rogante et al. 2015; Rogante et al. 2015a). Uno degli scopi principali è stato il confronto dei dati ottenuti relativi agli elementi leganti Cu, Sn e Pb con quelli acquisiti mediante PGAA sui bronzi piceni delle necropoli di Matelica e Fabriano (Rogante et al. 2007; Rogante et al. 2010). La tecnica DN è stata considerata per la valutazione qualitativa e quantitativa della composizione di fase, delle proprietà strutturali dei costituenti e dell'eventuale trama o orientamento dei grani (aiutando a indicare le possibili tecniche di fabbricazione), mentre la tecnica PIXE è stata impiegata per l'analisi quantitativa. La Figura 4 mostra uno degli oggetti durante l'investigazione.

Quest'ultima tecnica ha permesso di valutare la concentrazione degli elementi (% m/m) per ciascuna delle aree investigate, rilevando in particolare i componenti principali (Cu, Zn, Sn) e quelli minori o in tracce (Ag, Au, Pb e Fe). Per ogni oggetto investigato, è stata compiuta una valutazione del materiale costitutivo - ad es., bronzo di stagno, ottone con Ag come componente aggiunto, bronzo di stagno anche con Ag come componente aggiunto, ecc.. I risultati, confrontati con dati archeologici e contestuali, hanno fornito conoscenze utili anche per una datazione più precisa delle fasi di vita di questo interessante - ma ancora poco conosciuto - centro non lontano dalla costa adriatica (Rogante et al. 2015a).

Le tecniche PGAA, RN e DN sono state adottate da SIR per investigare 8 reperti archeologici metallici appartenenti alla collezione dell'*Accademia Georgica Treiensis*: un bacino, un *oinochoe*, tre fibule, un'olla, un'asta cilindrica e una lampada polilicne ad olio (Rogante et al. 2017; Rogante et al. 2015b). Alcuni di questi oggetti risalgono per lo più al IX-IV secolo a.C. e si presume che siano stati ritrovati nelle Marche. L'obiettivo principale di questo studio è stato quello di favorire la corretta descrizione degli oggetti considerati dal punto di vista tecnologico e dei materiali, fornendo dati scientifici per ulteriori e più complete analisi comparative che coprano anche i ritrovamenti provenienti dai siti archeologici vicini. Le indagini neutroniche hanno consentito di determinare la composizione in massa, fornendo anche delle immagini radiografiche e una valutazione qualitativa e quantitativa della composizione di fase e delle proprietà strutturali dei costituenti, aiutando inoltre a identificare le probabili tecniche di produzione. Esami addizionali eseguiti mediante PIXE hanno provvisto dati quantitativi d'elementi principali e in tracce (ad esempio, Fe, Pb e As), al fine di riconoscere le leghe costitutive e fornire informazioni sulla composizione elementare in superficie, in aggiunta ai dati mediati attraverso i volumi di materiale investigati tramite le altre tecniche. La Figura 5 mostra uno degli oggetti investigati mediante tecnica ND, mentre la Figura 6 riporta un'immagine di RN riferita ad una delle sei estremità della lampada polilicne.

Per quanto riguarda tale lampada, ad es., i risultati hanno evidenziato che è uno stampo poveramente realizzato in due pezzi in lega contenente una fase di zinco quasi pura, dove la pochissima quantità di rame è stata identificata solo come elemento minore. La Figura 6, in particolare, riporta lo spettro ricavato tramite DN, con le posizioni dei picchi ottenute mediante procedura di "fit". La torsione anisotropa della cella unitaria ($\Delta a/a_0 = 0,0015$, $\Delta c/c_0 = -0,0038$) indica che l'atomo del soluto è rame.

La tipologia di fabbricazione rilevata indica che trattasi di copia del 19° secolo, in stile e forma che riflettono notevolmente le lampade romane tipicamente in lega di rame o in ceramica. L'attività di ricerca svolta, oltre a fornire informazioni e risposte a svariati quesiti, ha consentito all'*Accademia Georgica Treiensis* di valorizzare ulteriormente la



Fig. 5 - Bacinella con bordo perlato, della collezione dell'*Accademia Georgica Treiensis*, durante l'investigazione effettuata mediante ND.

propria collezione di reperti archeologici.

