

TECNOLOGIA NELL'ANTICHITA' - N. 3

N. CUOMO DI CAPRIO - M. MARTINI - E. SIBILIA - G. SPINOLO

Laboratorio di Termoluminescenza applicata all'Archeologia.

Istituto di Scienze Fisiche - Università degli Studi di Milano.

L'ANALISI DI TERMOLUMINESCENZA NELL'AUTENTICAZIONE DI MATERIALE FITTILE: ALCUNI ESEMPI DI APPLICAZIONE

INTRODUZIONE

CAPITOLO I: *Analisi di termoluminescenza (TL)*

- I.1 - Premessa
- I.2 - Principi fisici
- I.3 - Illustrazione del metodo della TL
- I.4 - Tecniche di analisi

CAPITOLO II: *calcolo della dose totale*

- II.1 - Preparazione dei campioni: aspetti generali
- II.2 - Preparazione dei campioni per la tecnica *fine-grain*
- II.3 - Preparazione dei campioni per la tecnica *inclusion*
- II.4 - Calcolo della dose beta equivalente e dell'intercetta di non linearità
- II.5 - Strumentazione

CAPITOLO III: *calcolo della dose annua*

- III.1 - Metodologie di calcolo
- III.2 - Tecniche di misura
- III.3 - Strumentazione

CAPITOLO IV: *schede tecniche e stilistiche*

CAPITOLO V: *commento dei risultati*

Bibliografia

N. CUOMO DI CAPRIO

Appendice N. 1:

Esame delle incrostazioni

N. CUOMO DI CAPRIO

Appendice N. 2:

Prove sperimentali di modellazione al tornio

L'ANALISI DI TERMOLUMINESCENZA NELL'AUTENTICAZIONE DI MATERIALE FITTILE: ALCUNI ESEMPI DI APPLICAZIONE

Introduzione

La prima pubblicazione del nostro gruppo di lavoro, nel 1976, si prefiggeva di rendere noto agli studiosi il formarsi presso l'Università degli Studi di Milano di una collaborazione interdisciplinare in uno dei settori dell'archeometria, e precisamente in quello della termoluminescenza applicata all'archeologia. In tale occasione veniva data una prima sommaria descrizione di questo nuovo metodo di indagine, e se ne delineavano le possibilità di applicazione nel campo dell'autenticazione e della datazione di materiale fittile.

A distanza di alcuni anni, con la presente pubblicazione intendiamo riprendere l'argomento e portare un ulteriore contributo nell'intento di pervenire a un rapporto interdisciplinare sempre più stretto tra l'archeologia e le scienze fisiche. Per favorire il più possibile l'intesa tra campo umanistico e campo scientifico ci siamo anche proposti lo scopo di rendere meglio accessibile la terminologia relativa all'argomento che, sulle riviste specializzate, può forse apparire eccessivamente tecnica, il che le impedisce di raggiungere con piena efficacia l'archeologo e lo studioso di formazione prevalentemente umanistica.

Mentre rimandiamo a una data successiva un rapporto sui risultati raggiunti nel nostro laboratorio nel campo della datazione, nella presente pubblicazione ci limitiamo ad illustrare l'applicazione del metodo nel campo dell'autenticazione. Ciò nell'intento di illustrare un primo stadio nella messa a punto di questo moderno mezzo di indagine, offrendo nel contempo un sussidio tecnico in grado di fugare i dubbi che possono presentarsi all'archeologo chiamato ad esaminare reperti mancanti di precisi dati di scavo.

Capita infatti che gravi il dubbio dell'autenticità su reperti di notevole interesse storico-artistico di ignota provenienza. Le perplessità possono sorgere anche a livello di Museo dove siano confluite per donazione, per lascito o in deposito, collezioni private di cui spesso l'unico dato conosciuto con sicurezza è il nome del donatore. Un'opera di bonifica sarebbe auspicabile anche nelle collezioni private, e soprattutto nel mercato di antiquariato dove abbondano le imitazioni messe in circolazione a scopo di lucro.

Nei pochi anni di attività sinora svolta, il nostro laboratorio ha dato a questo programma il suo contributo, per quanto limitato, e le analisi di autenticazione svolte ne offrono una testimonianza.

Per approfondire l'argomento, si ritiene ora opportuno portare all'attenzione degli studiosi un'esemplificazione di casi significativi. Per alcuni di essi l'analisi di termoluminescenza ha convalidato l'autenticità dei reperti, mentre in altri casi l'analisi è servita a dimostrare che si tratta di manufatti di recente fabbricazione, cioè di falsi.

Vengono qui indicati brevemente i reperti analizzati e le ragioni della scelta:

Scheda n. 1: anfora a figure nere.

Esempio di reperti controversi sulla cui autenticità esistono pareri discordi.

Scheda n. 2: statuetta femminile del tipo Tanagra.

Esempio di coroplastica modellata a calco. Questo tipo di lavorazione limita le possibilità di esprimere un giudizio di autenticità basato sugli elementi stilistici, in quanto è noto che i falsari si avvalgono di matrici autentiche per produrre le loro imitazioni.

Scheda n. 3: urnetta funeraria con decorazione a rilievo.

Esempio di decorazione figurata a rilievo eseguita a calco con rifiniture a stecca. L'imitazione non presenta eccessiva difficoltà, tanto più che un abile vasaio può facilmente ricavare delle matrici da un reperto originale, e da queste produrre una serie di imitazioni.

Scheda n. 4: coperchio di urnetta con figura di recumbente.

Anche in questo caso, come nel precedente, l'imitazione può essere fatta con facilità, e non è individuabile con immediatezza. Inoltre, essendo ignoti i dati di acquisizione sia del coperchio sia dell'urnetta funeraria, esiste la possibilità che i due reperti, essendo scompagnati, siano stati accostati casualmente. In simili casi l'analisi di termoluminescenza può essere utile per fare acquisire dati di conferma o di rigetto di una tale ipotesi.

Scheda n. 5: scodella apoda, acroma.

Esempio di ceramica domestica di tipologia ancora poco nota, o poco significativa, che per la sua modesta fattura non caratterizzata da chiari elementi stilistici è di difficile inquadramento storico. Quando mancano esatti dati di scavo, reperti di questo tipo possono essere attribuiti ad un arco di tempo che spazia nei secoli, nel caso qui in esame dalla romanità al medioevo.

Scheda n. 6: alabastron a figure nere

Scheda n. 7: lekythos a fondo bianco

Scheda n. 8: olpe a rotelle con fregi di animali

Esempi di vasellame decorato sulla cui autenticità erano stati sollevati dei dubbi.

Sul mercato di antiquariato, reperti fittili di questa tipologia hanno notevole valore commerciale, il che favorisce le imitazioni da parte dei falsari, imitazioni talvolta eseguite a livello talmente specialistico da lasciare in dubbio anche gli esperti.

Scheda n. 9: calice in bucchero.

Esempio di bucchero. Per le sue caratteristiche di impasto e di cottura, questo tipo di ceramica è facile da imitare, e al tempo stesso rende di difficile interpretazione la sua autenticità o meno.

Scheda n. 10: statuetta femminile acefala.

Questo manufatto rappresenta un caso particolare in quanto sono accertate sia la sua acquisizione da parte della Civica Raccolta Archeologica di Milano nell'anno 1864, sia la sua provenienza da una collezione privata formata nel primo Ottocento.

Si poneva pertanto l'interrogativo se si trattava di un reperto autentico di epoca ellenistico-romana oppure di un'imitazione. In quest'ultimo caso avrebbe costituito un esempio di manufatto ottocentesco, riflettendo il gusto dell'epoca per i reperti archeologici.

A grandi linee, la presente pubblicazione comprende una prima parte che illustra il metodo della termoluminescenza, i principi fisici su cui si basa, le tecniche di analisi e la strumentazione (cap. I-II-III); una seconda parte che comprende le schede tecniche e stilistiche dei dieci reperti analizzati (cap. IV); indi la parte conclusiva con i commenti sui risultati delle analisi (cap. V). Nei capitoli I, II, III e V sono stati omessi riferimenti a specifiche pubblicazioni che peraltro sono elencate in fondo al presente lavoro nella bibliografia generale e in quella riferentesi specificamente all'autenticazione.

A completamento del lavoro seguono due brevi appendici, una dedicata all'esame delle incrostazioni e l'altra riguardante alcune prove sperimentali di modellazione al tornio.

Milano, Aprile 1982

Ci è gradito ricordare la collaborazione dei dottori Franco Sacchi e Isabella Mainoni che, pur svolgendo oggi una diversa attività, hanno ugualmente contribuito per dare vita alla presente pubblicazione, per la qual cosa li ringraziamo vivamente.

Siamo lieti di ricordare anche l'apporto dato dal dott. Fabio Danesi in relazione alla sua tesi di laurea svolta nel 1979, e dalla dott.ssa Maria Pia Pisoni per la messa a punto della tecnica di misura di attività alfa, in relazione alla sua tesi di laurea svolta nel 1981.

Siamo grati al prof. Mario Terrani e alla dott.ssa Alessandra Cesana del Centro Studi Nucleari E. Fermi del Politecnico di Milano per avere gentilmente eseguito le analisi per attivazione neutronica.

Ringraziamo anche la dott.ssa Adele Sichirolo dell'Istituto Nazionale per lo Studio e la Cura dei Tumori, per la gentile collaborazione nelle misure relative alla taratura delle sorgenti radioattive.

