

Misure di assorbimento di raggi X per la determinazione degli spessori delle corone d'oro del Museo "MARTA" di Taranto

Buccolieri G.¹, Delle Side D.¹, Paladini F.¹, Degl'Innocenti E.²,
Cesareo R.³, Castellano A.¹ e Buccolieri A.⁴

¹ Dipartimento di Matematica e Fisica, Università del Salento, Lecce, Italia, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, sez. di Lecce; giovanni.buccolieri@unisalento.it

² Museo Archeologico Nazionale (MARTA), Taranto, Italia

³ Istituto di Matematica e Fisica, Università di Sassari, Sassari, Italia

⁴ Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche e Ambientali, Università del Salento, Lecce, Italia

Abstract

Taranto (dal greco Taras) nel VIII secolo a.C. fu invasa dai coloni greci provenienti da Sparta e Laconia che conquistarono il villaggio messapico di Taras sul fiume omonimo e fondarono una nuova Taras. Taras divenne ben presto una delle città più importanti della Magna Grecia. Tra IV e II secolo a.C. diversi laboratori orafi, attivi in città, hanno prodotto gioielli di ottima qualità. Gli artigiani hanno abilmente riprodotto modelli greci attraverso la propria reinterpretazione. Taras ha raggiunto il suo apice di potenza militare e la prosperità nel IV secolo a.C. sotto il grande filosofo e scienziato Archita. Inoltre, un impressionante progresso qualitativo si evidenzia nella lavorazione artigianale dell'oro tarantina durante la seconda metà del IV secolo a.C., quando una grande quantità di oro e argento è presente nei mercati del Mediterraneo proveniente dall'oriente. Fortunatamente, molti di questi oggetti sono stati recuperati e sono conservati nel Museo Archeologico Nazionale di Taranto (MARTA) e sono conosciuti come "*Ori di Taranto*". I manufatti d'oro conservati nel museo sono capolavori assoluti della metallurgia ellenistica e, probabilmente, di tutta la storia dell'arte. Il loro valore non sta solo in competenze tecniche di esecuzione, ma anche nell'applicazione di colore. Nel presente lavoro è illustrata la procedura utilizzata per la determinazione dello spessore delle corone d'oro presenti nel Museo.

Introduzione

Gli "*Ori di Taranto*" conservati nel Museo MARTA di Taranto comprendono inestimabili manufatti in oro e sue leghe come, per esempio: diademi, anelli, pendenti, bracciali, collane e corone. Alcuni di essi presentano pregiate decorazioni [1-2]. E' possibile ammirare corone in bronzo con decorazione

in oro e corone in oro e sue leghe. Per quanto concerne le corone in oro, lo studio della composizione chimica delle foglie e la determinazione del loro spessore risulta di fondamentale importanza al fine della conoscenza delle tecniche utilizzate per la loro realizzazione. Data la fragilità dei manufatti, la determinazione degli spessori è risultata fino ad ora di difficile realizzazione.

In questo lavoro si illustra la strumentazione e la metodologia analitica per la determinazione dello spessore delle corone d'oro presenti nel Museo MARTA.

Materiali e metodi

Misure di spessore sono certamente realizzabili valutando l'assorbimento di raggi X da parte del campione in analisi utilizzando l'equazione (1):

$$I = I_0 e^{-\mu x} = I_0 e^{-\frac{\mu}{\rho} \rho x} = I_0 e^{-\mu' \rho x} \quad (1)$$

in cui I_0 e I rappresentano rispettivamente l'intensità della radiazione prima e dopo l'assorbitore di spessore x , ρ indica la densità del materiale assorbente, μ (risp. μ') il coefficiente di assorbimento (risp. di massa) dell'assorbitore all'energia della radiazione incidente.

Figura 1 mostra l'andamento del coefficiente di assorbimento di massa dell'oro (μ') in funzione dell'energia.