Le tecniche DNPA e PIXE sono state impiegate da SIR per caratterizzare 9 campioni di tessuto di lino di età pre-dinastica e tolemaica (2200-300 a.C.) appartenenti alle collezioni archeologiche del Museo Egizio di Torino e del Museo Civico Archeologico di Bologna, oltre a 5 moderni campioni di tessuto di lino aggiunti per il confronto. Tra i risultati, il processo d'invecchiamento è stato rivelato in un degrado della superficie delle fibre, che diventano assai difettose e di grandi dimensioni. Per il materiale più vecchio è stata osservata una struttura molto diversa rispetto a quello moderno. È stata descritta, quindi, l'evoluzione delle proprietà strutturali a livello di nano-scala dei tessuti rispetto alla loro età, mostrandone inoltre il processo di degradazione, che inizierebbe dopo un periodo d'induzione (Rogante et al. 2019; Rogante et al. 2019a). I materiali antichi (età 2600-3500 anni), in particolare, hanno dimostrato unità strutturali ben definite, ovvero fibre dense con bordi marcati: la



Fig. 6 - Una delle sei estremità della lampada polilicne: immagine da RN confrontata con vista esterna.

superficie delle loro fibre evidenzia un particolare valore della dimensione frattale che si presenta con l'aumento dell'età del materiale, e il processo d'invecchiamento si rivela in una degradazione della superficie delle fibre e una struttura molto diversa rispetto a quella del materiale moderno. Quest'ultimo risulta composto da filamenti sottilissimi (pochi nanometri di diametro) ramificati e impigliati (struttura reticolata). I risultati di tale analisi hanno dato supporto allo Studio di fattibilità recentemente effettuato da SIR per l'investigazione della Sindone di Torino mediante tecniche neutroniche (Rogante et al. 2016; Rogante et al. 2016a; Rogante 2017; Rogante 2017a).

Un'attività in corso di svolgimento da parte di SIR riguarda l'investigazione di campioni di tessuti di lino di varie epoche mediante tecniche radiografiche neutroniche (Rogante 2008b), e in particolare: l'investigazione dei processi d'idratazione e deidratazione; lo studio della permeabilità di acqua e altri liquidi; l'acquisizione di nuove informazioni sulle caratteristiche morfologiche per meglio comprenderne la permeabilità dei tessuti esaminati, delineandone anche la cinetica dell'essiccazione. In seno a tale attività, è stata già impiegata la RN - sia statica, sia dinamica - per analizzare l'imbibizione spontanea di singole strisce di vari tessuti di dimensioni 20×130 mm disposte su telaio verticale in plexiglas, col lato piatto parallelo allo schermo del rilevatore. Il telaio è stato collocato in un contenitore d'alluminio, dal fondo riempibile con acqua onde bagnare l'estremità inferiore di ciascun campione. Il sistema è stato mantenuto a temperatura stabilizzata di 30 °C. I video radiografici registrati durante il processo sono disponibili on-line alle pagine web <https://youtu.be/HQP1L-L3HxE> e <https://youtu.be/Ci57vyWAttY>, e riportano la dinamica del processo d'imbibizione o assorbimento da parte di due diversi tessuti dell'acqua inviata al fondo del recipiente, rispettivamente in versione originale e in seguito ad opportuna elaborazione che evidenzia le zone bagnate (Rogante 2017). L'attività considerata potrebbe fornire un contributo in generale allo studio delle problematiche inerenti la conservazione e la preservazione di tessuti antichi, sia per meglio comprendere quanto verificatosi durante i periodi di conservazione passati, sia per valutare la possibile incidenza d'eventuali circostanze imprevedute in particolare legate all'umidità.

