

La costruzione della copia del monumento equestre di Marco Aurelio

N. Jelpo, R. Montanari

Delineate brevemente le ragioni, che portano alla decisione di costruire una copia del monumento di Marco Aurelio, si descrive l'attività svolta per realizzarla ed i problemi che si sono dovuti affrontare. Le difficoltà tipicamente connesse con un'opera di fonderia artistica di grandi dimensioni si combinano in questo caso con l'esigenza di riprodurre fedelmente in scala 1:1 un originale di inestimabile valore artistico. L'articolo precede la pubblicazione da parte del Poligrafico di Stato del libro "La riproduzione moderna dei grandi bronzi d'arte: il Marc'Aurelio", dove i presenti autori insieme con altri raccontano con maggior ricchezza di particolari quanto fatto dalla Zecca e del contributo multidisciplinare dato dalla Facoltà di Ingegneria di Roma "Tor Vergata".

RESTAURO DEL MARCO AURELIO E DECISIONE DI COSTRUIRE LA COPIA

Il monumento di Marco Aurelio è uno dei simboli del patrimonio culturale e artistico di Roma. La statua, unica per le sue caratteristiche tra quelle di età imperiale giunte fino a noi, risale al 2° secolo d.C. anche se non è del tutto chiaro in quale occasione essa sia stata eretta: la nomina dell'imperatore a Pater Patriae (166 d.C.), il grande trionfo seguito alla vittoria sui Germani e sui Sarmati (176 d.C.) oppure dopo la morte avvenuta nel 180 d.C. Il gruppo bronzeo originariamente era collocato nella zona del Laterano, si pensa su un basamento (3.80 x 1.80 m) rinvenuto durante scavi eseguiti sotto il vecchio ospedale di S. Giovanni. Le prime notizie storiche a riguardo le troviamo nella storia della vita di papa Giovanni XIII (965-972). Qui si riporta che egli diede ordine di appendere per i capelli al *cavallo di Costantino* il cadavere del prefetto di Roma Pietro, reo di aver guidato una rivolta ed incarcerato il papa. Per tutto il medioevo si è creduto infatti che il cavaliere fosse l'imperatore Costantino e probabilmente il monumento si è potuto salvare proprio grazie a questa errata credenza. Solo molto più tardi, intorno alla metà del XV secolo, confrontando il viso del cavaliere con monete di epoca imperiale raffiguranti Marco Aurelio, si arrivò alla corretta identificazione.

Per volontà di Paolo III, dalla zona del Laterano la statua fu spostata nel 1537 per esser posta in Campidoglio al centro della piazza realizzata da Michelangelo. Lo stesso Michelangelo realizzò il piedistallo, che poi egli sostituì con un altro in marmo di dimensioni più ridotte per dar maggior risalto al monumento.

Durante la seconda guerra mondiale la statua fu di nuovo smontata dal basamento e trasportata nel Tabularium per proteggerla dai bombardamenti. Nell'aprile del 1979, durante un attentato terroristico avvenuto in piazza del Campidoglio, il monumento fu coinvolto, anche se in modo marginale, dalla deflagrazione di una carica esplosiva. A seguito di quell'episodio fu eseguita una perizia sulle condizioni generali della statua e si constatò la presenza di lesioni (cricche e fessure) alle gambe del cavallo, di problemi di stabilità e danni dovuti a corrosione. Pertanto, nel 1981 il monumento fu rimosso dal piedistallo e trasferito nei laboratori dell'Istituto Centrale del Restauro (I.C.R.).

L'età e la vita spesso travagliata della statua di Marco Aurelio avevano richiesto nel corso dei secoli altri interventi di restauro. Nel 1466 il medagliere Cristoforo Geremia da Mantova eseguì per conto di papa Paolo II una prima serie di lavori, che si protrassero per un paio d'anni. Dato lo stato di deterioramento generale, ulteriori opere si resero necessarie e furono eseguite sotto Sisto IV, successore di Paolo II. Nel secolo scorso si dovette provvedere alla sostituzione dei perni, che fissano le zampe al piedistallo, perchè gravemente compromessi dalla corrosione. Nel 1912 si eseguirono altri lavori, che richiesero lo spostamento del cavaliere per poter otturare fori formati nel corpo del cavallo e per rinforzare con sostegni alcune parti indebolite.

Con l'ultimo intervento (1981-87) compiuto dall'Istituto Centrale del Restauro, è stato rimosso lo strato esterno costituito sia di sporozia che di strati di vernici applicati nei precedenti restauri, riportando così alla luce quanto restava della lamina d'oro, che originariamente copriva tutta la statua, e ripristinando la patina naturale, dovuta ai prodotti di corrosione del bronzo [1-2]. Si è inoltre posto rimedio ai problemi strutturali del monumento. Nell'occasione sono stati anche eseguiti degli studi per valutare le più pericolose cause di danneggiamento nelle varie condizioni di esposizione (p.e. vedi [3]).