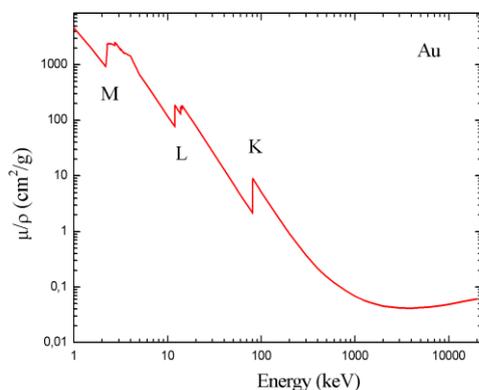


Figura 1. Coefficiente di assorbimento di massa dell'oro in funzione dell'energia.

L'applicazione dell'equazione (1) richiede l'impiego di diverse configurazioni sperimentali:

- Utilizzo di sorgente policromatica (tubo a raggi X) accoppiata con rivelatore a stato solido per discriminare le energie della radiazione in uscita;

- Fascio monocromatico accoppiato con un qualsivoglia rivelatore: se è nota l'energia della radiazione incidente è possibile solo valutare l'intensità della radiazione in uscita;
- Utilizzo di un radioisotopo come sorgente (emette più fasci monocromatici) accoppiata con un rivelatore a stato solido per l'analisi della radiazione in uscita.

Considerando le dimensioni dell'oggetto analitico (in alcuni casi lo spazio tra le diverse foglie è di 1-2 mm) si è esclusa la possibilità di poter usare un tubo X come sorgente per uno spettro continuo o monocromatico utilizzando opportune filtrazioni del fascio policromatico. L'attenzione è stata quindi focalizzata all'utilizzo di una sorgente radioisotopica.

Al fine di valutare l'assorbimento dell'oro a diverse energie sono stati valutati i rapporti $(I/I_0)\%$ per diversi spessori di oro (da 10 a 50 μm) a diverse energie (20, 40 e 60 keV) e i risultati sono riassunti in Tabella 1.

| Spessor e (μm) | $(I/I_0)\%$ | $(I/I_0)\%$ | $(I/I_0)\%$ |
|-----------------------------------|---|--|--|
| | 20 keV $\mu'=78.9\text{cm}^2/\text{g}$ | 40 keV $\mu'=12.97\text{cm}^2/\text{g}$ | 60 keV $\mu'=4.528\text{cm}^2/\text{g}$ |
| 10 | 21.8 | 77.8 | 91.6 |
| 20 | 4.7 | 60.6 | 83.9 |
| 30 | 1.0 | 47.2 | 76.9 |
| 40 | -- | 36.7 | 70.5 |
| 50 | -- | 28.6 | 64.6 |

Tabella 1. Rapporto $(I/I_0)\%$ per diversi spessori di oro a diverse energie di raggi X.

Considerando uno spessore dell'ordine dei 30 μm , dalla Tabella 1 è evidente che bisogna utilizzare un fascio d'ingresso con energia superiore a 40 keV. Per tali energie i convenzionali rivelatori di raggi X al silicio poco si adattano tenendo conto della loro scarsa efficienza. Al contrario, un rivelatore

CdTe ha, intorno ai 40 keV, il suo massimo di efficienza come si evince dalla Figura 2.

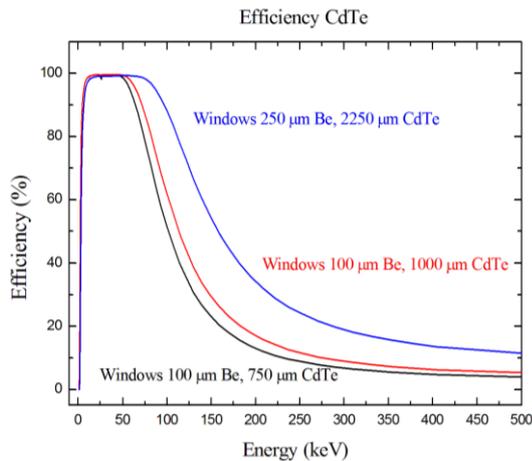


Figura 2. Efficienza di un rivelatore CdTe in funzione dell'energia.



Figura 3. Apparato sperimentale.