CAPITOLO I

L'analisi di termoluminescenza (TL)

I.1 Premessa

Premettiamo che in campo archeologico l'analisi di TL viene di norma applicata a materiale ceramico e non ad altre sostanze (metalli, materie organiche, etc.) in quanto si basa sulle proprietà termoluminescenti delle inclusioni cristalline presenti nel corpo ceramico (ossia nell'argilla che ha subito una cottura).

In questo studio ci si occuperà principalmente della autenticazione di reperti fittili mediante l'analisi di TL, mentre la problematica dell'applicazione dello stesso metodo alla datazione verrà solo considerata quando ritenuto necessario per uno sviluppo logico del discorso.

Seguiremo da vicino il cammino percorso da un reperto fittile da autenticare.

Anzitutto, per approdare al laboratorio di analisi il reperto deve presentare delle caratteristiche tali da mettere all'erta l'archeologo: discordanze nella forma, divario tra parti strutturali e stile decorativo, incoerenze negli elementi di decorazione, aspetto esageratamente «fresco», altre anomalie a volte minime, a volte molto vaghe, tali comunque da destare sospetto e dubbio.

Sospetti e dubbi che però riguardano soltanto l'autenticità del reperto: se questo risulta autentico, la sua collocazione storica è indicata chiaramente dagli elementi stilistici. Al laboratorio di TL si chiede quindi di controllare se le proprietà termoluminescenti del reperto «sospetto» siano compatibili con l'età presunta, mentre non viene richiesta l'indicazione di una

età assoluta che spetta all'archeologo attribuire con precisione.

Per eseguire un'analisi di autenticazione, unico presupposto è il poter prelevare un campione del reperto, campione che consiste in un quantitativo molto ridotto, dell'ordine di alcune decine di milligrammi al massimo.

Al contrario, ove al laboratorio venisse richiesta un'analisi di datazione, l'esame di TL verrebbe eseguito con le stesse tecniche usate per l'autenticazione, ma dovrebbe essere completato con misure supplementari che richiedono la disponibilità di una campionatura del terreno di rinvenimento, di numerosi e precisi dati ambientali e di scavo, e di un quantitativo abbondante del reperto da datare, requisito quest'ultimo che di norma suscita problemi non facili da superare. E' da notare però che in linea generale più che un singolo reperto si data uno strato ove è senz'altro possibile trovare più reperti coevi; è inoltre chiaro che il problema della datazione ha un rilievo di gran lunga maggiore per siti protostorici e preistorici che non per siti classici dove molti sono i riferimenti storico-stilistici che forniscono precisi elementi per la datazione. Sarà quindi un piccolo sacrificio per l'archeologo la distruzione e la trasformazione in campioni di alcuni frammenti di scarso rilievo estetico, ma di uguale contenuto di informazione sull'età.

Vediamo in primo luogo quali sono i principi fisici del metodo, poi quali sono i dati che è necessario conoscere per condurre efficacemente l'analisi.

I.2 Principi fisici.

La termoluminescenza è un'emissione luminosa che avviene durante il riscaldamento di alcuni materiali cristallini in conseguenza di un loro precedente irraggiamento da parte di radiazioni ionizzanti. Granuli termoluminescenti (quarzo, feldspati, calcite e altri) sono sempre presenti nel corpo ceramico, per cui campioni di questo, preparati con metodi particolari e riscaldati a una determinata temperatura emettono una luminosità, debolissima, che può essere misurata con adeguata strumentazione.

Per comprendere il meccanismo dell'emissione di TL occorre ricordare che i cristalli termoluminescenti possiedono particolari imperfezioni a livello reticolare nelle quali possono essere catturati degli elettroni resi liberi dall'azione delle radiazioni ionizzanti (raggi X, gamma, particelle alfa e beta). Queste imperfezioni sono chiamate « trappole » in quanto gli elettroni ivi catturati non possono uscire se non con apporto di energia. Quando si somministra energia (ad esempio termica) gli elettroni escono dalle trappole e ritornano allo stato fondamentale emettendo luce. Le trappole hanno diversa profondità,

perciò vengono svuotate a energie diverse: tanto più esse sono profonde, tanto maggiore è l'energia necessaria per liberare gli elettroni intrappolati e tanto maggiore è la temperatura a cui viene emessa la luce.

Poiché il numero degli « intrappolamenti » dipende strettamente dall'energia ceduta al corpo ceramico da parte delle radiazioni ionizzanti, energia che è direttamente proporzionale all'età del reperto, occorre accertare che questi elettroni siano intrappolati stabilmente, cioè che sia molto bassa la probabilità che essi escano spontaneamente dalle trappole. Per questo motivo vengono studiate le emissioni luminose di TL prodotte ad alta temperatura, ossia la TL prodotta da elettroni che provengono da trappole così profonde da non aver potuto subire svuotamenti a temperatura ambiente.

Per comprendere come le trappole possono essere riempite da elettroni bisogna ricordare che tutti i materiali della Terra sono sottoposti a un continuo irraggiamento naturale dovuto alle impurezze radioattive presenti negli stessi materiali e nell'ambiente circostante; un piccolo contributo di radiazioni proviene anche dallo spazio, cioè dai raggi cosmici.

Nel corpo ceramico le impurezze radioattive più comuni sono rappresentate da Uranio-238, Torio-232 e Potassio-40 (^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K), presenti in quantità dell'ordine di poche parti per milione (ppm). L'azione combinata dell'irraggiamento proveniente da tali impurezze e da quelle presenti nel terreno di rinvenimento e nell'ambiente esterno produce nei granuli cristallini termoluminescenti del corpo ceramico un accumulo di elettroni direttamente proporzionale all'età del reperto e alla concentrazione di impurezze radioattive interne ed esterne.

Essendo la TL a sua volta proporzionale all'energia assorbita per unità di massa (o « dose »), misurando la TL e conoscendo entità e tipo di radiazioni che la ceramica ha assorbito per anno dal momento della sua cottura ad oggi, si può risalire al numero di anni di irraggiamento subìto, cioè all'età del reperto.

Abbiamo detto « dal momento della cottura ad oggi » in quanto ogni accumulo di energia avvenuto nell'argilla durante le passate ere geologiche è stato liberato allorché l'argilla usata per modellare il manufatto è stata sottoposta a cottura: l'alta temperatura raggiunta nella fornace ha svuotato le trappole dagli elettroni legati e ha permesso l'inizio di un nuovo ciclo di accumulo.

I.3 Illustrazione del metodo della TL.

Traduciamo ora in una formula i principi sopra enunciati:

$$\text{età} = \frac{\text{dose totale assorbita}}{\text{dose annua}} \quad (1)$$

La dose totale assorbita viene misurata attraverso il confronto del segnale luminoso (TL_n) emesso dal campione, convenientemente preparato (cfr. II.1, II.2, II.3) con quello emesso a seguito di irraggiamento con una dose beta artificiale nota (cfr. II.4, II.5). Si ottiene in tale modo la « dose beta equivalente » ($D_{\beta eq}$), ovvero quella dose di radiazione beta che riproduce nel campione in esame una termoluminescenza pari a quella indotta dalle radiazioni naturali (alfa, beta, gamma) assorbita nel periodo archeologico. Per ottenere la « dose totale assorbita », si aggiunge alla dose β equivalente l'intercetta di non linearità (I). Questo è un termine maggiore o uguale a zero che tiene conto dell'eventuale accrescimento inizialmente non lineare della termoluminescenza in funzione della dose assorbita. Tale termine viene calcolato estrapolando a zero la retta ottenuta tramite i punti che indicano le intensità luminose di TL prodotte da diverse dosi di radiazioni artificiali in campioni preriscaldati, nei quali cioè non sia più presente l'energia accumulata nel periodo archeologico (cfr. II.4).

Per quanto concerne il denominatore dell'equazione (1), occorre notare che la dose annua di radiazioni assorbita dal manufatto fittile è dovuta in parte alle radiazioni alfa, beta e gamma emesse dalle impurezze radioattive interne, in parte alle radiazioni gamma emesse dalle impurezze radioattive del terreno o ambiente di rinvenimento, e in parte ai raggi cosmici. È quindi possibile evidenziare i contributi alla dose annua dei diversi tipi di radiazioni, contributi che indicheremo con: « Dose alfa annua » ($D_{\alpha annua}$), « Dose beta annua » ($D_{\beta annua}$), « Dose gamma annua » ($D_{\gamma annua}$) e « Dose raggi cosmici annua » ($DR.C. annua$).

La dose alfa annua proviene dal corpo ceramico dato il breve cammino (pochi micron) percorso da queste particelle nella materia, e va corretta per un fattore denominato k , che rappresenta il rapporto tra l'efficienza delle particelle alfa rispetto alle beta nel produrre TL (cfr. II.4).

La dose beta annua è anch'essa dovuta soltanto al materiale ceramico poiché prima di preparare il campione si asporta la parte superficiale del reperto che ha subito l'irraggiamento beta proveniente dal terreno di rinvenimento (il cammino percorso dai raggi beta è circa 1 - 2 millimetri).

La dose gamma annua proviene principalmente dall'esterno, ossia dal terreno o ambiente di rinvenimento del reperto.