La preoccupazione per l'incolumità del monumento minacciata dai crescenti livelli di inquinamento atmosferico e dalle piogge acide ha infine portato alla decisione di esibire una copia all'aperto e l'originale in condizioni climatiche controllate all'interno dei Musei Capitolini.

La realizzazione della copia fu resa possibile grazie all'impegno economico della RAS - Riunione Adriatica di Sicurtà - ed all'opera dell'Istituto Centrale del Restauro e dell'Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.

Lo scopo di questo lavoro è quello di descrivere brevemente l'attività svolta per riprodurre la statua di Marco Aurelio. Tale attività ha visto l'impegno della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Roma "Tor Vergata" in particolare per quanto riguarda i controlli effettuati con diverse tecniche sperimentali ed il rilievo mediante fotogrammetria digitale di alcune parti della copia. Un più ampio resoconto e maggiori dettagli si potranno trovare nel libro di prossima pubblicazione [4].

IL MODELLO

La copia della statua equestre di Marco Aurelio è stata eseguita con un processo a cera persa.

Dal momento che non era possibile eseguire un calco diretto poichè si sarebbe potuto danneggiare l'originale, in partico-

N. Jelpo
I.P.Z.S. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma
R. Montanari
Dipartimento di Ingegneria Meccanica - Università di Roma "Tor Vergata", Roma
Memoria pervenuta a dicembre 1999

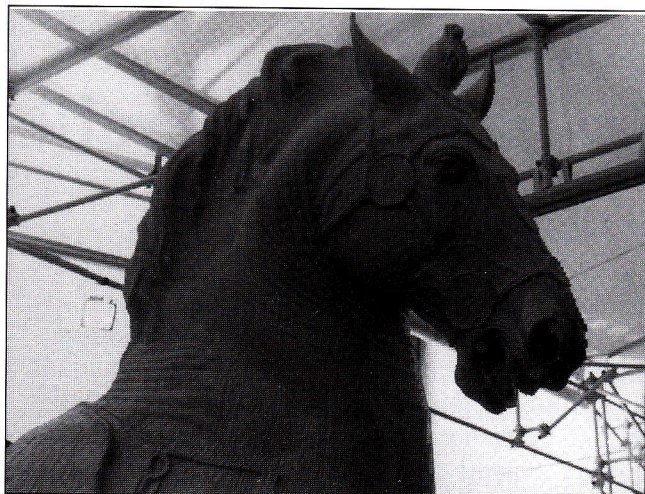


Fig. 1 - Il modello consiste di sezioni in PVC assemblate su una struttura d'acciaio.

Fig. 1 - The model consists of PVC sections assembled on a steel structure.

lare le residue dorature antiche, si è proceduto costruendo un modello (fig.1), esibito a lungo nei Musei Capitolini.

Il primo passo è stato il rilievo mediante fotogrammetria digitale del monumento (478.154 punti per il cavaliere e 463.489 punti per il cavallo). Il lavoro fu fatto nel Laboratorio di Fisica dell'I.C.R.

I dati della restituzione furono usati per ricostruire la complessa forma della statua mediante sezioni piatte. Esse furono tagliate da lastre in PVC di 5 mm di spessore usando una macchina a controllo numerico. Un software dedicato ha provveduto a convertire i dati ottenuti dalla fotogrammetria in movimenti dell'utensile. Tutte le sezioni sono state poi assemblate su una struttura d'acciaio.

A causa dello spessore delle sezioni molti dettagli della superficie (vene, grinze della pelle ecc.) andarono persi ed il modello presentava un aspetto scalettato. Pertanto fu completato applicando una "pelle" di plastilina spessa 2 mm. In questo modo furono eliminate le scalettature e fu possibile riprodurre con accuratezza ogni dettaglio della statua originale. Questa parte del lavoro, che richiede una notevole abilità artistica, è stata portata a termine con grande maestria dalle allieve della Scuola della Medaglia.

Sullo strato di plastilina furono inoltre posti dei riferimenti per rendere più facile e preciso il successivo posizionamento ed assemblaggio delle parti metalliche del monumento.

Tenendo conto dell'aumento di volume dovuto al ricoprimento in plastilina e della contrazione del metallo durante la solidificazione, la taglia delle sezioni assemblate fu aumentata del 2% per realizzare una perfetta corrispondenza dimensionale tra copia e originale.