Come sorgente X è stata utilizzata una sorgente radioisotopica di Americio-241 da 370 kBq e come rivelatore un rivelatore CdTe prodotto dalla Amptek. Come si evince dalla Figura 3 il rivelatore è stato opportunamente collimato utilizzando un collimatore in rame con un foro da 1 mm. La sorgente è posta davanti al collimatore e il campione da tra sorgente e collimatore.

In Figura 4 si riporta lo spettro di emissione della sorgente di Americio-241 in assenza di assorbitore: sono evidenti le tre emissioni di raggi X più intense a 13.9, 17.8 e 59.5 keV.

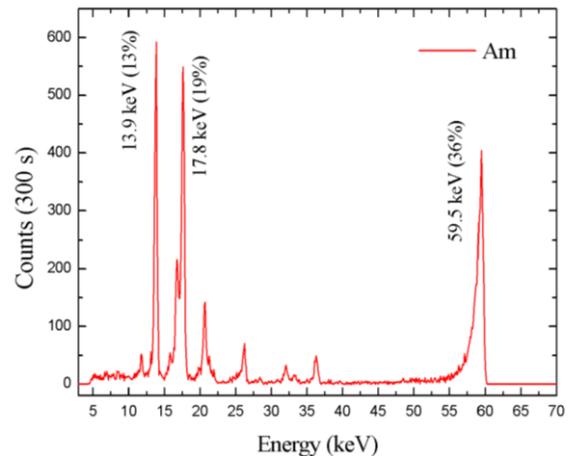


Figura 4. Spettro di emissione dell'Am-241 registrato con il rivelatore CdTe.

Il sistema è stato calibrato valutando l'assorbimento della riga dell'Am-241 a 59.5 keV su foglie d'oro di spessore noto. Le lamine di oro sono state acquistate dalla Aldrich (Figura 5). In particolare, piegando le lamine sono stati creati differenti standard ed è stato possibile raggiungere uno spessore di 25, 50 e 75 μm.



Figura 5. Foglie di oro utilizzare per testare il sistema.

Risultati sperimentali e discussione

La Tabella 2 riporta l'intensità del segnale registrata a 59.5 keV in assenza di assorbitore (indicato con I_0 , in u.a.) e in presenza di assorbitore con spessore pari a 25 μm , 50 μm e 75 μm (rispettivamente indicati con I_1 , I_2 e I_3 , in u.a.). Sono inoltre riportati i valori di spessore determinato sperimentalmente per i tre campioni analizzati.

I risultati sperimentali, se pur preliminari, mostrano un'ottima corrispondenza fra i valori reali e i valori determinati e ciò ha consentito di poter impiegare l'assorbimento di raggi X per la determinazione degli spessori delle corone d'oro del Museo "MARTA" di Taranto.

| | Intensità segnale u.a. | Spessore certificato (μm) | Spessore determinato (μm) |
|-------|---------------------------------------|--|--|
| I_0 | 5720 \pm 50 | | |
| I_1 | 4470 \pm 40 | 25 | 28 \pm 4 |
| I_2 | 3590 \pm 40 | 50 | 53 \pm 5 |
| I_3 | 2990 \pm 30 | 75 | 74 \pm 6 |

Tabella 2. Intensità della radiazione a 59.5 keV in presenza ed assenza di assorbitore e spessore determinato.

Conclusioni

I risultati sperimentali ottenuti in questa ricerca mostrano che i valori di spessore determinati sono in perfetto accordo con i valori attesi. Per tale ragione è possibile concludere che la procedura messa a punto si adatta bene alla determinazione dello spessore delle foglie d'oro e, in questo caso, la metodologia è stata applicata per determinare lo spessore delle corone d'oro presenti nel Museo MARTA di Taranto.

Bibliografia

[1] E. M. De Juliis, "Gli ori di Taranto in età Ellenistica", Editor Mondadori (1984) 529.

[2] A. D'Amicis, L. Masiello "Ori del Museo Nazionale Archeologico di Taranto", Editor Scorpione (2007) 120.