La dose annua da raggi cosmici è dovuta al contributo di queste radiazioni, e varia con la profondità di seppellimento. I raggi γ e i R.C. hanno una efficienza di TL pari ai β .

I dettagli sulla determinazione pratica di $D_{\alpha annua}$, $D_{\beta annua}$, $D_{\gamma annua}$ e $DR.C. annua$ sono illustrati nel capitolo III.

L'equazione (1) viene pertanto ad assumere la forma:

$$et\grave{a} = \frac{D_{\beta eq} + I}{k \cdot D_{\alpha annua} + D_{\beta annua} + D_{\gamma annua} + DR.C. annua} \quad (2)$$

Per un reperto che manchi di precisi dati di scavo, la $D_{\gamma annua}$ e la $DR.C. annua$ sono ignote, ed inoltre, di norma, non si ha a disposizione una quantità di materiale sufficiente a determinare $D_{\alpha annua}$ e $D_{\beta annua}$. Pertanto per eseguire un'analisi di autenticazione si suppone nota l'età sulla base degli elementi storico-stilistici e si verifica che il rapporto:

$$\text{dose totale annua (calcolata)} = \frac{D_{\beta eq} + I}{et\grave{a} \text{ presunta}} \quad (2 \text{ bis})$$

fornisca un valore di dose annua totale compreso

$$\text{tra } 0,3 \text{ e } 0,8 \text{ rad/anno (il rad} = \frac{100 \text{ erg}}{\text{grammo}} \text{, è l'uni-grammo)}$$

tà di misura della dose assorbita).

L'intervallo di variabilità della dose annua è ricavato dai dati ottenuti dalle concentrazioni di impurezze radioattive misurate in una vasta serie di argille di varia provenienza, e dalle informazioni derivate da un ormai ampio numero di analisi effettuate su reperti archeologici per i quali la dose totale annua è risultata appunto compresa entro i valori sopra riportati (0,3 e 0,8 rad/anno). È comunque opportuno, ogniquale volta sia possibile, controllare e convalidare il valore della dose totale annua calcolata. Ciò può essere fatto mediante misure dirette di $D_{\alpha annua}$, $D_{\beta annua}$ e $D_{\gamma annua}$ (cap. III).

Riprendendo quanto già detto, per effettuare una autenticazione si fa uso dell'equazione (2 bis), mentre per la datazione si ricorre all'equazione (2).

Consideriamo ora in dettaglio quali sono i punti in comune e quali i punti dove si diversifica l'applicazione del metodo.

a) Sia per l'analisi di autenticazione che per la datazione è necessario misurare l'intensità di TL prodotta dall'irraggiamento naturale e artificiale al fine di ottenere la $D_{\beta eq}$ e l'intercetta I (cfr. II.4), stabilendo in tale modo la quantità di energia accumulata nel reperto dal momento della cottura ad oggi.

b) Per l'analisi di datazione occorre valutare il denominatore dell'equazione (2).

Per ottenere $D_{\alpha annua}$ e $D_{\beta annua}$ è necessario misurare il contenuto di impurezze radioattive del corpo ceramico onde conoscere, sulla base del numero e dell'energia delle particelle emesse dai vari isotopi

delle famiglie radioattive dell'Uranio e Torio e dal Potassio-40, la quantità di energia interna accumulata per anno. Occorre inoltre misurare il fattore k . Per compiere correttamente queste valutazioni occorre avere sia la disponibilità di abbondanti campionature sia minuziose e precise informazioni sul punto di rinvenimento dei reperti (posizione stratigrafica, dati riguardanti l'ambiente e in particolare fluttuazioni meteorologiche, e così via). Questi ultimi dati sono anche necessari per valutare gli altri termini dell'equazione (2), ossia D_{γ} annua e $D_{R.C.}$ annua sebbene sia da aggiungere che D_{γ} annua potrebbe essere ottenuta anche con misure dirette con metodi di radioattività ambientale (cfr. cap. 3).

Concludendo, la valutazione del numeratore dell'equazione (2) e (2 bis) è necessaria sia per l'autenticazione che per la datazione, mentre la valutazione del denominatore dell'eq. (2) è necessaria soltanto per la datazione.

I.4 Tecniche di analisi

Le tecniche sino ad oggi proposte per eseguire la analisi di TL sono essenzialmente tre: *fine grain*, *inclusion* e *pre-dose*.

La tecnica *fine grain* è la più frequentemente applicata per il controllo dell'autenticità, ed è stata utilizzata nel nostro laboratorio per verificare l'autenticità dei dieci reperti oggetto del presente lavoro. Ciò a causa soprattutto della piccola quantità di campione necessario (cfr. II.1 e II.2) per misurare la dose beta equivalente e l'intercetta di non linearità I , ossia il numeratore dell'equazione (2 bis). (Come già detto, il denominatore dell'equazione non richiede misure di laboratorio essendo l'età nota in base all'elemento stilistico).

Nei casi in cui la tecnica *fine grain* venga applicata come analisi di datazione si ricorre all'equazione (2), ragione per cui occorre stimare anche il denominatore dell'equazione (nel quale caso la ricerca della D_{α} annua, D_{β} annua e D_{γ} annua richiede il prelievo di un'ulteriore quantità di campione nonché la conoscenza dei dati di scavo ed ambientali sopra accennati).

Le tecniche *inclusion* e *pre-dose* riguardano soprattutto la datazione e vengono qui accennate per completezza di informazione. Dopo aver preparato opportunamente i campioni (cfr. II.3) per la tecnica *inclusion* si ricorre all'equazione:

$$\text{Età} = \frac{D_{\beta} \text{equivalente} + I}{D_{\beta} \text{annua} + D_{\gamma} \text{annua} + D_{R.C.} \text{annua}} \quad (3)$$

Rispetto all'equazione (2) si nota che nel denominatore di questa equazione non compare il contributo

di D_{α} annua. Infatti con questa tecnica viene misurata la dose beta equivalente prodotta esclusivamente da radiazioni beta e gamma.

Analogamente, la tecnica *pre-dose* viene utilizzata soprattutto per la datazione di reperti « giovani », ossia di epoca post-medioevale.

Questa tecnica si basa sulle proprietà termoluminescenti del quarzo ed in particolare del suo picco di emissione a 110°C. L'altezza di tale picco di TL per dose unitaria di radiazione beta o gamma dipende dalla dose di radiazione assorbita precedentemente (*pre-dose*) e da un successivo trattamento termico nell'intervallo di temperatura tra 250°C e 600°C subito dal campione sottoposto all'analisi.

Nelle tre tecniche di datazione indicate assume notevole importanza la valutazione dei differenti aspetti collegati alla dose annua, problema che si è ritenuto opportuno delineare brevemente (cfr. cap. III), sebbene esso non sia direttamente pertinente all'analisi di autenticazione.

CAPITOLO II

Calcolo della dose totale

II.1 Preparazione dei campioni: aspetti generali

L'analisi di TL si basa su una serie di misure da eseguire sul campione prelevato dal reperto, preparato secondo le modalità che qui descriviamo.

Si sottolinea che il campione è molto sensibile alla luce ed al calore, per cui occorre che tutte le fasi della preparazione, dall'atto del prelievo vero e proprio al momento in cui esso è immerso nell'apparecchiatura per le misure di TL, vengano eseguite in laboratorio, lontano da fonti di calore e con illuminazione a luce rossa o lampade schermate con filtri di assorbimento per eliminare le componenti ad alta frequenza della luce. Il prelievo viene di regola effettuato in zone ove minore è il rischio di arrecare danno all'estetica del reperto, ad esempio, per un vaso, nel fondo, all'interno del piede o sotto l'ansa.

Scartate le zone restaurate o comunque sospette di essere state in qualche modo manipolate, la scelta del punto ove effettuare il prelievo dipende anche dalla forma geometrica del reperto, o meglio dal suo spessore, in quanto è necessario scartare il primo mm dello strato superficiale per eliminare gli effetti prodotti dalla luce solare e artificiale, da eventuali contaminazioni, e dall'irraggiamento α e β del terreno.

La quantità di campione che è possibile prelevare e il tipo di impasto ceramico influiscono sulla scelta della tecnica di analisi: per la tecnica *fine grain* il prelievo è dell'ordine di alcune decine di mg, mentre le tecniche *inclusion* e *pre-dose* richiedono il prelievo di un frammento di dimensioni molto maggiori (dell'ordine di alcuni centimetri cubi), tali da permettere di ottenere parecchie decine di mg del quarzo presente nel corpo ceramico, isolato per mezzo di un separatore magnetico.

Queste differenti esigenze di campionatura fanno sì, come già detto, che la verifica dell'autenticità di un reperto possa essere eseguita soltanto con la tecnica *fine grain*, e ciò per l'ovvio motivo di ridurre l'entità del prelievo.