MODELLI IN CERA E CALCHI

Una volta completato il modello, sono stati preparati i calchi in gomma siliconica, 17 per il cavallo e 14 per il cavaliere. Questi sono stati realizzati spalmando silicone liquido sulle varie parti del modello. Dopo solidificazione del silicone, i calchi sono stati ingessati per conferire buona rigidità alla struttura.

I pezzi con forma complessa furono divisi in parti per evitare zone con spigoli vivi. Per esempio, il calco della testa di Marco Aurelio fu ottenuto unendo due parti corrispondenti a faccia e nuca.

Dai calchi sono stati prodotti i modelli in cera ponendo una particolare attenzione alla chiusura di ogni porosità. Dai

modelli in cera si sono quindi ricavati gli stampi in terra di fusione.

Per costruire questi stampi si è usato il luto, una mistura composta per una parte da gesso alabastrino e per due parti da "terra rossa", ottenuta dalla frantumazione di tegole, impastata con acqua. Questi stampi sono stati cotti in forno a 600°C per tempi diversi, in funzione della dimensione, e la cera fusa è colata via attraverso appositi scoli, lasciando libero lo spazio che verrà poi occupato dal metallo liquido. Dopo cottura gli stampi in terra sono stati rinforzati da reti metalliche.

LA LEGA E LE OPERAZIONI FUSORIE

Il materiale del monumento originale è una lega ternaria Cu-Sn-Pb. La sua composizione non è omogenea e presenta significative variazioni in parti diverse del monumento: il contenuto di stagno varia da 4.4% fino a 9.7% mentre quello di piombo da 8.4% a 16.2%.

Nel bronzo usato per la copia il piombo, presente nell'originale, è stato sostituito da zinco. Mediante colata semi-continua in forni ad induzione sono state preparate sbarre (100 x 10 x 2 cm³) di bronzo con composizione chimica nominale: Cu 88, Sn 7, Zn 5 (percentuali in peso). Le sbarre sono state poi tagliate ad una lunghezza di circa 20 cm.

Lo zinco aumenta la resistenza a corrosione, un fattore della massima importanza se uno considera che la statua è esibita all'aperto e quindi esposta all'inquinamento atmosferico e alle piogge acide. Il primo passo per la conservazione di una scultura in metallo che sta all'aria aperta è una buona scelta della lega. La presenza nel bronzo di zinco come elemento alligante tende a migliorare anche le proprietà meccaniche.

Altri vantaggi legati allo zinco sono connessi con le operazioni di fonderia:

- 1 - lo zinco è un buon disossidante, forma ZnO, che galleggia sul fuso proteggendo il bagno;
- 2 - lo zinco migliora la fluidità del metallo liquido e così garantisce il buon riempimento degli stampi.

Infine i bronzi contenenti zinco hanno un colore chiaro, caratteristica importante per materiali usati in fonderia d'arte.

Le operazioni fusorie furono compiute a 1200°C in un forno a gas usando crogioli di grafite dai quali il metallo fuso fu versato negli stampi in terra.

Il monumento consiste di 31 parti ed il suo peso totale è 1900 kg (1350 kg il cavallo, 550 kg il cavaliere). Il pezzo di maggior dimensione pesa 250 kg.

Dopo un giorno i getti sono stati liberati dagli stampi in terra. Un esempio è mostrato in fig. 2.

Rimossi gli sfiati, i canali di colata e i chiodi distanziatori, ciascuna parte è stata pulita dai residui di terra di fusione mediante sabbatura ad umido, lucidata con apposite mole ed infine cesellata a mano (fig. 3). La cesellatura ha lasciato sulla superficie una bugnatura, che simula lo stato dell'originale.

CONTROLLO DI DIFETTI MACROSCOPICI E DI FENOMENI DI SEGREGAZIONE

Prima della saldatura ciascuna parte è stata esaminata con termografia ad infrarosso, microscopia ottica ed elettronica con microanalisi EDS per controllare l'eventuale presenza di difetti macroscopici, in particolare bolle e cavità sotto la superficie dei pezzi, e fenomeni di macro e/o micro-segregazione.

