

Rivista dell'Opificio delle Pietre Dure e Laboratori di Restauro di Firenze

17 • 2005

O P D RESTAURO



Ministero per i Beni e le Attività Culturali



Centro Di

La fusione delle formelle della Porta del Paradiso: prime ipotesi interpretative

Salvatore Siano, Marcello Miccio, Piero Bertelli, Ferdinando Marinelli

Dopo i molti anni impegnati nella conduzione dell'intervento sulla *Porta del Paradiso*, di straordinaria complessità e per le dimensioni dell'opera e per i nodi problematici che ha presentato, il restauro del capolavoro ghibertiano si approssima alla sua conclusione. Ultimata la campagna diagnostica che ha preceduto e affiancato l'intervento, indirizzandone i procedimenti e valutandone l'efficacia, si è giudicato che fosse giunto il momento di riprendere e completare il progetto di indagine sulla tecnologia esecutiva della porta, solo abbozzato negli studi preliminari all'intervento dei primi anni ottanta.

Nel 2004 la direttrice del restauro Annamaria Giusti, d'intesa col Laboratorio Scientifico dell'Opificio, ha istituito un gruppo di lavoro finalizzato al progetto, e affidato al coordinamento di Salvatore Siano, dell'Istituto di Fisica Applicata 'Nello Carrara', CNR di Firenze. Del gruppo di esperti di archeometallurgia fanno parte Marcello Miccio, del Laboratorio di Restauro della Soprintendenza per i Beni Archeologici della Toscana; Edilberto Formigli, già di detto laboratorio, e Gianluca Garagnani del Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara.

La ricerca tuttora in corso sta portando risultati illuminanti per la conoscenza della tecnologia impiegata nella bottega del Ghiberti, che costituiranno inoltre un inedito contributo per gli studi storico-artistici sulla *Porta del Paradiso*.

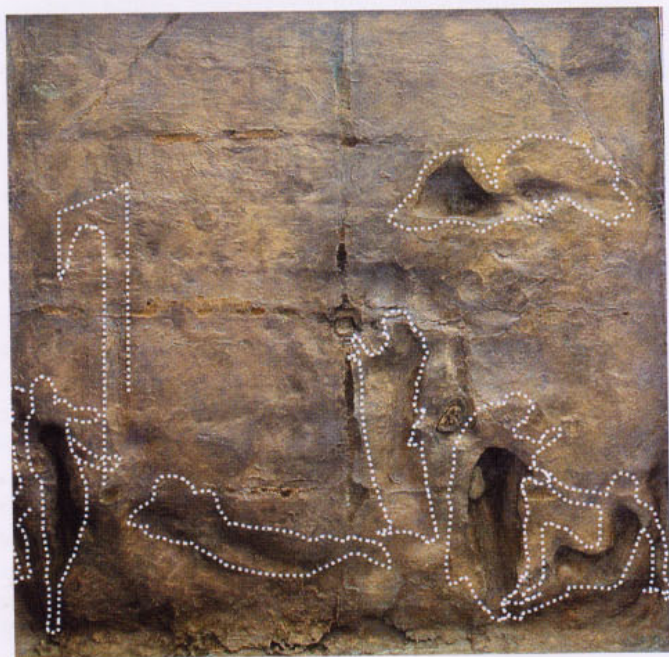
In attesa della conclusione degli studi e di una pubblicazione monografica finale, ci è sembrato opportuno anticipare in questa occasione i primi esiti di questa innovativa ricerca.

[Annamaria Giusti]

Un problema antico

Come ben noto, gli studi sullo stato di conservazione della *Porta del Paradiso* iniziati dopo l'alluvione e il successivo intervento di restauro, rappresentano un capitolo fondamentale per quello che ad un certo punto è stato definito 'restauro scientifico'. In realtà, se si va più indietro negli anni, è facile accorgersi di come l'opera abbia svolto un fondamentale ruolo di stimolo nello sviluppo delle radici più profonde dell'attuale concezione dell'intervento conservativo. Basti pensare ad esempio alle prime indagini analitiche sui materiali presenti nell'incrostazione e alle discussioni sul grado di pulitura in occasione del restauro del 1946, al dibattito della seconda metà dell'Ottocento e a quello di circa un secolo prima, sull'opportunità e sui modi di un possibile intervento di restauro.