Tra gli studi di fattibilità realizzati da SIR, uno effettuato per conto della Soprintendenza per i Beni Archeologici della Regione Marche riguarda la possibile investigazione mediante tecniche neutroniche (in particolare, tramite PGAA) di manufatti archeologici di piombo, ferro, bronzo e terracotta. Riguardo ai manufatti di piombo, è possibile rilevare tracce

d'elementi nella matrice di Pb, poiché tale elemento presenta un solo picco *prompt gamma*. Le superfici del campione da analizzare, ovviamente, devono essere pulite il più possibile, onde evitare la contaminazione con altri elementi. Le dimensioni del campione possono variare dal frammento di pochi cm di lunghezza al reperto perfettamente conservato nella sua interezza.

Per i manufatti di ferro, la PGAA può impiegarsi per esaminare vari tipi di campioni, ad esempio armi intere o loro frammenti. In tal caso, si può investigare anche la procedura di fabbricazione, e può pianificarsi uno studio sistematico comprendente l'indagine, oltre che dei reperti stessi, di vari campioni nuovi della stessa composizione ma diversamente forgiati, onde individuare la tecnica di forgiatura più prossima a quella dei reperti considerati. Un ulteriore esame, eseguito mediante DNPA, fornirebbe utili informazioni sia sulle caratteristiche nano(micro)-strutturali, sia per risalire alla zona di provenienza del materiale.

Riguardo ai manufatti di bronzo, in generale, possono identificarsi gli elementi principali (Cu, Sn, Pb e Zn) e quelli in tracce (As, Cd, Sb e Ag) appartenenti a reperti quali elmi, fibule, vasi, ecc. Sn e Pb possono essere rilevati oltre qualche unità percentuale, inoltre può compiersi una distinzione tra ottone (alto tenore di Zn), bronzo con alto tenore di Sn e bronzo con alto tenore di Pb. Per questo caso, sono stati compiuti dei calcoli sui limiti d'investigazione degli elementi nel bronzo. Supponendo d'irraggiare un reperto bronzeo avente lo spessore di 0,1 cm per la durata di 10000 s mediante un fascio neutronico con sezione di 4 cm² i limiti d'investigazione degli elementi sarebbero i seguenti (in peso %): 0,57 (Zn), 2,6 (Sn), 5 (Pb), 0,005 (H), 0,00007 (B), 2,8 (Al), 1,6 (Si), 3,1 (P), 0,3 (S), 0,05 (Cl), 0,74 (K), 1,8 (Ca), 0,09 Ti, 0,1 (Cr), 0,22 (Mn), 0,48 (Fe), 0,014 (Co), 0,078 (Ni), 0,28 As, 0,049 Ag, 0,0009 Cd, 0,55 (Sb), 0,037 (Au), 0,006 (Hg). Tali valori corrispondono al caso ideale, allorché si trascurano le interferenze tra i vari picchi, che in realtà possono aumentare gli stessi limiti riguardo ad alcuni elementi in traccia. La sensibilità può essere accresciuta, conseguentemente, analizzando per tempi più lunghi (vale a dire, svariate ore). Reperti bronzei mineralizzati possono essere anch'essi investigati, fornendo la stessa tipologia d'informazioni. Per quanto riguarda reperti bronzei con presenza d'Ag, è necessario considerare che lo spettro dell'argento è notevolmente complesso, presentando numerosi picchi che si sovrappongono ad altri e creando incognite per la valutazione degli spettri PGAA. Una particolare considerazione va fatta riguardo all'attivazione dell'argento paragonata a quella del rame. L'argento (Ag-110) ha una durata di circa 250 giorni, mentre il rame (Cu-64) ha una durata di circa 12,7 ore. La Tabella 1 paragona i dati dell'attività di tali elementi, sempre con riferimento ad un irraggiamento della durata di 10000 s. Tali valori, ad ogni modo, dal punto di vista della protezione dalle radiazioni non sono considerati effettivamente alti. Secondo il Regolamento Ungherese, ad es., l'argento radioattivo con attività sotto a 1 MBq (=1000 kBq) può essere maneggiato liberamente. Alcuni problemi in occasione di successive analisi potrebbero verificarsi, tuttavia, inerenti ad es. la contaminazione di altre strumentazioni. Tenendo conto di tale considerazione, i campioni privi di argento quale elemento costitutivo, a seguito d'analisi tramite PGAA, possono essere sottoposti a successive indagini già dopo una decina di giorni circa.