La termografia ad infrarosso è una tecnica non invasiva che permette di studiare pezzi anche di grandi dimensioni. Un flash fotografico della durata di ~2.5 ms riscalda il metallo, poi l'evoluzione della temperatura T sulla superficie è moni-

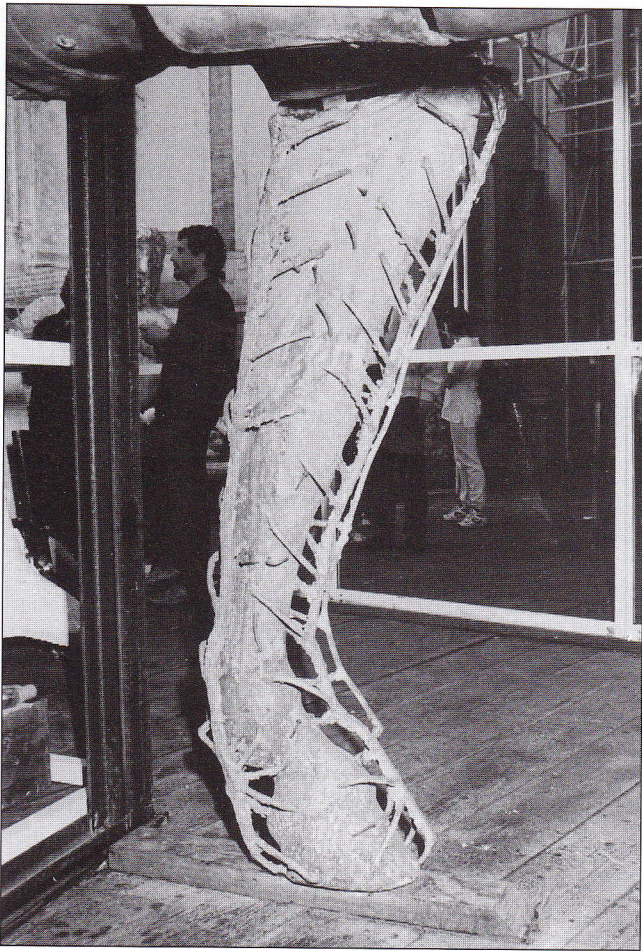


Fig. 2 - Zampa del cavallo dopo la rimozione dello stampo in terra.
Fig. 2 - Horse leg after releasing from the mould.



Fig. 3 - La testa di Marco Aurelio viene finita manualmente al cesello.
Fig. 3 - The head of Marco Aurelio is manually chiselled.

torata in funzione del tempo t da un termocamera per raggi infrarossi (velocità = 60 frame/s).

Per un materiale omogeneo e seminfinito, un modello fisico unidimensionale della diffusione del calore predice che:

$$\Delta T \propto t^{-1/2} \quad (1)$$

dove ΔT è la variazione di temperatura sulla superficie del pezzo.

Qualsiasi scostamento da tale comportamento è connesso ad una variazione delle proprietà termiche interne del materiale e dal ritardo temporale è possibile calcolare la profondità del difetto, che causa l'anomalia termica.

La tecnica è stata usata per evidenziare cavità sottocutanee e

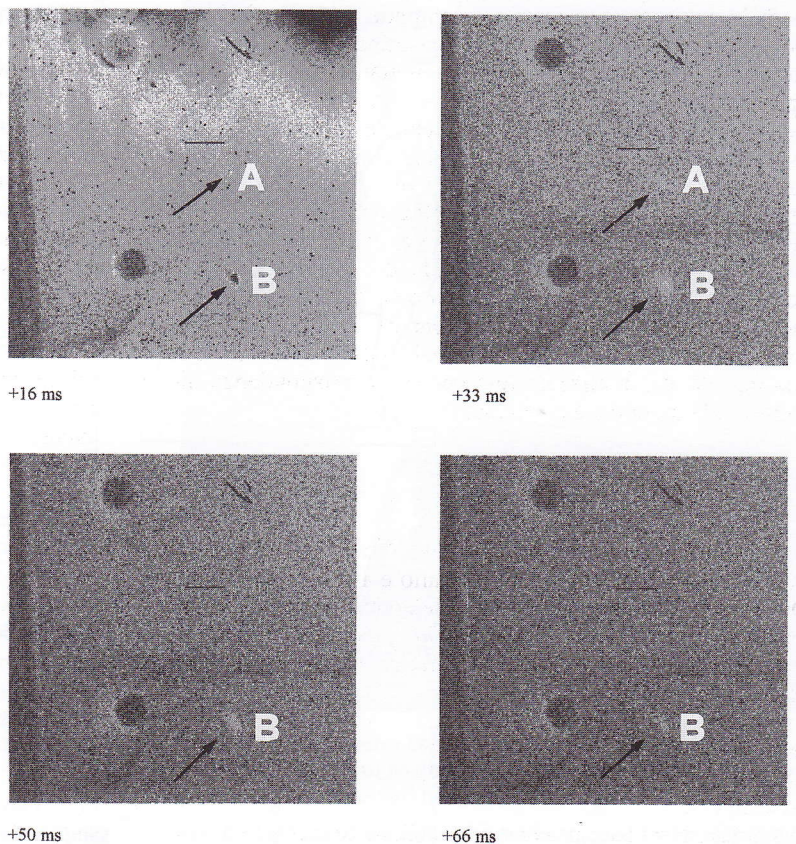


Fig. 4 - Termografia ad infrarosso: le immagini registrate in tempi successivi, dopo 16, 33, 50 e 66 ms dal flash, mostrano la presenza di due bolle sotto la superficie della piastra, indicate come A e B.