La crescita di interesse per gli aspetti tecnologici della scultura in bronzo, unitamente all'importanza fondamentale dell'opera del Ghiberti nel quadro della rinascita della fonderia artistica, porta oggi il capolavoro al centro di un nuovo dibattito scientifico. Dopo aver affrontato e superato una serie di complessi problemi metodologici relativi ai trattamenti conservativi, in vista dell'ormai prossimo rimontaggio ed esposizione, l'Opificio ha infatti promosso uno studio tecnologico della *Porta del Paradiso* finalizzato a un'esauriente descrizione della varie fasi della sua realizzazione. La possibilità di eseguire un esame accurato delle dieci formelle principali e delle otto formelle del fregio smontate per il restauro, unitamente alla disponibilità di metodi analitici avanzati, permette oggi di affrontare in modo esaustivo questo studio, superando tutta una serie di limitazioni incontrate dai gruppi di lavoro che in passato si sono occupati di specifici aspetti tecnologici (Leoni 1968, Cesareo 1976, Leoni 1981, Parrini 1983).



1. *Storie di Adamo ed Eva*. I tratteggi sul retro evidenziano alcune corrispondenze fra gli incavi e le figure del rilievo.

Il progetto di ricerca, proposto e coordinato dal responsabile del Settore Bronzi Annamaria Giusti, prevede una ricognizione sistematica delle leghe e di tutti gli aspetti morfologici macro e microstrutturali pertinenti ad una completa individuazione dei materiali utilizzati, alla descrizione delle tecniche fusorie e successive lavorazioni del metallo. In particolare, sono oggetto di indagine: 1) le composizioni chimiche e le microstrutture delle leghe, 2) le geometrie e le dinamiche di getto, 3) le terre di fusione, 4) le lavorazioni a valle delle fusioni, 5) la tecnica di doratura. In stretta coordinazione con un'approfondita ricerca storico-artistica, il progetto si pone anche l'obiettivo di individuare possibili evoluzioni metodologiche nel corso della realizzazione delle varie formelle della porta e di inquadrare l'opera del Ghiberti nel contesto del primo Rinascimento e della tradizione bronzistica.

In questo lavoro riportiamo le prime ipotesi interpretative sulla tecnica di fusione delle formelle, formulate sulla base dei dati ricavati dall'esame obiettivo di nove delle dieci formelle principali della Porta, dalle radiografie della formella raffigurante *Storie di Giosuè*, e da quanto già emerso nell'indagine metallurgica dei primi anni ottanta (Parrini, 1983).

La formatura delle cere

Osservando il retro delle formelle, ci si rende immediatamente conto che gli incavi seguono generalmente, anche se molto grossolanamente, i rilievi frontali. Così ad esempio, nel caso della formella raffigurante *Storie di Adamo e Eva* riportata in figura 1, si può notare che il retro riproduce in negativo non solo figure aggettanti, come il Creatore e Eva cacciata dal Paradiso, o altri elementi in forte rilievo, come la chioma degli alberi, ma anche una serie di rilievi minori, come Adamo dormiente e l'arco nella scena della cacciata. Una tale caratteristica è propria di una fusione a cera persa indiretta, in cui la formatura del positivo in cera avviene in un calco (negativo) del modello di partenza, scolpito in materiale plastico (creta o altro).