II.2 Preparazione dei campioni per la tecnica « *fine grain* »

Per una profondità di uno o due mm lo strato superficiale del punto in cui si intende effettuare il prelievo viene asportato per mezzo di una raspa montata su un trapano a bassissima velocità (50 giri/min). Con la punta del trapano, praticando due o tre fori aventi diametro e profondità di alcuni mm, viene prelevata dal reperto una quantità di ceramica dell'ordine di qualche decimo di grammo. Tale polvere viene immessa in provette contenenti acetone, e selezionata nella granulometria sfruttando i tempi di caduta dei granuli in acetone, secondo la legge di Stokes. I granuli di diametro maggiore di 10 μm , che precipitano in meno di 2 minuti nelle provette ($\phi = 12$ mm, altezza acetone = 6 cm), vengono scartati; quelli rimasti in sospensione (diametro < 10 μm) vengono lasciati a loro volta precipitare in 6 cm di acetone per 20 minuti, tempo necessario alla deposizione dei granuli con diametro maggiore di 4 μm . Si ottiene così un materiale di granulometria compresa tra 4 μm e 10 μm che, riportato in sospensione in acetone viene distribuito in quantità uguali in apposite provette. Sul fondo di queste è appoggiato un dischetto di alluminio di 11 mm di diametro e 0.5 mm di spessore, la cui superficie è stata resa ruvida mediante trattamento di satinatura per favorire l'adesione della polvere. Le provette vengono collocate in un essiccatore mantenuto alla temperatura costante di 50°C. L'acetone evapora e la polvere si deposita sui dischetti. Si ottiene pertanto una serie di campioni (dischetti) omogenei nella preparazione e nel peso che verranno poi sottoposti all'analisi (il peso medio dei campioni, ossia della polvere depositata sopra ogni singolo dischetto, è 0,8 mg).

Le fasi principali della preparazione dei campioni sono illustrate nel disegno di Fig. 1.A.

La Tav. 1 (a-d) comprende una serie di fotografie prese al microscopio in trasmissione ove a partire dall'alto si notano: a) una sezione sottile di ceramica a grana fine (40 ingr.); b) la frazione di materiale con $\phi > 10 \mu\text{m}$ (100 ingr.); c) la frazione con $4 < \phi < 10 \mu\text{m}$ (400 ingr.); (è quella usata nella preparazione dei campioni *fine grain*); nella fotografia non è facile distinguere il quarzo dal materiale della matrice argillosa poiché a tale dimensione dei granuli tutti i materiali di cui è costituita la ceramica sono quasi perfettamente trasparenti; d) la frazione con $\phi < 4 \mu\text{m}$ (400 ingr.).

II.3 Preparazione dei campioni per la tecnica « *inclusion* »

Dal reperto da analizzare viene staccato un frammento di alcuni centimetri cubi, da cui viene eliminato con una raspa lo strato superficiale per circa 1 mm. Indi il frammento viene frantumato inizialmente in una morsa, poi in un mortaio d'agata, finché si ottiene una polvere di granulometria non superiore a 250 μm . Questa viene setacciata in modo da selezionarne la frazione con granulometria compresa tra 100 e 200 μm , che viene fatta passare in un separatore magnetico tipo Frantz, strumento che consente la separazione del materiale con suscettività magnetica per unità di massa $K_m < 3 \times 10^{-6}$ c.g.s. (principalmente quarzo, feldspati, calcite) dalla matrice costituita da silicato di alluminio ad elevato contenuto di impurezze magnetiche (Ferro, Nickel, ecc.) la cui suscettività magnetica K_m è molto maggiore.

Mentre quest'ultima frazione viene scartata, i granuli non magnetici vengono sottoposti ad attacco con HF concentrato per 50 minuti. Tale trattamento viene eseguito per ottenere due diversi scopi:

- eliminare i materiali cristallini diversi dal quarzo ma con analoga suscettività magnetica, eventualmente presenti nel campione, che sono più rapidamente solubili in HF.
- eliminare dai granuli di quarzo lo strato superficiale di circa 10 μm , spessore che ha subito l'azione delle particelle alfa, come illustrato in Fig. 2. La tecnica *inclusion* utilizza infatti per la datazione di un reperto l'equazione (3) in cui non compare il contributo delle particelle alfa alla dose. Lo strato di quarzo che ha ricevuto tale contributo deve perciò essere eliminato.

Dopo l'attacco acido il quarzo viene ripetutamente lavato in acqua bidistillata e posto ad asciugare in essiccatore a 50°C.

Con il quarzo così trattato vengono preparati appositi campioni dal peso medio di 10 mg, facendo aderire il quarzo stesso a dischetti di Alluminio di 11 mm di diametro mediante spray al Silicone.

Le fasi principali della preparazione sono illustrate nel disegno di Fig. 1.B.

La Tav. 1 (e-h) comprende una serie di fotografie prese al microscopio in trasmissione e riprodotte a 40 ingrandimenti, dove dall'alto si nota: e) una sezione sottile di ceramica a grana grossa; f) i grani di ceramica ottenuti dopo frammentazione in morsa e mortaio e successivo setacciamento di modo che $100 < \varnothing < 200$; g) il separato magnetico, stessa granulometria; h) la parte non magnetica dopo attacco in HF.

Si noti che in f) vi è pari abbondanza di grani opachi (dalla matrice argillosa) e trasparenti (quarzo ecc.); in g) la prevalenza dei grani opachi è netta; in h) vi sono solo granuli di quarzo e di dimensioni leggermente ridotte e a spigoli arrotondati a causa dell'attacco in HF.

Anche i campioni da sottoporre ad analisi col metodo *pre-dose* vengono di regola preparati seguendo la tecnica *inclusion* ora descritta.

II.4 Calcolo della dose beta equivalente e dell'intercetta di non linearità

La misura della dose beta equivalente ($D_{\beta eq}$) per le tecniche *fine grain* e *inclusion* si ottiene sulla base di considerazioni sostanzialmente analoghe. Valgono invece considerazioni di tipo completamente diverso per quanto riguarda la misura della dose beta equivalente con metodo *pre-dose*, cui si accennerà successivamente.

Nell'ambito delle prime due tecniche, per ogni singolo reperto da sottoporre all'analisi occorre avere disponibile almeno una serie completa di campioni, ossia almeno 20 dischetti preparati come sopra descritto.

Di alcuni dischetti viene misurata la TL naturale (TL_n) prodotta dalla dose archeologica, indi la TL prodotta mediante irraggiamento artificiale (TL_{art}). Di altri dischetti viene invece misurata la TL_n cui sono state aggiunte dosi artificiali di radiazione di diversa entità ($TL_n + TL_{art}$). La misura della TL avviene in apposita apparecchiatura (cfr. II.5) che permette il riscaldamento del campione e la registrazione su grafico della luce (*glow curve*) emessa nel corso del riscaldamento da temperatura ambiente a circa 500°C. Si ottiene così una serie di curve di emissione da cui è possibile risalire alla dose assorbita del reperto, poiché tanto l'area sottesa dalla curva di TL quanto l'altezza dei picchi stabili di emissione sono proporzionali alla dose assorbita.

La quantità di TL emessa da un campione viene valutata per differenza rispetto alla curva di emissione di incandescenza o di corpo nero (C.N.) che è praticamente nulla fino a 400°C circa. (Un esempio di curva di emissione di TL è riportata in Fig. 3 A).

È importante ricordare che l'altezza della curva di TL deve essere misurata in corrispondenza di picchi stabili, che cioè non abbiano subito svuotamenti a temperatura ambiente.

Nella tecnica *fine grain* è possibile eseguire una verifica della stabilità dei picchi mediante il « test del plateau », che si esegue confrontando la curva di TL_n con la curva prodotta a seguito di un irraggiamento artificiale aggiunto alla TL_n e costruendo il grafico del rapporto $TL_n / (TL_n + TL_{art})$ in funzione della temperatura. Nell'intervallo di temperatura, da 250 a 450°C circa, in cui i picchi di TL sono stabili, si osserva che tale rapporto assume valore costante.

Le misure di altezza delle curve di TL vengono prese, per tutte le curve relative ad uno stesso campione, alla temperatura corrispondente al centro del plateau. In fig. 3 B è illustrato graficamente il test del plateau.

Rileviamo che il problema del plateau non si pone per la tecnica *inclusion*, nella quale si misura la TL del quarzo puro che ha un solo picco stabile a 375°C.

Ottenute le curve di TL ed eseguito il test del plateau si effettuano i calcoli per determinare la dose beta equivalente.

In via di principio, la dose assorbita da un campione si determina nella ipotesi di linearità tra Dose e TL, sfruttando la seguente relazione di proporzionalità diretta tra le due grandezze:

$$D_{\beta eq} : TL_n = D_{\beta art} : TL_{art}$$

da cui:

$$D_{\beta eq} = \frac{D_{\beta art} \cdot TL_n}{TL_{art}} \quad (4)$$

In pratica si costruisce la retta che riproduce l'andamento della TL con la dose valutando l'altezza della TL_n prodotta dalla $D_{\beta eq}$ e l'altezza della $TL_n + TL_{art}$ prodotta da più dosi artificiali note, impartite sopra il livello di $D_{\beta eq}$. (Vedi fig. 4 A).

Si osserva che i punti ottenuti sono allineati, il che garantisce la linearità della risposta sopra il livello di $D_{\beta eq}$ e si ipotizza che tale linearità valga anche a livelli inferiori, valutando la $D_{\beta eq}$ come intercetta sull'asse della dose.

In realtà questa ipotesi di linearità non è sempre valida, in quanto il materiale ceramico ha spesso comportamento sopralineare alle basse dosi, per cui la dose effettivamente assorbita viene sottostimata.

Una buona stima della sopralinearità si ottiene misurando l'emissione luminosa dei campioni in esame irraggiati con dosi artificiali note, dopo che la loro TL_n è stata eliminata in laboratorio mediante riscaldamento. Indi si costruisce la retta che rappresenta la crescita di TL con la dose, assumendo che l'intercetta con l'asse delle dose non sia variata a seguito del drenaggio.