La presenza di variazioni cromatiche nella parte in alto della prima immagine (16 ms) è un effetto del transiente immediatamente successivo al flash.

Fig. 4 - Infrared thermography: images recorded at successive times, after 16, 33, 50 and 66 ms, show the presence of two subcutaneous bubbles, indicated as A and B.

Chromatic variations in the upper part of the first image are due to the transient occurring immediately after flash.

determinare la loro dimensione valutando così la qualità delle fusioni.

Un esempio è mostrato in fig.4. La zona studiata appartiene ad una piastra di rinforzo sulla quale sono visibili le teste di due viti. Le immagini, registrate in tempi successivi, mostrano la presenza di due punti anomali, indicati con A e B, riferibili alla presenza di due cavità subito sotto la superficie. La bolla A è di minor dimensione rispetto alla bolla B e si estende ad una minor profondità in quanto nella seconda immagine, dopo 33 ms, il segnale A si è praticamente estinto mentre il segnale B è ancora visibile dopo 66 ms.

Una particolare attenzione è stata prestata all'omogeneità della composizione su scala macro e microscopica poiché fenomeni di segregazione possono dare luogo a tensioni residue e favorire processi di corrosione.

Dalla parte interna di ciascun pezzo sono stati prelevati piccoli campioni di metallo (5 x 5 mm²). Dopo lucidatura meccanica questi campioni sono stati attaccati chimicamente per 30 s in una soluzione di cloruro ferrico (5 g), alcool etilico (96 cc) e acido cloridrico (2 cc) a temperatura ambiente.

Il materiale bifasico, $\alpha + \delta$ (Cu₃₁Sn₈), ha due costituenti strutturali con grani di ~200 μ m. Un costituente è la fase α ricca in Cu, l'altro ha una struttura interna $\alpha + \delta$ come mostrato in fig. 5). La metodologia con cui è stata esaminata ciascuna parte è illustrata in fig. 6 e riguarda il caso della zampa anteriore sinistra.

I campioni vennero prelevati dalle zone indicate e furono quindi preparati seguendo la suddetta procedura.

Le misure microanalitiche EDS furono eseguite su aree di 1 mm², sufficientemente grandi da coprire molti grani, e fu determinata la composizione chimica media. Completata una misura, il campione veniva spostato sotto il fascio elettronico per studiare la zona adiacente fino ad analizzare la superficie intera di ciascun campione. Fu così possibile comparare la concentrazione di Cu, Sn e Zn in aree diverse sullo stesso campione.

Per controllare l'omogeneità di composizione in posizioni diverse di ciascuna pezzo si sono confrontati i valori di concentrazione misurata in ciascun campione. Per esempio, le concentrazioni di Cu misurate nei campioni di fig. 6 mostra-

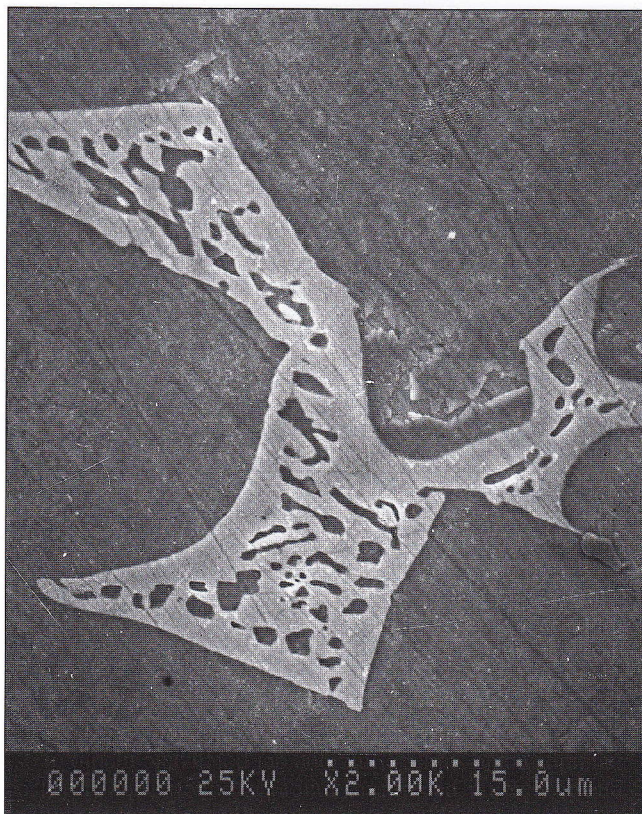


Fig. 5 - La micrografia SEM mostra la struttura bifasica ($\alpha + \delta$) di uno dei due costituenti strutturali.