Questa ipotesi è supportata anche dalla presenza di numerosi altri dettagli rilevati sul retro delle formelle. Le molte gocce, segni di pennellate e rinforzi manuali degli spigoli, che in qualche caso portano impresse anche una serie di impronte digitali (fig. 2), confer-

2. Particolari delle formelle
 a) *Storie di David*; b) *Storie di Giuseppe ebreo*; c) *Adamo ed Eva*;
 d) *Esau e Giacobbe*.
 Gocce, rinforzi manuali degli spigoli e tracce di pennello mostrano con evidenza che si tratta di fusioni a cera persa.



a



b



c



d

mano infatti che varie operazioni di formatura della cera sono state effettuate dal retro. Inoltre, tali indizi forniscono indicazioni sulle diverse modalità per portare a spessore le cere. Dopo aver creato un primo strato al più di pochi millimetri (1-3 mm), spennellando la forma con una cera adatta a 'copiare' i dettagli più fini, in alcuni casi è stata utilizzata la cosiddetta tecnica a risciacquo, in altri l'applicazione manuale e/o a pennello, in altri ancora combinazioni di questi tre metodi.

Il 'risciacquo' consiste nel colmare con cera liquida la forma per un certo tempo, onde favorire la solidificazione in vicinanza della parete del negativo entro lo spessore desiderato. Trascorso il tempo necessario, la cera in eccesso, ancora liquida, viene recuperata riversandola in un contenitore. In questo modo si ottiene uno spessore abbastanza omogeneo, fatta eccezione per gli spigoli degli incavi in cui lo scorrimento della cera calda può causare assottigliamenti significativi che richiedono l'applicazione manuale di rinforzi del tipo di quelli riscontrati su alcune formelle (fig. 2). Per le formelle in cui questi rinforzi non sono visibili e che presentano una superficie relativamente irregolare e/o con tracce di pennellate, la cera è stata probabilmente ingrossata manualmente, anche se nulla si

può dire su un eventuale precedente risciacquo. Allo stato della ricerca, la nostra conclusione preliminare è quindi che le formelle sono state fuse utilizzando la tecnica a cera persa indiretta. Nel caso presente, però, questa implica automaticamente anche una fase di montaggio e rifinitura diretta non trascurabile. Infatti, è ragionevole ritenere che il modello calcato fosse privo di figure e di altri elementi molto aggettanti che presentavano sottosquadri tali da complicare o non consentire l'ottenimento del calco. Possiamo ipotizzare che i sottosquadri del modello fossero meno pronunciati di quelli finali e che le complesse figure a tutto tondo fossero in parte smontabili nelle zone in cui potevano creare impedimenti all'estrazione del calco, come pure alla successiva operazione di sformatura della cera da quest'ultimo. Un tale procedimento implica la scultura diretta delle parti 'appiattite' del modello, la formatura indipendente di quelle rimosse e il loro montaggio sulla formella in cera già realizzata come descritto. In definitiva riteniamo che sia stata utilizzata una tecnica di formatura mista, in massima parte indiretta, ma con rilevanti interventi di scultura diretta.



3. Dettaglio radiografico della formella con *Storie di Giosuè*, che mostra la notevole quantità di bolle presente nel getto.

La fusione delle formelle

Le indagini radiografiche svolte recentemente sulla formella raffigurante *Storie di Giosuè* hanno messo in luce un fuso con un'alta densità di bolle che si concentrano particolarmente nella parte alta (fig. 3). Tale risultato, analogo a quanto già osservato per le formelle raffiguranti *Storie di Giuseppe Ebreo, Caino e Abele, Adamo ed Eva*, permette di escludere una fusione in posizione orizzontale, ma ciò non implica necessariamente una posizione perfettamente verticale.