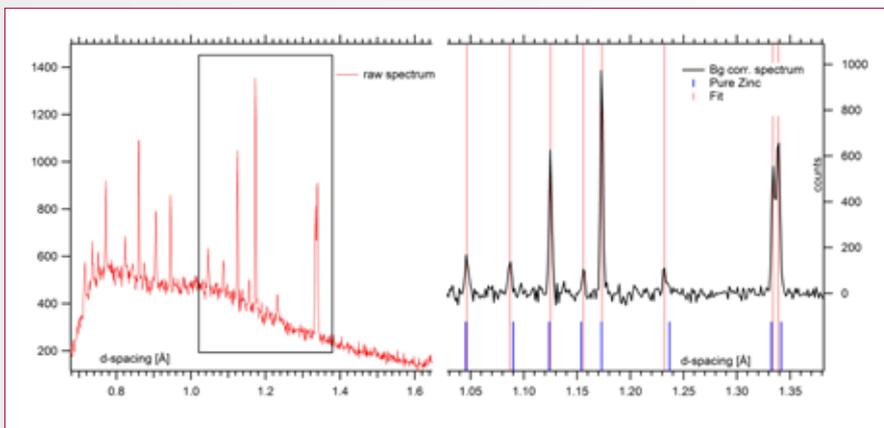


Fig. 7 - Spettro di DN riferito alla lampada polilicne della collezione dell'Accademia Georgica Treiensis (Rogante et al. 2015b).

Leica BLK360

Cattura la realtà 3D premendo un pulsante.

Leica BLK360 cattura il mondo che ci circonda con immagini panoramiche a colori sovrapposte a una nuvola di punti accurata.

Il laser scanner imaging più piccolo e leggero



Leica BLK3D

Fai una foto. Misura qualunque cosa.

Leica BLK3D cattura immagini e fornisce misure precise a portata di dito.

Condividi immagini e misurazioni in diversi formati.



Scopri di più



PART OF
HEXAGON

Leica
Geosystems

tempo trascorso dall'irraggiamento (giorni)	attività rimanente (kBq)	
	Ag-110	Cu-64
1	3,14	87
3	1,62	3,3
10	1,59	0
100	1,24	0
1000	0,2	0

Fig. 7 - Spettro di DN riferito alla lampada polilicne della collezione dell'Accademia Georgica Treiensis (Rogante et al. 2015b).

I reperti di ceramica e terracotta, infine, possono investigarsi mediante PGAA, RN e DNPA: quest'ultima può dare informazioni su nano-microporosità e altre caratteristiche, fornendo inoltre indicazioni aggiuntive utili per risalire alla zona di provenienza del materiale. In tutti i casi considerati, ad ogni modo, è importante poter fare riferimento ad una banca dati esistente (Rogante 2006).

Una prossima attività di SIR di caratterizzazione avanzata mediante tecniche neutroniche nel settore dei Beni Culturali riguarda l'investigazione, per conto dell'Accademia Georgica Treiensis, di statuette votive in ceramica a figura muliebre o virile, appartenenti a diversi tipi iconografici. Sebbene queste statuette siano state considerate e catalogate come oggetti votivi, potrebbe trattarsi di cosiddetti "Ushabti" o simili, derivanti dal culto della dea Iside presente nella Trea Romana, vale a dire statuette che costituivano elemento integrante ed essenziale di corredi funebri (Tosi 2004). I risultati di tali analisi, programmate impiegando un approccio metodologico multistadio, integreranno le conoscenze analitiche e fondamentali per comprendere le proprietà chimico-fisiche dei materiali costitutivi, fornendo informazioni su composizione elementare, struttura e difetti o imperfezioni dovute al processo di manifattura, e ricercando possibili schemi di distribuzione all'interno dello spazio di composizione.