Si ottiene così l'intercetta di non linearità I, il cui valore viene aggiunto alla dose beta equivalente, aumentandone l'accuratezza. (Vedi fig. 4 B).

Sono state così completate tutte le misure necessarie per la valutazione del numeratore dell'equazione (2) e (2 bis). Il rapporto tra dose totale ($= D_{\beta_{eq}} + I$) ed età del reperto, nota in base agli elementi stilistici, fornisce la dose annua calcolata (cfr. I.2): quando essa è compresa tra 0.3 e 0.8 rad l'autenticità del reperto esaminato è convalidata.

A completamento di quanto sopra detto è opportuno ripetere che quando la tecnica *fine grain* è usata ai fini di datare un reperto di età ignota, sono necessarie altre misure sperimentali volte alla determinazione di un importante parametro: il fattore k. Esso è definito come il rapporto tra l'efficienza di produzione di TL delle radiazioni alfa e delle radiazioni beta. Questo fattore viene misurato irraggiando con uguali dosi alfa e beta alcuni campioni provenienti dallo stesso reperto, e confrontando le rispettive emissioni luminose.

È utile inoltre valutare l'eventuale *fading* anomalo, un fenomeno di svuotamento spontaneo dei picchi di TL. Ignorare il *fading* significherebbe sottostimare la dose beta equivalente, perché la TL rilevata nei campioni risulterebbe inferiore a quella effettivamente accumulata in essi nel tempo. Il controllo viene eseguito irraggiando con uguale dose artificiale una serie di campioni provenienti dal reperto in esame: alcuni vengono misurati immediatamente, altri dopo un intervallo di diversi mesi. Se esiste *fading*, le altezze delle curve di TL dei due set di campioni saranno differenti e da questa differenza è possibile ricavare un fattore di correzione della dose beta equivalente.

È da sottolineare che nella tecnica *inclusion* il problema del *fading* non si pone poiché il quarzo non presenta questo fenomeno per il picco a 375°C.

Per quanto riguarda la valutazione di $D_{\beta_{eq}}$ con il metodo della *pre-dose*, si fa presente che è basata non sulla variazione di TL ma sulla variazione di sensibilità del picco a 110°C, ovvero quantità di TL per dose unitaria. Con questa tecnica si confronta la sensibilità dovuta alla dose naturale assorbita con quella dovuta a dosi note somministrate in laboratorio, in modo da risalire a $D_{\beta_{eq}}$ analogamente a quanto de-

scritto sopra. A causa del fenomeno di saturazione esibito dal picco a 110°C, l'applicazione del metodo è ristretta a reperti dell'ultimo millennio.

II.5 Strumentazione

L'apparecchiatura usata in laboratorio per le misure di TL è composta essenzialmente da:

- a) sistema per il riscaldamento dei campioni
- b) sistema per la rilevazione e la registrazione della TL
- c) sorgenti radioattive per gli irraggiamenti artificiali.

a) Il riscaldamento avviene in un fornello a tenuta di vuoto, che contiene una striscia riscaldante di NiCr con alloggiamento per il campione. La striscia, collegata ad una termocoppia, viene riscaldata fino a 500°C con una velocità costante di 20°/sec tramite un termoregolatore.

Poiché la TL emessa da una ceramica è usualmente piuttosto bassa, è importante avere una severa discriminazione della TL non indotta da radiazione (TL spuria). Per questo motivo le misure vengono eseguite in atmosfera inerte ottenuta introducendo nel fornello, prima della lettura, Azoto altamente purificato. Si elimina in questo modo la TL spuria dovuta all'Ossigeno e ad altre impurezze presenti nell'aria.

È anche molto importante ridurre quella parte di emissione luminosa dovuta all'incandescenza del dischetto e della striscia che giunge al rivelatore. Poiché la lunghezza d'onda di emissione di TL è circa 4000 Å (blu-violetto) e quella dell'incandescenza è nella zona del rosso e infrarosso la discriminazione è possibile con l'uso di filtri ottici (Jenaer Glaswerk Schott e Gen. Mainz; BG12 e KG3).

In questo modo si riduce la parte di segnale dovuta all'emissione di corpo nero ad un livello trascurabile fino a temperature sotto i 400°C, oltre ai quali essa diventa in ogni caso predominante.

b) La luce emessa dal campione durante il riscaldamento raggiunge un fotomoltiplicatore EMI 96335 QB a basso rumore alimentato da un alimentatore Brandenburg 475 R. Nel fotomoltiplicatore avviene la conversione della luce in impulsi elettrici.

Il segnale in uscita, che consiste in una serie di impulsi la cui frequenza temporale è proporzionale alla intensità di luce emessa dal campione, viene inviato attraverso un preamplificatore ed un amplificatore (ORTEC 9301 e 454) ad un discriminatore (ORTEC 436) e ad un *rate-meter* (ORTEC 9349).

L'uscita del *rate-meter* è collegata alla Y di un registratore grafico (Hewlett & Packard 7004-B) alla cui X viene invece inviato un segnale che proviene dal termoregolatore, e che fornisce l'informazione sul-

la temperatura del campione. Lo schema dell'apparato di misura della TL è riportato in fig. 5.

Sul registratore XY si ottiene una curva che fornisce l'andamento dell'emissione luminosa al crescere della temperatura nell'intervallo tra 20°C (temperatura ambiente) e 500°C (temperatura di incandescenza della striscia riscaldante).

La capacità massima di conteggio della catena elettronica raggiunge 10^8 impulsi/secondo. I valori normali della risposta luminosa dei reperti sono di regola compresi tra 10^4 e 10^6 impulsi/secondo.

c) Le sorgenti radioattive impiegate per ottenere gli irraggiamenti artificiali sono le seguenti:

Sorg. $^{90}\text{Sr}^{90}\text{Y}$	β emitt.	att. nominale	50mCi
Sorg. $^{90}\text{Sr}^{90}\text{Y}$	β emitt.	att. nominale	500 μ Ci
Sorg. ^{210}Po	α emitt.	att. nominale	1mCi

Le due sorgenti beta (fornite dalla Radiochemical Centre-Amersham, England) hanno un'area attiva di 8.5 mm di diametro.

Le due sorgenti beta sono collocate entro appositi contenitori di schermatura, costituiti da plexiglass e Piombo.

I contenitori delle sorgenti possono essere messi sopra il fornello al posto del fotomoltiplicatore, in modo da eseguire direttamente gli irraggiamenti dei campioni sulla striscia riscaldante. Le dosi impartite ai campioni su striscia sono le seguenti:

sorgente	50 mCi	175 rad/min
sorgente	500 μ Ci	1,9 rad/min

La sorgente ^{210}Po , emittente alfa puro, tempo di dimezzamento = 138.4 giorni, non presenta problemi di schermatura dato il breve percorso delle alfa in aria (2.5 cm circa all'energia di emissione del Polonio). Per evitare eventuali avarie del contenitore, e quindi contaminazione dell'ambiente di lavoro, la sorgente è collocata in modo inamovibile in un contenitore di Alluminio, all'interno del quale viene inserito il campione per gli irraggiamenti. Dato il breve tempo di dimezzamento del ^{210}Po , le dosi impartite variano abbastanza velocemente con il tempo, e di ciò si tiene debito conto nel programmare gli irraggiamenti.

CAPITOLO III

Calcolo della dose annua

III.1 Metodologie di calcolo.

Come si è detto nel cap. I, la dose annua che compare al denominatore dell'equazione (2) è dovuta a diversi contributi:

$$D_{\text{tot. annua}} = k \cdot D_{\alpha \text{ annua}} + D_{\beta \text{ annua}} + D_{\gamma \text{ annua}} + D_{\text{R.C. annua}}$$

Qualora si applichi la tecnica *inclusion*, non comparirà nella somma la dose alfa ($D_{\alpha \text{ annua}}$), come chiarito in cap. II.

Gli elementi radioattivi naturali presenti nelle ceramiche e nei terreni, responsabili della $D_{\text{tot. annua}}$ sono per la quasi totalità appartenenti alle famiglie radioattive dell'Uranio e del Torio, oltre al Potassio-40.

Si è già accennato al fatto che $D_{\alpha \text{ annua}}$ e $D_{\beta \text{ annua}}$ sono dovute a U, Th, K contenuti nella ceramica stessa, mentre $D_{\gamma \text{ annua}}$ è l'energia assorbita annualmente a causa dell'irraggiamento dovuto alla presenza degli stessi elementi nel terreno di rinvenimento del reperto. $D_{\text{R.C. annua}}$ è dovuta ai raggi cosmici. Da queste considerazioni si deduce che $D_{\alpha \text{ annua}}$ e $D_{\beta \text{ annua}}$ sono determinabili misurando le concentrazioni di U, Th e K nel campione stesso, mentre $D_{\gamma \text{ annua}}$ si ricava conoscendo le concentrazioni di tali elementi nel terreno. Questo modo di operare è indiretto, misura cioè una quantità (la concentrazione di un elemento radioattivo) per determinare attraverso una relazione di proporzionalità un'altra quantità (l'energia assorbita per unità di massa, e cioè la dose).