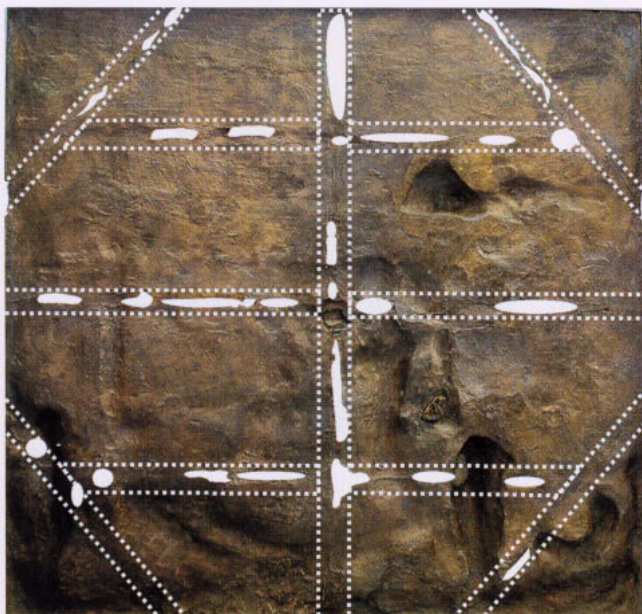
Molto meno chiara è invece la disposizione dei canali del getto. Sul retro delle formelle sono infatti presenti "strane" impronte di canali che corrono parallelamente alla superficie. Le evidenti lacune da strappo e segni di tagli a scalpello prodotti in fase di nettatura del getto, testimoniano che in tali canali è passato il metallo fuso e che essi erano comunicanti con la forma in varie zone. La figura 4 mostra il retro della formella raffigurante *Storie di Adamo ed Eva* in cui è schematizzata la disposizione dei canali che si evince dalle tracce presenti. Le aree evidenziate in bianco rappresentano le zone in cui è avvenuto uno scambio di metallo liquido tra i canali e la forma di fusione propriamente detta; esse corrispondono appunto a lacune e tagli appena menzionati.

Per quanto a noi noto, non sono stati documentati altri casi di simili canalizzazioni su opere bronzee. Normalmente le colate, oggi come nell'antichità, sono disposte a risalita (a sifone) e connesse alla

superficie di fusione formando un certo angolo di incidenza rispetto alla direzione perpendicolare alla superficie, ad esempio tra 0° e 60° , comunque mai parallelamente (90°), come nel caso presente. Di fronte all'attuale disposizione ci siamo innanzitutto chiesti se essa fosse o meno funzionale alla dinamica del getto. Al dibattito hanno preso parte anche titolari e tecnici di tre fonderie d'arte toscane: Marinelli, Mariani e Salvadori. Dalla discussione sono emerse varie ipotesi interpretative: 1) canali corrispondenti a una struttura di sostegno per la cera realizzata inizialmente con canne, utile durante e dopo la sformatura dal calco, ma non al getto; 2) parte dei canali di colata connessi ad altri canali lungo la cornice per fondere la formella in posizione orizzontale; 3) canali di colata per fondere la formella in posizione verticale con le scene capovolte. Pur non essendo ancora giunti a una conclusione definitiva in merito, riteniamo improbabile la seconda, perché contrasta con gli esiti dell'indagine radiografica, ma anche la prima, da sola, appare poco ragionevole alla luce della notevole variabilità delle tracce presenti sulle varie formelle. Inoltre, in qualche caso esse assumono forme, se non incompatibili, alquanto inconsuete per assolvere alla funzione di sostegno. Così ad esempio se la struttura dietro la formella *Storie di Giosuè* potrebbe effettivamente suggerire una funzione di supporto questo non è certo il caso della formella *Storie di David* (fig. 5) o *Storie di Mosè*.

Anche se il ruolo di sostegno di queste strutture non va effettivamente trascurato in nessun caso, esso non può essere né il solo né tanto meno il fondamentale. Oltre ai contatti stabiliti tra la formella e la retrostante canalizzazione, l'esame obiettivo ha messo in luce tracce di sfiati frontali in corrispondenza delle teste delle figure aggettanti, ma non di altri canali e/o ingressi di metallo, fatta eccezione per un probabile canale portante sul retro delle *Storie di Giuseppe ebreo* e di *Storie di Caino e Abele*. Se assumiamo per definitivi questi dati, i canali di colata dovevano quindi essere necessariamente connessi in vari punti della struttura di canali con asse parallelo alla superficie e/o alla cornice della formella che, forse a causa della pesante modellatura a scalpello e spianatura a cesello, non mostra però chiare tracce di ingressi.

Prima ancora di ipotizzare le possibili configurazioni del getto, occorre innanzitutto provare ad interpreta-



4. All'interno della formella raffigurante *Storie di Adamo ed Eva* in cui sono evidenziate le tracce di canali. All'interno di tali tracce, le macchie bianche corrispondono alle zone di ingresso del metallo nella forma.