Fig. 5 - SEM micrograph shows the biphasic structure ($\alpha + \delta$) of one of the structural constituents.

no una variazione di 1% rispetto alla composizione media nominale della lega. Per tutti i campioni analizzati la concentrazione di Cu non ha mostrato mai variazioni superiori a 3% e questo testimonia l'ottima qualità dei getti.

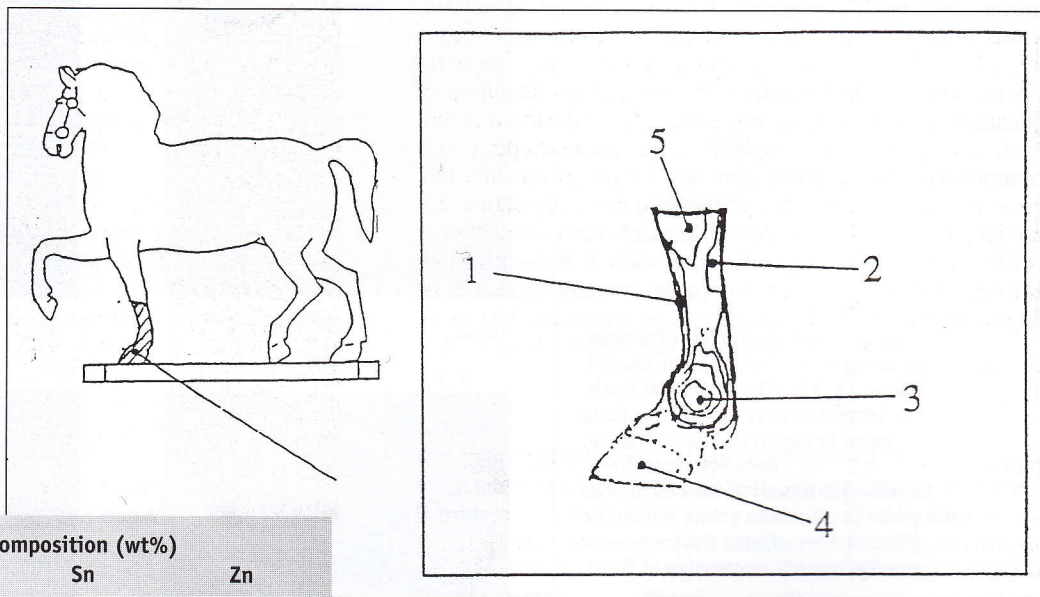


Fig. 6 - Zampa anteriore sinistra del cavallo: dalle zone indicate sono stati prelevati i campioni per la microanalisi EDS. Sono riportati i valori medi di composizione per ciascun campione.

Fig.6 - Left fore foot of the horse: from the indicated zones samples were taken for EDS microanalysis. Mean composition values of each sample are reported.

Sample	Composition (wt%)		
	Cu	Sn	Zn
1	89	6	5
2	88	7	5
3	89	6	5
4	87	7	6
5	87	7	6



Fig. 7 - Cavallo e cavaliere furono assemblati separatamente.



Fig. 7 - Horse and rider were assembled separately.

ASSEMBLAGGIO DEL MONUMENTO

Cavallo e cavaliere furono assemblati separatamente (fig.7). Il posizionamento corretto delle diverse parti, che formano cavallo e cavaliere, fu reso più agevole dai riferimenti posti sulla plastilina e quindi riprodotti sulla superficie esterna di getti. Un esempio è in fig.8. Le diciassette parti formanti il cavallo furono assemblate preliminarmente con punti di saldatura. Per irrigidire la struttura sono state saldate internamente al monumento delle piastre nei punti di maggior stress. Una saldatrice ad arco a filo continuo è stata impiegata per il fissaggio finale delle parti i cui orli erano stati precedentemente sagomati (cianfrinatura) per sistemare il materiale di apporto, costituito dalla stessa lega usata per il monumento. Le zampe del cavallo sono state chiuse in cima, vicino alla pancia, con tappi a vite nei quali erano stati praticati dei piccoli fori per favorire il ricambio di aria ed evitare così la formazione di acqua di condensa. Altri buchi furono fatti nel corpo del cavallo per drenare eventuale acqua di ristagno. Il cavaliere fu assemblato in un modo analogo.