Si possono anche eseguire misure dirette, cioè di dose, facendo assorbire per un tempo predeterminato a un dosimetro termoluminescente la stessa dose che assorbiva il reperto in esame nello stesso intervallo di tempo, ossia « sostituendo » il dosimetro al reperto nell'ambiente che lo ha conservato dal momento del suo seppellimento. Questo modo di procedere può essere utile in particolare nella misura di $D_{\gamma \text{ annua}}$ e di $D_{\text{R.C. annua}}$ per cui un dosimetro sensibile solo ai raggi gamma e cosmici può essere posto nel luogo di rinvenimento del reperto, e lì restare per alcuni mesi. In tale caso la misura diretta di dose sarà più accurata della misura indiretta in quanto media nel tempo le variazioni stagionali dovute a fattori climatici (temperatura, umidità, etc.). Inoltre questa misura *in situ* è l'unica che permette di determinare con precisione il contributo della radiazione cosmica ($D_{\text{R.C. annua}}$).

In Tabella 1 sono riportate le principali caratteristiche dei più diffusi metodi di determinazione della

TABELLA N. 1

TECNICHE PER LA VALUTAZIONE DELLA DOSE ANNUA E LORO PRINCIPALI CARATTERISTICHE

1 Tecniche di misura	2 Quantità di camp. richiesto	3 Tipo di misura d. = diretta ind. = indiretta	4			5 Rapporto U/Th	6 Precisione della tecnica	7 « Background » (radiazioni di fondo)
			D _α annua	D _β annua	D _γ annua			
			calc. = calcolata mis. = misurata					
Attività α totale + fotometria per determinazione di potassio	0.5 g	ind.	calc.	calc.	calc.	no	elevata	basso
Dosimetria β con TLD	5 g	d.	—	mis.	—	non necessario	sufficiente	basso se schermato con piombo
Dosimetria γ con TLD in situ	—	d.	—	—	mis.	non necessario	elevata	—
Spettrometria γ (*)	100 g	ind.	calc.	calc.	calc.	si	sufficiente	basso se schermato con piombo
Spettrometria α	0.1 g	ind.	calc.	calc.	calc.	si	sufficiente	basso
Attivazione neutronica (**)	0.1 g	ind.	calc.	calc.	calc.	si	elevata	basso

(*) Nella catena U-Ra si misura solo il Ra. Occorre pertanto assumere equilibrio secolare

(**) Nella catena U-Ra si misura soltanto l'U. Occorre pertanto assumere equilibrio secolare.

dose annua affinché si possa valutare la convenienza, e la possibilità, di adottare quelli più idonei al caso specifico. I parametri ivi indicati sono i seguenti:

— colonna 2: quantità di campione richiesta. In generale, meno campione occorre, meglio è, in quanto si tratta sempre di tecniche distruttive. Non è fornito alcun valore per la dosimetria gamma *in situ* in quanto il dosimetro viene posto nel luogo di rinvenimento del reperto, in « sostituzione » dello stesso, ragione per cui non occorre effettuare alcun prelievo.

— colonna 3: tipo di misura. Con misura diretta si intende la misura di dose, e con misura indiretta una misura di radioattività da cui si calcolerà la dose.

— colonna 4: D_{α} annua, D_{β} annua, D_{γ} annua. Le varie tecniche di misura permettono di determinare uno o più degli addendi che danno la dose annua totale. come si vede, tutte le misure indirette permettono di calcolare sia D_{α} annua che D_{β} annua e D_{γ} annua.

Per motivi su cui non ci soffermiamo, si fa presente che è possibile ottenere una maggiore precisione calcolando la dose di quella specie di cui si è calco-

lata l'attività (ad esempio D_{α} annua dalla misura di attività alfa; D_{γ} annua dalla spettrometria gamma, etc.).

— colonna 5: rapporto U/Th. Poiché i radionuclidi naturali sono principalmente U, Th e K, e i primi due sono emettitori alfa, nelle misure di attività alfa totale non si può determinare quanto è il contributo dell'Uranio e quanto quello del Torio. Ciò può condurre ad errori sino al 20% nel calcolo dei vari termini (in particolare D_{β} annua e D_{γ} annua). Il rapporto Th/U può essere calcolato con le tecniche di spettrometria alfa e gamma e con l'attivazione neutronica, mentre la sua conoscenza non è necessaria nelle misure dirette.

— colonne 6 e 7: Precisione della tecnica e problemi di *background*. Questi parametri danno una indicazione dell'accuratezza che può essere raggiunta dalle misure, e del tempo che occorre per eseguire una misura attendibile (più elevata è la radiazione di fondo, più lunga deve essere la misura al fine di ottenere un buon rapporto segnale/disturbo).

Ricordiamo che la catena di decadimento dell'Uranio (l'Uranio stesso + i suoi prodotti di decadimento) può essere suddivisa in due gruppi: il primo inizia

con l'Uranio e il secondo con il Radio. Non sempre questi elementi hanno la stessa attività (ovvero si trovano in condizioni di equilibrio secolare); sarebbe quindi utile ancorché assai gravoso determinare separatamente ciascuna parte della catena.

III.2 Tecniche di misura .

La scelta delle tecniche di misura da adottare per il calcolo della dose annua dipende naturalmente dalla disponibilità della strumentazione oltre che dai fattori considerati in tabella 1. In generale, quando è possibile conviene eseguire misure dirette.

Facendo uso della tecnica *inclusion*, si possono eseguire misure dirette sia per il contributo beta, TLD_{β} , che per il contributo gamma, TLD_{γ} , come verrà descritto in seguito. Usando invece la tecnica *fine grain*, occorre misurare anche il contributo delle particelle alfa per la cui determinazione la misura dell'attività alfa totale è la più diffusa. Come si vede dalla tabella 1, quest'ultimo tipo di misura non permette di determinare il rapporto Th/U o l'eventuale disequilibrio tra U e Ra, e ciò può introdurre imprecisioni nel calcolo delle dosi annue. Come atteggiamento generale è utile fare uso di varie tecniche per misurare i diversi contributi ed anche per confrontare i differenti valori ottenuti, al fine di minimizzare il margine di incertezza nel dato finale.

La fig. 6 illustra le diverse tecniche per la determinazione della dose annua adottate presso il nostro laboratorio. In particolare, il metodo di misura della dose gamma, TLD_{γ} , è stato progettato e realizzato interamente presso il laboratorio, e il suo utilizzo si è dimostrato molto soddisfacente.

La misura della dose gamma e della dose proveniente da raggi cosmici si ottiene facendo uso di CaF_2 naturale (selezionato dalla ditta *Manifature Belge de Lampes et de Materiel Electronique S.A., di Bruxelles*). Alcuni milligrammi di questa fluorite in forma di polvere vengono incollati con una resina termoidurente (DowCorning 805) su dischetti di alluminio. Sei di questi dischetti vengono inseriti dentro un contenitore, anch'esso di alluminio, a tenuta di luce e di aria, di spessore sufficiente ad eliminare totalmente la radiazione beta.

Il contenitore dei dischetti di CaF_2 , che chiameremo « dosimetro » viene posto nel luogo di rinvenimento del reperto in esame per la misura della dose dovuta ai raggi gamma e cosmici. Il dosimetro assorbe così la stessa dose che ha assorbito il reperto, ma, avendo una sensibilità termoluminescente molto più elevata di questo, può fornire rapidamente informazioni sulla dose ambiente. Ciò significa che dopo essere stato sepolto per un periodo di tempo relativamente

breve (ad esempio un mese), avrà immagazzinato una quantità di termoluminescenza sufficiente a fornire una misura di $D_{\gamma \text{ annua}} + D_{r.c. \text{ annua}}$ nel sito considerato.

L'uso di dosimetri contenenti più dischetti permette di mediare i valori ottenuti, riducendo l'imprecisione del valore finale. Tempi di misura lunghi (ad esempio sei mesi o anche un anno) consentono di migliorare la precisione della misura in quanto permettono al dosimetro di mediare le fluttuazioni climatiche e stagionali della dose.

Sempre in fig. 6 è illustrata un'altra tecnica di misura diretta adottata nel nostro laboratorio, TLD_{β} . Dischetti di CaF_2 , preparati come sopra descritto, vengono collocati dentro un apposito contenitore, dove ricevono l'irraggiamento proveniente dalle impurezze radioattive del campione in esame, posto anch'esso dentro il contenitore. Poiché è necessario ridurre l'influenza della dose gamma ambientale, l'irraggiamento viene eseguito dentro uno schermo di piombo di 5 cm di spessore. Dopo un'esposizione di circa 15 giorni, i dischetti di CaF_2 vengono tolti dal contenitore, e misurati con tecniche di dosimetria termoluminescente.

Per la misura della dose alfa annua, che è necessaria quando si adotta la tecnica *fine grain*, si eseguono misure indirette di attività alfa totale, usando scintillatori di $ZnS (Ag)$. Nel nostro laboratorio sono stati messi a punto due diversi sistemi di misura dell'attività alfa totale mediante scintillazione, come illustrato in fig. 6.

Il primo sistema consiste nel porre alcune centinaia di milligrammi di campione, formanti uno strato spesso circa 1 mm, sopra un disco di $ZnS (Ag)$, a sua volta posto sopra un fotomoltiplicatore (*photo-multiplier*) inserito nell'apposita catena elettronica di conteggio. Poiché la radiazione alfa non percorre più di 25-30 micron all'interno del campione, tutta la restante parte di campione sopra tale strato non viene praticamente « vista » dallo scintillatore. Ciò semplifica il calcolo dell'attività, rendendo questa misura molto pratica.