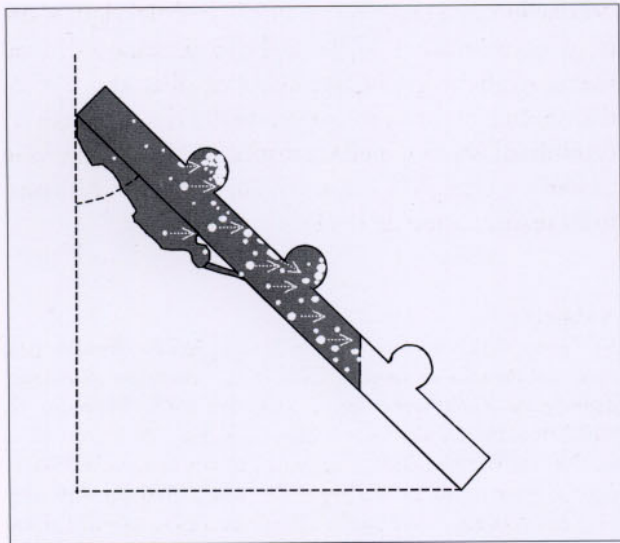
re la funzione di canali, potremmo dire, tangenti alla parete del getto. Sulla base dei dati emersi dall'osservazione, possiamo formulare l'ipotesi che si tratti di: a) canali di sfiato, b) una 'trappola per bolle', e/o c) un sistema per attenuare la pressione d'impatto del metallo fuso sulla parete della forma, che avrebbe potuto causare locali fenomeni di erosione.

Come già detto, l'indagine radiografica suggerisce infatti che, per qualche ragione riconducibile alla modalità di getto, composizione e struttura del mantello di fusione, alla non perfetta cottura della forma, alla composizione della lega e alla sua temperatura in fase di getto, la qualità delle fusioni del Ghiberti fosse fortemente compromessa dall'eccessiva formazione di bolle. A causa del ridotto spessore delle formelle, questo fenomeno poteva dare origine a mancanze e soffiature che complicavano notevolmente il lavoro di integrazione mediante rifusioni e tassellature, come pure quello di rifinitura delle superfici. Non essendo riusciti a risolvere la causa, i fonditori della bottega si sono forse concentrati sull'attenuare al massimo l'effetto indesiderato. A tal fine potrebbero aver fuso la formella in posizione obliqua, per minimizzare le soffiature sulla parte anteriore, e aver applicato sulla superficie il canale verticale centrale e quelli obliqui