CONCLUSIONI

Gli approcci e le metodologie considerati nel presente lavoro hanno fornito un sostanziale contributo alla conoscenza di natura, autenticità, provenienza, ambiente d'origine, diffusione, tecniche di fabbricazione e stato di conservazione relativo ad oggetti del patrimonio culturale. Le tecniche impiegate hanno permesso di ricavare dati essenziali per arricchire il mosaico d'informazioni già acquisite sui ritrovamenti, aiutando gli esperti a meglio definirne i contesti storico-archeologici e potenziando l'attrattività dei manufatti e la rispettiva cultura archeologica.

L'applicabilità delle tecniche neutroniche è destinata ad un continuo sviluppo, e lo Studio d'Ingegneria Rogante è a disposizione a livello nazionale per consulenza e assistenza riguardo al loro impiego nel settore dei Beni Culturali, nell'intento di fornire un contributo concreto a quegli Enti che rappresentano una parte fondamentale delle attività culturali e che, per quanto riguarda le tecniche qui considerate, sono impossibilitati ad avere proprie strutture complete di ricerca per l'approfondimento delle conoscenze legate al settore.

BIBLIOGRAFIA

- Fioretto R. (2013) Le tecniche neutroniche che fanno bene all'industria, intervista a Massimo Rogante *Organi di Trasmissione* 6, 22-23
- Fiori F., Rogante M., Giuliani A., Rustichelli F., & Taras D. (2018) Enhancement of the touristic attraction for Adriatic-Ionian Archaeological artefacts through advanced physical characterization techniques *Proc. Int. Workshop "Enhancing Sustainable Tourism in Adriatic-Ionian Region through co-creation"*: EUM Edizioni Università di Macerata, 269-287
- Johansson T.B., Akselsson R. & Johansson S.A.E. (1970) X-ray analysis: elemental trace analysis at the 10-12 g level *Nucl. Instr. Meth.* 84, 141-143
- Maenhaut W. & Malmqvist K.G. (2002) Particle-induced X-ray emission analysis *Handbook of X-ray Spectrometry*, 2nd ed., M. Dekker, New York, 719-810
- Mandò P.A. & Przybyłowicz W.J. (2009) Particle-Induced X-ray Emission (PIXE) *Encyclopedia of Analytical Chemistry*, John Wiley & Sons, Ltd., 1-31
- Parrini M. (2008) La mostra sui Piceni è stata un grande successo da "esportare" *Geronimo* IX/24, 30
- Parrini M. (2017) Gli studi dell'Ing. Rogante riportano l'archeologia di Matelica a livello internazionale *Geronimoweb*, pagina web <https://geronimoweb.wordpress.com/2017/10/26/gli-studi-delling-rogante-riportano-larcheologia-di-matelica-a-livello-internazionale/> (Retrieved: 22.02.2019)
- Rogante M. (2006) Prompt Gamma Activation Analysis (PGAA) per l'investigazione di reperti archeologici *Archeopicino* 43/44 27-31
- Rogante M. (2008) Applicazioni Industriali delle Tecniche Neutroniche *Proc. 1st Italian Workshop for Industry AITN 2008* Civitanova Marche: Rogante Engineering, 40-120
- Rogante M. (2008a) Caratterizzazione di materiali e componenti a livello di micro- e nano-scala mediante diffusione neutronica a piccoli angoli, http://www.roganteengineering.it/pagine_servizi/servizi2.pdf (Retrieved: 22.02.2019)
- Rogante M. (2008b) Radiografia Neutronica, pagina web http://www.roganteengineering.it/pagine_servizi/servizi4.pdf (Retrieved: 22.02.2019)
- Rogante M. (2008c) Prompt Gamma Activation Analysis per l'investigazione di materiali e reperti archeologici, pagina web http://www.roganteengineering.it/pagine_servizi/servizi5.pdf (Retrieved: 22.02.2019)
- Rogante M. (2008d) Determinazione delle tensioni residue mediante diffrazione neutronica, pagina web http://www.roganteengineering.it/pagine_servizi/servizi1.pdf (Retrieved: 22.02.2019)