Nel secondo sistema, si misura invece l'attività in campioni sottili. Ciò implica ulteriori calcoli e la conoscenza precisa della quantità di campione in esame, pur offrendo il vantaggio di richiedere pochissimo campione (non inferiore però a 25 mg).

Nell'ambito della tecnica *fine grain* è necessaria anche la conoscenza della dose beta annua derivante dal Potassio. Si risale alla concentrazione di questo elemento con metodi chimici di fotometria a fiamma, dopoché è possibile calcolare la quantità di K-40, e quindi la dose annua; (il procedimento è illustrato in fig. 6).

— Presso il nostro laboratorio, in collaborazione con il Centro Comune di Ricerca dell'EURATOM di Ispra, è stato condotto uno studio sulla misura della dose annua mediante spettrometria alfa, tecnica che permette di determinare separatamente U e Th, oltre a dare indicazioni sugli equilibri radioattivi in ogni catena di decadimento. Tale tecnica presenta il vantaggio di richiedere poco campione, però sono ancora da superare alcune difficoltà di tipo sperimentale.

— La spettrometria gamma, adottata da alcuni laboratori, presenta lo svantaggio di richiedere molto campione,

— L'attivazione neutronica presenta diversi vantaggi, però può essere eseguita soltanto avendo accesso a una sorgente di neutroni (in genere un reattore nucleare).

III.3 Strumentazione.

Per quanto riguarda le misure « dirette », la determinazione della dose annua si effettua misurando la termoluminescenza emessa dai dosimetri di CaF_2 (cfr. III.2). La strumentazione è quindi la stessa che viene usata per la misura della dose beta equivalente (cfr. II.5).

Per le misure di attività alfa si usa invece una catena elettronica differente. Con entrambi i sistemi di misura (chiamati A e B in fig. 6) la scintillazione prodotta dal $\text{ZnS}(\text{Ag})$ viene amplificata e convertita in segnale elettrico da un fotomoltiplicatore EMI mod. 60975. Il segnale viene poi raccolto da un preamplificatore ORTEC mod. 113 e da un amplificatore-discriminatore ORTEC mod. 490B; gli impulsi in uscita da essi sono contati da un *dual counter-timer* ORTEC mod. 715.

La dose beta annua dovuta al Potassio 40 è calcolata misurando la concentrazione di Potassio. A tale scopo viene utilizzato un fotometro a fiamma mod. Triflamm della ditta De Vita.

CAPITOLO IV

Schede tecniche e stilistiche

SCHEDA N. 1 (N. Lab. 45)

Anfora a figure nere

Provenienza: « Scavi Golasecca »¹ (?)

Appartenenza: Museo Civico di Lodi.

Datazione: fine VI-inizio V sec. a.C.

Misure (mm): h massima residua 110; Ø bocca 115. Stato di conservazione: lacunoso; manca la parte inferiore dell'anfora; restano soltanto il collo con le due anse, e una frazione della parte superiore del corpo.

Numerose scheggiature sul bordo della bocca.

Materiale e tecnica:

colore: vernice nera (DIN —:0:7,5); corpo ceramico arancio bruno (DIN 4:4:3).²

Corpo ceramico depurato; modellazione a tornio molto curata; pareti sottili, superficie levigata e ben rifinita.

Vernice nera molto lucente, applicata in denso strato, che durante la cottura ha raggiunto un buon grado di vetrificazione. L'esame ottico eseguito al microscopio stereoscopico³ ha permesso di rilevare nella vernice la presenza di numerosi rigonfiamenti e bollicine causati dalla fuoriuscita dall'argilla, durante la cottura, dei gas provocati principalmente dalla combustione delle materie organiche e dalla decomposizione del calcare contenuti nell'argilla stessa.⁴ Alcune bollicine sono scoppiate, formando vacuoli e crateri imbutiformi attraverso i quali affiora il corpo ceramico sottostante. Si notano alcune fessurazioni filiformi da ritiro, a labbro rialzato.

I particolari incisi a graffito appaiono all'esame stereomicroscopico eseguiti con tratto sottile e sicuro; le leggere frastagliature lungo gli orli delle incisioni sono forse dovute al notevole spessore della vernice oppure ad eccessivo essiccamento del vaso al momento dell'incisione.

Continuando l'esame microscopico si rileva che il corpo ceramico è poroso, lievemente accidentato, con degrassante di granulometria fine, valore intorno a 0,05 mm.

Su ambedue i lati dell'anfora, sovraddipinture in rosso paonazzo molto diluito e in bianco applicato in strato di buon spessore.

Buona cottura condotta a fasi alternate in ambiente ossidante e riducente.

Descrizione:

anfora a figure nere, presumibilmente attica. Collo distinto dal corpo, labbro a forma di echino, anse a nastro tricotolate.

Decorazione a vernice nera sul fondo in argilla risparmiata.⁵ Sul collo, entro due linee orizzontali, motivo a palmette rivolte alternativamente verso l'alto e verso il basso, collegate da volute. All'attacco della spalla linguette verticali; sotto le anse motivo vegetale a palmette e girali.

La decorazione figurata (di cui resta soltanto la parte superiore) consiste sul lato A in due figure maschili barbute affrontate, con particolari della barba e dei capelli sovraddipinti in rosso paonazzo, forse da identificare in Dioniso e un sileno; sullo fondo si intravede un ramo di edera. Sul lato B, due figure femminili affrontate, dal volto sovraddipinto in bianco. Sul lato A e B, particolari dell'acconciatura dei capelli e del vestiario sono incisi a graffito.

La forma è anche definita *neck-anphora* e gode di grande popolarità durante l'ultimo periodo delle figure nere (tipo II in: G. M. A. RICHTER - M. J. MILNE, *Shapes and names of Athenian vase*, New York 1935, p. 4, fig. 16). Vasi di questa forma con analogo schema di decorazione accessoria e simile rendimen-

to delle fisionomie e dei panneggi sono tipici della ceramica attica a figure nere tra la fine del VI e gli inizi del V secolo a.C. Una ricca esemplificazione di queste anfore con soggetti diversi ma con dati iconografici e stilistici comuni è nel *C V A Metropolitan Museum of Art*, 4, tavv. 46-48, ed anche tavv. 49-51 ma con decorazione figurata entro metopa. Per una resa molto vicina dei tratti del volto semplificati e del panneggio schematizzato, cfr. anche: G. DAREGGI, *Ceramica greca e italica nel Museo di Baranello*, Roma 1977, pp. 18-19, tav. III a-c.

Esame delle incrostazioni:⁶

all'interno del collo dell'anfora sono presenti delle incrostazioni che ricoprono un'area ristretta. Hanno contorni frastagliati e irregolari, colore grigiastro-bruno, sono in strato sottile e aderiscono poco tenacemente alla superficie del reperto. L'esame microscopico rivela che sono formate da agglomerati non omogenei, con incavi, asperità ed escrescenze, in un insieme che è tipico degli aggregati calcarei formati spontaneamente lungo i secoli durante la permanenza del reperto nel sottosuolo, in ambiente di acque percolanti, per lenta deposizione dei sali in soluzione nelle acque stesse.

Sono stati prelevati alcuni minimi campioni delle incrostazioni che sono stati sottoposti a temperature crescenti nell'apposita apparecchiatura (vedi fig. 7 e Appendice n. 1), e contemporaneamente osservati al microscopio. Il calore fornito gradualmente, con intensità crescente, ha causato lievi cambiamenti nelle tonalità cromatiche, ma non ha provocato cambiamenti di rilievo nella struttura delle incrostazioni che hanno essenzialmente conservato il loro aspetto originario.

Attacchi effettuati con acido cloridrico hanno provocato forte reazione con vivissima effervescenza. La dissociazione del carbonato di calcio è avvenuta rapidamente, liberando i numerosi granuli minerali (in prevalenza quarzo) che erano rimasti intrappolati nelle incrostazioni durante il loro formarsi. Nel residuo si nota la presenza di qualche laminetta di mica biotite, alterata, di colore dorato.

¹ Secondo quanto riportato da A. FROVA (*Ceramica greca e preistoria lombarda*, in « R.A.C. », 1953, pp. 15-21), il reperto portava questa indicazione di provenienza: « Scavi Golasecca, epoca preromana, provenienza dal museo del sig. Ancona di Milano - fatto un cambio con il sig. dott. Fr. Martani di Lodi 8 luglio 1880 ». Purtroppo tale indicazione, probabilmente scritta sopra un cartellino oppure un'etichetta, è oggi mancante.

Sull'autenticità del reperto erano stati avanzati alcuni dubbi (A. FROVA, *op. cit.*, p. 21 nota 51: « Confesso che la sciatteria del vaso mi aveva fatto perfino dubitare della sua autenticità »).

² L'identificazione del colore è stata eseguita mediante confronto con le carte di colore *DIN Farbenkarte* 6164. In proposito cfr. N. CUOMO DI CAPRIO - S. SANTORO BIANCHI, *Lucerne fittili e bronzee del Museo Civico di Lodi - Sezione Archeologica*, in « Quaderni di Studi Lodigiani », N. 1, a cura dell'Archivio Storico Lodigiano, Lodi 1983, pp. 35-44.