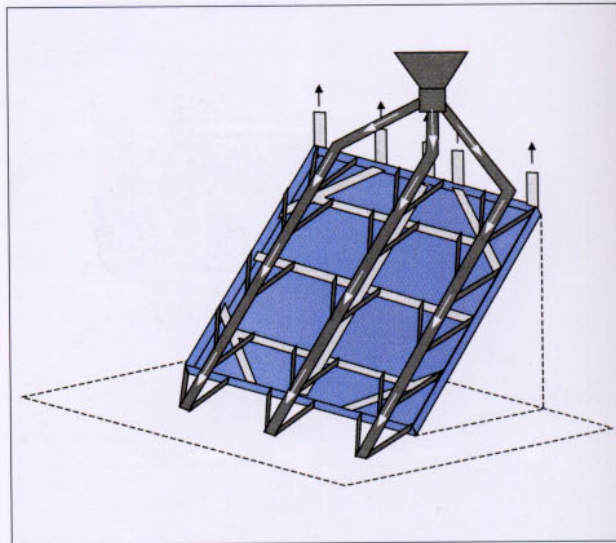


5. Retro della formella raffigurante *Storie di David*.

per estrarre rapidamente l'aria intrappolata nella colata, come pure eventuali grosse nucleazioni gassose. Mentre i canali orizzontali, di fatto più anomali, potevano essere utili ad intrappolare bolle di gas più piccole e lente che l'alta temperatura del metallo fuso sviluppava dalle pareti della forma a causa dell'eventuale presenza di umidità, residui di cera o altro. Il principio di funzionamento è schematizzato in figura 6, che mostra una sezione della forma durante il riempimento; le dimensioni sono state arbitrariamente alterate per rendere chiaro il fenomeno di accumulo di bolle nella parte alta della sezione dei canali orizzontali e l'inclinazione è stata fissata a 45° a titolo di esempio. I tre canali e la posizione obliqua assicurano un'estrazione relativamente rapida delle bolle dal getto, riducendo notevolmente quello che sarebbe stato il percorso di risalita se la formella fosse stata in posizione verticale. L'opportunità, o forse necessità, di una tale soluzione appare ancora più chiara se si pensa che, a causa del basso alligaggio, la solidificazione della lega avveniva in tempi relativamente rapidi. Infine, l'ipotesi della terza possibile funzione menzionata sopra, deriva dalla considerazione che il flusso del metallo fuso nei canali orizzontali e l'aumento di sezione portante verso la forma, può aver attenua-



6. Rappresentazione schematica dell'ipotetica funzione di sfiato e intrappolamento di bolle dei canali orizzontali. I rapporti dimensionali sono stati intenzionalmente alterati e l'inclinazione della forma è stata arbitrariamente scelta per meglio illustrare il principio.



7. Rappresentazione schematica dell'ipotesi di una distribuzione di canali di getto a 'risalita'. Come nella figura precedente, il disegno non è in scala e l'inclinazione arbitraria. Nulla cambia se quest'ultima fosse stata solo di pochi gradi, in luogo degli attuali circa 45 gradi.

to sensibilmente la velocità d'uscita dal canale di colata con una conseguente diminuzione della pressione d'impatto sulla parete frontale della forma.

È molto difficile stimare il numero e le posizioni degli ingressi del metallo nella forma, se si assume che essi giungevano in buona parte sulla canalizzazione appena descritta, che è stata rimossa in fase di nettatura, e sulla cornice. A titolo di esempio, sulla base di criteri di fattibilità empirici, la figura 7 mostra una possibile configurazione con tre mandate principali in cui la cornice assolve in qualche modo a una funzione di sfiato simile a quella dei canali tangenti alla parete di fusione, verticali e obliqui, come pure di attenuazione della pressione d'impatto. Il grado di inclinazione può essere qualunque, l'angolo di 45° in figura 7 è stato scelto solo al fine di illustrare il principio.

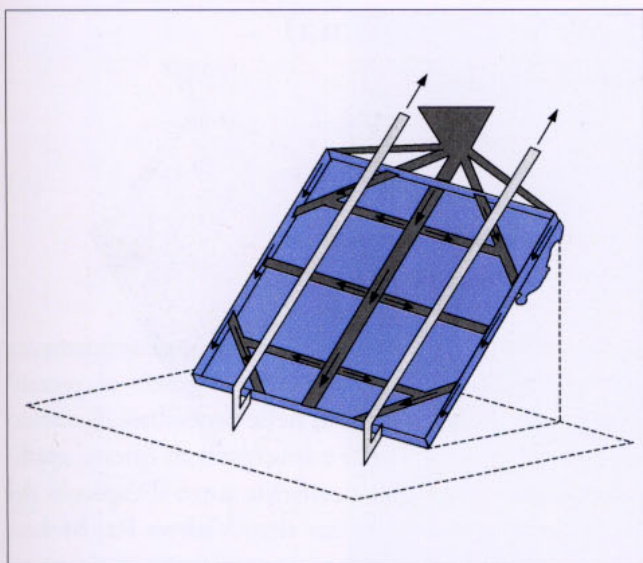
I punti deboli di questa prima interpretazione sono legati sia al suo notevole livello di elaborazione tecnica, per il quale non esistono ad oggi altre testimonianze documentate, sia all'assenza di tracce certe di ingressi sulle cornici delle formelle qui ipotizzati. Per queste ragioni riteniamo utile considerare anche una interpretazione sostanzialmente diversa, a cui si giunge elaborando l'ipotesi 2) emersa dall'osservazione obiettiva.