APPLICAZIONE DELLA PATINA

Dopo l'assemblaggio della statua la superficie esterna è stata rivestita da una patina. Il monumento è stato pennellato con una soluzione di solfuro di potassio in acqua mentre il metallo era scaldato a fiamma. In questo modo il colore del bronzo è stato reso il più possibile simile a quello del Marco Aurelio originale. E' stato infine fatto un trattamento protettivo contro la corrosione.

IL POSIZIONAMENTO FINALE

Fonti medioevali riportano che la statua originariamente includeva la figura di un barbaro prono sotto la zampa anteriore-



Fig. 8 - Gamba sinistra del cavaliere: sono visibili i riferimenti usati per un corretto posizionamento durante la fase di assemblaggio dei vari pezzi.

Fig. 8 - Left leg of the rider: the markers, used for correct positioning of the pieces during assembly, are clearly visible.

re destra del cavallo di Marco Aurelio.

Questa figura era già andata perduta nel XV secolo allorché Antonio Averlino, detto il Filarete, eseguì per conto di Paolo II una riproduzione, regalata dal pontefice a Pietro de' Medici e oggi conservata al Museo Albertinum di Dresda.

Molto probabilmente questa figura fu rimossa per ragioni politiche dopo la caduta dell'Impero Romano. La mancanza di questo punto di appoggio creò problemi all'equilibrio statico della statua per cui essa fu appesantita colando del metallo fuso (una lega a base Pb) direttamente nella gamba posteriore sinistra. Naturalmente la copia era altrettanto instabile così fu necessario zavorrarla con circa 300 kg di pallini di Pb per spostare adeguatamente il baricentro.

Il 21 Aprile 1997 la copia del monumento di Marco Aurelio fu posta sul piedistallo michelangiolesco al centro della piazza del Campidoglio.

RINGRAZIAMENTI

L'attività svolta all'Università di Roma "Tor Vergata" è stata condotta con finanziamento C.N.R. - Progetto Finalizzato Beni Culturali.

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Marabelli, *Ancient and Historic Metals: Conservation and Scientific Research*, D.A. Scott, J. Podany and B.B. Considine Eds., The Getty Conservation Institute, 1994, p. 1.
- [2] M. Marabelli, *Ancient and Historic Metals: Conservation and Scientific Research*, D.A. Scott, J. Podany and B.B. Considine Eds., The Getty Conservation Institute, 1994, p. 21.
- [3] C. Bartuli, B. Colombo, M. Marabelli, "Il monumento equestre di Marco Aurelio: studio dello stato di conservazione e dei metodi di protezione superficiale in vista di una possibile esposizione", *Atti del 3° Congresso Nazionale AIMAT*, Napoli Settembre 1996, p. 1003.
- [4] "La riproduzione moderna dei grandi bronzi d'arte: il Marc' Aurelio", Edizioni Il Poligrafico di Stato, (prossima pubblicazione).

ABSTRACT

BUILDING OF THE COPY OF MARCO AURELIO EQUESTRIAN MONUMENT

For serious corrosion damages Marco Aurelio monument was removed in 1981 from its plinth in Campidoglio Square and transferred for restoring to the laboratories of I.C.R.. Increasing levels of air pollution and acid rains led to serious concern about the safety of the monument and it was decided to exhibit a copy in open air and the original inside the Musei Capitolini.

In 1995 the Italian Printing and Minting Institute was entrusted with the task of building the copy, which was made in the foundry of the Mint in Rome. This paper briefly describes the work made to reproduce the statue of Marco Aurelio.

The model

The copy of the equestrian statue of Marco Aurelio was made by a lost wax process.

Since direct moulding operations could have caused damage to the original monument, particularly to ancient golden coatings, a model was built (fig. 1). The photogrammetric survey of the monument (478.154 points for the rider and 463.489 points for the horse) was made in the Physics Laboratory of I.C.R. Survey data were used to rebuild the complex form of the statue by flat sections cut from 5-mm thick PVC plates using a numerical control machine. Dedicated software converted data from survey into tool motions. All the sections have been then assembled on a steel structure. The model was completed by manually applying a 2 mm-thick "skin" of wax plasticine. In this way, it was possible to reproduce every detail of the original statue. Furthermore, some markers were fixed on this skin to make the final assembly of metallic parts of the monument easier and precise. The size of assembled sections was increased of 2% to achieve the dimensional correspondence between copy and original.

Wax patterns and moulds

After completion of the model, silicone rubber moulds of horse and rider, 17 and 14 parts respectively, were prepared. They were made by smearing liquid silicone on model

parts. After solidification the silicone was plastered to provide good rigidity to the structure. From plaster moulds wax patterns were obtained and particular attention was paid to close every porosity.