- Rogante M. (2017) Sindone di Torino: la ricerca scientifica *Archeomatica* 4, 6-11
- Rogante M. (2017a) La Sindone di Torino: la ricerca scientifica, Presentazione al Convegno "La Sacra Sindone di Torino", Treia, 15 Settembre 2017, <http://www.accademiageorgica.it/eventi/2017/sindone.html> (Retrieved: 22.02.2019)
- Rogante M. & Rosta L. (2016) Feasibility Study for Neutron Beam Investigation of the Turin Shroud. *IJNTR* 2/3, 86-95
- Rogante M. & Rosta L. (2016a) *Studio di fattibilità per l'investigazione della Sindone di Torino mediante tecniche neutroniche*, Torino: Centro Internazionale di Sindonologia, p. 13
- Rogante M. & Stortoni E. (2015) Feasibility study for a neutron investigation in archaeological research on Tiferum Mataurense *Archeomatica International* VI/3, 20-25
- Rogante M., Borla M., Lebedev V.T., Len A., Picchi D. & Rosta L. (2019) SANS investigation of ancient linen fabrics dated from Old Kingdom to Ptolemaic ages (2200-300 B.C.), Paper in preparation.
- Rogante M., De Marinis G., Kasztovszky Zs. & Milazzo F. (2007) Comparative analysis of Iron Age bronze archaeological objects from a Picenum necropolis of Centre Italy with Prompt Gamma Activation Analysis *Nuovo Cimento C* 30/1, 113-122
- Rogante M., Horváth E., Káli G., Kasztovszky Z., Kis Z., Kovács I., Maróti B., Rosta L. & Szókefalvi-Nagy Z. (2015b) Neutronenuntersuchungen an einer Zink-Lampe unbekanntem Ursprungs von der Archäologischen Sammlung der Academia Georgica Treiensis (Italien) *Restaurierung und Archäologie* 8, 45-53
- Rogante M., Kasztovszky Zs. & Manni A. (2010) Prompt Gamma Activation Analysis of bronze fragments from archaeological artefacts, Matelica Picenum necropolis, Italy *Notiziario Neutroni e Luce di Sincrotrone* 15/1, 12-23
- Rogante M., Kovács I. & Szókefalvi-Nagy Z. (2019a) PIXE investigation of ancient linen fabrics dated from Old Kingdom to Ptolemaic ages (2200-300 B.C.), Paper in preparation.
- Rogante M., Kovács I., Rosta L., Stortoni E. & Szókefalvi-Nagy Z. (2015a) PIXE investigation of Roman metal archaeological objects from the Municipium Tiferum Mataurense area (S. Angelo in Vado, Italy) *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 363, 156-160
- Rogante M., Rosta L., Káli Gy., Kasztovszky Zs., Kis Z., Kovács I., Maróti B. & Szókefalvi-Nagy Z. (2017) Neutron based archaeometallurgical investigation of Picenan and Roman age metal objects from the Academia Georgica Treiensis collection (Italy) *STAR: Science & Technology of Archaeological Research* 32, 1-14
- Tosi M. (2004) Dizionario enciclopedico delle divinità dell'antico Egitto vol.1, Ananke Ed., p. 352

ABSTRACT

Neutron techniques, initially employed in the restricted domain of basic physics, are used since various years for the solution of technological and industrial questions. Their field of application in materials science and technology can currently be considered very wide, including Cultural Heritage. In this article, examples of advanced characterization carried out by the Rogante Engineering Office by means of these techniques are reported, in particular concerning archaeo-metallurgical investigations of finds from Adriatic necropolis and other objects of Cultural Heritage.

PAROLE CHIAVE

CARATTERIZZAZIONE AVANZATA; TECNICHE NEUTRONICHE; BENI CULTURALI; ARCHEOLOGIA; ARCHEO-METALLURGIA; NECROPOLI ADRIATICHE

AUTORE

MASSIMO ROGANTE
MAIN@ROGANTEENGINEERING.IT
ROGANTE ENGINEERING OFFICE

WWW.ROGANTEENGINEERING.IT

Soluzioni e Tecnologie
Geospaziali per
la Trasformazione
Digitale

THE SCIENCE OF WHERE

www.esriitalia.it



esri Italia
THE SCIENCE OF WHERE