In luogo del getto a risalita, realizzato attraverso una

struttura a sifone, si potrebbe assumere una configurazione a caduta, attraverso la cavità della forma e i canali tangenti. Questi ultimi avrebbero così lo scopo di favorire la distribuzione del metallo nel volume della cavità e accelerarne la discesa. In questo caso, si potrebbe pensare a una posizione della formella verticale o leggermente inclinata, facendo salve le funzioni di sfiato e trappola per bolle descritte sopra, ma verosimilmente orientata nel verso opposto a quello naturale. La disposizione di getto a cui si giunge in questo caso è schematizzata in figura 8, dove la cornice acquista ora una funzione di colata simile a quella del canale centrale.

Sviluppi futuri

Le note preliminari sulla fusione delle formelle qui riportate costituiscono il punto di partenza di un'indagine più approfondita già in corso che sarà documentata in un prossimo lavoro. Essa prevede innanzitutto la verifica sperimentale delle ipotesi interpretative enunciate sopra. Grazie alla collaborazione di Ferdinando Marinelli, che ha messo a disposizione materiali, macchine e personale esperto, saranno a breve realizzati due esperimenti di fusione seguendo le due ipotesi interpretative riassunte nelle figure 7 e



8. Rappresentazione schematica dell'ipotesi di distribuzione di canali di getto a 'caduta'. Per dimensioni e inclinazione valgono le stesse considerazioni della figura 7.

8, cercando di realizzare tutte le condizioni dedotte dall'esame obiettivo e dalle prime analisi su lega e terra del mantello. Per motivi logistici saranno fuse le formelle raffiguranti *Storie di Esaù e Giacobbe* utilizzando la canalizzazione riscontrata sul retro di *Storie di Giosuè*, l'unica per la quale si dispone di una documentazione radiografica soddisfacente, che presenta impronte di canalizzazione solo leggermente diverse rispetto alle formelle con *Storie di Adamo ed Eva* assunta nelle schematizzazioni delle figure 7 e 8. Supponendo che una o entrambe le fusioni vadano a buon fine, si procederà a un confronto dettagliato delle caratteristiche morfologiche del retro con quanto osservato sulle formelle originali e tra la distribuzione di bolle ottenuta con quella presente in *Storie di Giosuè*.

I dati emersi dall'esame obiettivo delle formelle saranno criticamente rivisti sulla base di quanto emergerà dalla sperimentazione. Per ogni fase di lavorazione che si considererà sufficientemente dimostrata, si procederà alla verifica del suo grado di generalità per le varie formelle, con lo scopo finale di ottenere per ogni formella una descrizione alquanto dettagliata della tecnica fusoria.

In questo lavoro non sono stati trattati gli aspetti che riguardano la nettatura del getto, la doratura e le

decorazioni, né tanto meno quelli analitici riguardanti la composizione delle leghe e le caratteristiche metallografiche già in fase avanzata di studio. Prevediamo una graduale integrazione dei risultati dei vari capitoli di studio, nella prospettiva di una visione unitaria e completa dei materiali e metodi utilizzati nella realizzazione della *Porta del Paradiso*.

Bibliografia

- M. Leoni, *Relazione delle indagini metallografiche effettuate sulla Porta del Paradiso di Lorenzo Ghiberti, del Battistero di Firenze, danneggiata dall'alluvione del 4 novembre 1966*, Rapporto N. 68/17.918, Istituto dei Metalli Leggeri, Milano, 1968.
- R. Cesareo, M. Marabelli, *Analisi XRF di antiche porte italiane in leghe di rame*, in *Atti del Convegno dei Lincei*, 1976, pp. 409-420.
- M. Leoni, *Studio metallografico della Porta del Paradiso di Lorenzo Ghiberti del Battistero di Firenze*, 'La Fonderia Italiana', 4, 1981, pp. 99-101.
- Parrini, in *Metodo e scienza operatività e ricerca nel restauro*, a cura di U. Baldini, Firenze 1983, pp. 168-206.