Moulds were made using "lute". They were baked at 600°C for different times depending on the size and wax melted out through suitable holes leaving place for liquid metal. After baking moulds were reinforced by metallic nets and then plastered.

Casting

The bronze with chemical composition Cu 88, Sn 7, Zn 5 (wt%) was prepared by semi-continuous casting employing induction furnaces.

The presence of Zn as alloying element improves mechanical properties and corrosion resistance, a factor of the utmost importance for a statue placed outdoor thus exposed to air pollution and acid rains. Other advantages are connected to casting operations:

- 1 - Zn is a good deoxidiser because it forms ZnO, which floats on the melt protecting the bath,*
- 2 - Zn improves fluidity of liquid metal and thus guarantees good filling of the moulds.*

Finally bronzes containing Zn have a bright colour, an important characteristic in art foundry.

Melting operations were performed at 1200°C in a gas furnace using graphite melting pots.

After one day moulds were destroyed to release castings. An example is given in fig. 2.

Ventholes, downgates and chaplets were removed and each part was vapor blasted to eliminate residual moulding sand; then was smoothed by grindstones and finally was manually chiselled (fig. 3). After chiselling a bossage covers the surface and the copy resembles the original statue.

Check of macroscopic flaws and segregation phenomena

Before welding each part has been examined by time resolved infrared thermography, optical and scanning electron microscopy with EDS microanalysis to check the presence of macroscopic flaws, in particular subcutaneous blow holes, and of segregation phenomena.

Time resolved infrared thermography is a non-invasive tech-

nique, which permits to study pieces of large size. A photographic flash heats the metal then the temperature T evolution on the surface vs. time t is monitored by an infrared thermocamera. For an homogeneous and seminfinit body a 1D model of heat diffusion predicts that ΔT is proportional to $t^{-1/2}$. Therefore, any variation from such behaviour is connected to a change of material inner thermal properties and it is possible to calculate the depth of the defect causing the thermal anomaly from time delay. The technique was used to find subcutaneous holes (fig. 4) determining their size and thus to evaluate the quality of casts.

Particular attention was paid to the homogeneity of composition since segregation phenomena may give rise to residual stresses and favour corrosion processes. Some samples of small size ($5 \times 5 \text{ mm}^2$) were removed from the inside of each part, mechanically polished and etched.

The biphasic ($\alpha + \delta$) material has two structural constituents with grains of $\sim 200 \mu\text{m}$. A constituent is the Cu-rich α phase, the other one has an internal structure ($\alpha + \delta$) as shown in fig. 5).

The methodology used to examine each part is illustrated in fig. 6. The samples were taken from the indicated sites. EDS measurements were performed on areas of 1 mm^2 , sufficiently large to cover several grains, and the mean chemical composition was determined. After completion of a measurement the sample was shifted under the electron beam and the adjacent zone examined till to scan the whole surface of each sample. So, it was possible to compare the concentration of Cu, Sn and Zn in different areas on the same sample. To check the homogeneity of composition in different positions of each part, mean concentration values of each sample were compared. For all the analysed samples the scattering of Cu concentration never exceeded 3% indicating the general good quality of casts.

Monument assembly

Horse and rider were assembled separately (fig. 7). The correct positioning of different parts forming horse and rider

was aided by markers allocated on every wax pattern and thus reproduced on the external surface of casts (e.g. see fig. 8).

The seventeen parts of horse were preliminary fixed by weld spots. To stiffen the structure plates were welded in points of higher stress inside the monument. An arc-welding machine was employed for the final joining of the parts whose edges were previously tapered to accommodate the filler, which is the same alloy used for the monument.

The legs of the horse were closed on the top, near belly, by screw plugs with small vent pipes to favour the change of air and thus to avoid formation of condensed water. Suitable holes were made to drain backwater from inside the equestrian monument.

The rider was assembled in a similar way.

Patina application and coating of the monument surface

After statue assembly the whole surface was coated by a patina. The monument was painted using a solution of potassium sulphide in water while a gas flame heated the metal. So the colour of the bronze became similar to the colour of the original Marco Aurelio.

Finally a protective treatment against corrosion was given.

The final placing of the monument

Medieval sources report that the statue originally included the figure of a barbarian prone under the right forefoot of Marco Aurelio's horse. For political reasons this figure was removed after the fall of the Roman Empire. To maintain the static balance of the statue in ancient times it was weighted pouring down molten metal (a Pb based alloy) directly into the left hind leg.

Of course, the copy also was not stable so it was necessary to ballast it with $\sim 300 \text{ kg}$ of Pb pellets to suitably shift the centre of gravity.

Finally, on the 21st of April 1997, the copy of Marco Aurelio monument was placed on the Michelangelo plinth at the centre of Campidoglio Square.