³ Per i dieci reperti qui analizzati, l'esame al microscopio è stato condotto utilizzando uno stereomicroscopio dotato di

buona profondità di campo, con ingrandimenti da 60 a 150X. Nell'oculare è stato inserito un micrometro a rete per avere la possibilità di accertare per confronto la granulometria del degrassante. Per i particolari della strumentazione e per la descrizione del metodo si rimanda a: N. CUOMO DI CAPRIO - S. SANTORO BIANCHI, *op. cit.*, pp. 62-69.

⁴ È da presumere che il raffreddamento del manufatto sia avvenuto rapidamente in quanto le bollicine sembrano « congelate » nella condizione di formazione, il che fa presumere l'uso di fornaci di dimensioni limitate.

⁵ Viene qui usato il termine « argilla risparmiata » perché da tempo entrato nel linguaggio archeologico. È però opportuno ricordare che si tratta di un termine improprio in quanto l'argilla, quando sottoposta a cottura, subisce profonde trasformazioni chimiche e fisiche che ne cambiano completamente le caratteristiche. Sarebbe quindi più appropriato usare un termine generico quale « corpo ceramico ». Analoga osservazione va fatta a proposito della « vernice nera », un termine non appropriato in quanto non si tratta di una « vernice », ma di un rivestimento atipico. In proposito cfr. N. CUOMO DI CAPRIO - S. SANTORO BIANCHI, *op. cit.*, pp. 49-53.

⁶ Per dettagli circa l'esame delle incrostazioni si rimanda all'Appendice N. 1.

SCHEDA N. 2 (N. Lab. 192)

Statuetta femminile del tipo Tanagra

Provenienza: sconosciuta.

Appartenenza: Museo Civico di Milano (Inv. N. A 7, prov. dalla collezione Ancona)

Datazione: III-II sec. a.C.

Misure (mm): h 156; base lungh. 68, largh. 35.

Stato di conservazione: integra, alcune abrasioni superficiali.

Materiale e tecnica:

colore: corpo ceramico giallo bruno chiaro-rosato (DIN 3:2:2 - 3:3:3).

Corpo ceramico relativamente depurato, senza rivestimento, superficie opaca. Modellazione a calco eseguita presumibilmente mediante matrici diverse per il corpo e per la testa, con giuntura alla base del collo. La testa e la parte frontale della statuetta sono frutto di lavorazione accurata, con ritocchi del panneggio eseguiti a stecca, mentre la parte posteriore è poco particolareggiata e senza rifiniture. Nella zona centrale del retro si apre un foro tondeggianti, dal bordo ineguale e frastagliato, aperto dal vasaio con funzione di sfiatatoio per facilitare l'essiccamento e la cottura del manufatto.

Buona cottura condotta in atmosfera prevalentemente ossidante.

All'esame ottico stereomicroscopico il corpo ceramico si rivela poroso, accidentato, ricco di degrassante, soprattutto quarzo, di granulometria non uniforme, in prevalenza medio-fine (valore intorno a 0,10 mm di diametro), chiaro e colorato. Si nota la presenza di laminette di mica biotite.

Descrizione:

figura muliebre in posizione stante, appoggia sulla gamba sinistra mentre la destra è incrociata, leggermente flessa. Indossa chitone e himation che avvol-

gono il corpo morbidamente, impedendo di vederne le forme. Il braccio sinistro è steso lungo il corpo e la mano è nascosta nel panneggio della veste; il braccio destro è piegato, con il gomito che poggia sopra un alto e sottile pilastrino, mentre la mano trattiene un lembo del chitone sul petto. La donna è raffigurata a capo scoperto: i capelli, divisi con scriminatura centrale, girano morbidamente sulle orecchie, raccogliendosi in un grosso nodo sulla nuca.

La figurina tipologicamente e stilisticamente si inserisce nella produzione coroplastica italiota del III-II sec. a.C., fortemente influenzata dal cosiddetto stile di Tanagra. Strettamente confrontabile nella disposizione e nella resa del panneggio è una figura da Ruvo (N. BREITENSTEIN, *Catalogue of Terracottas Cypriote, Greek, Etrusco-Italian and Roman in the Danish National Museum*, Copenhagen 1941, tav. 81, 661; sebbene qui la donna abbia capo velato e non si appoggi al pilastrino a gambe incrociate, molto simile è la resa del panneggio, col mantello trattenuto dal braccio destro sul petto, e il braccio sinistro lungo il fianco).

Per il tipo della figura femminile appoggiata sulla gamba sinistra e con la destra incrociata, e il gomito destro appoggiato sul pilastrino, cfr. statuetta da Myrina (S. MOLLARD-BESQUE, *Catalogue raisonné des figurines et reliefs en terre-cuite grecs, étrusques et romains*, Musée National du Louvre, II, Paris 1963, tav. 123 b, datata alla prima metà del II sec. a.C.).

Esame delle incrostazioni:

su larga parte della superficie della statuetta si nota la presenza di incrostazioni di colore biancastro-bruno chiaro, in strati di spessore variabile, che aderiscono abbastanza tenacemente al corpo ceramico sottostante.

L'esame microscopico rivela che esse sono costituite da agglomerati irregolari e non uniformi formati per lenta deposizione dei sali minerali presenti nelle acque del sottosuolo che sono state a contatto del reperto durante il periodo di sepoltura. Le incrostazioni sono di tipo calcareo, e durante la loro formazione hanno inglobato numerosi granuli minerali di natura e granulometria differenti.

Prelevati alcuni minuscoli campioni delle incrostazioni, essi sono stati posti sopra la striscia riscaldante dell'apposita apparecchiatura che gradualmente è stata portata alla temperatura di 600°C circa. Contemporaneamente la risposta delle incrostazioni al trattamento termico è stata osservata al microscopio. Sono stati notati lievi cambiamenti nel colore dovuti principalmente alla combustione delle sostanze organiche; ad alta temperatura si è rilevato un inizio di deformazione dovuto alla diversa dilatazione dei granuli minerali e del materiale calcareo.

Attacchi effettuati con acido cloridrico hanno provocato forte reazione, sviluppando una viva effervescenza che si è mantenuta sino alla dissociazione di tutto il carbonato di calcio, lasciando residuo molto scarso.

SCHEDA N. 3 (N. Lab. 44)

Urna funeraria con decorazione a rilievo

Provenienza: sconosciuta.

Appartenenza: Museo Civico di Lodi (Inv. N. 283 a).

Datazione: II sec. a.C.

Misure (mm): lungh. 430; largh. 195; h 270.

Stato di conservazione: completa salvo alcune profonde scheggiature sulla base; numerose venature nella parte figurata; fessure da ritiro anche all'interno dell'urna.

Materiale e tecnica:

colore: corpo ceramico rosa arancio lievemente bruno (DIN 4:3:2).

Corpo ceramico non depurato, senza rivestimento, superficie opaca. Nel corpo ceramico si notano numerose inclusioni, alcune aventi diametro di oltre 1 mm, di natura silicea (in prevalenza granuli quarziferi) oppure calcarea (frammenti di rocce carbonatiche e resti di lamellibranchi).

Le pareti dell'urna hanno notevole spessore, sono state modellate a mano e all'interno recano i segni della stecca e le striature lasciate dalle dita del vasaio. Nella parete frontale, la scena figurata è stata modellata mediante matrici, con rifiniture a stecca. Le figure appiattite e i visi deformati dai lineamenti pressoché irriconoscibili (vedi Lasa sul lato destro) fanno presumere che siano state usate delle matrici stanche, che avevano perduto i dettagli originali e i contrasti tra pieno e vuoto. I ritocchi apportati alle figure sono stati eseguiti con altro tipo di argilla, e la differenza tra gli impasti è stata messa in evidenza dalla cottura, banco di prova di ogni materiale fittile: gli impasti hanno assunto differenti tonalità cromatiche e si sono create delle sfaldature dovute alla scarsa amalgamazione tra gli strati. Si notano anche numerose fessurazioni, dovute probabilmente a un diverso coefficiente di dilatazione delle argille usate e ad un imperfetto essiccamento. Sfaldature e fessurazioni possono anche dipendere, o essere state accentuate, dalla temperatura di cottura, in particolare dalla posizione dell'urna dentro la fornace che ha influito sull'esposizione al calore.

La scena figurata è delimitata sopra e sotto da cornicette piatte applicate; su quella superiore si innesta l'orlo rientrante dell'imboccatura dell'urna che ha la funzione di sostenere il peso del coperchio. Le pareti laterali e il retro dell'urna non sono decorate e sono modellate in maniera grossolana, senza alcuna opera di rifinitura. Buona cottura ad alta temperatura, condotta prevalentemente in atmosfera ossidante, salvo qualche circoscritto fenomeno di riduzione.

All'esame stereoscopico si rileva che il corpo ceramico è molto accidentato, poroso, ricco di degrassante di granulometria grossolana, dal diametro di valore intorno a 0,20 mm, con granuli che superano 1 mm.

Si nota la presenza di quarzo trasparente dagli spigoli vivi, nonché di glomeruli calcarei.

Descrizione:

la scena sul fronte dell'urna raffigura il duello tra Eteocle e Polinice, ed è contenuta in un riquadro incavato, chiuso ai lati da pilastri scanalati con capitelli.

Nel riquadro compaiono quattro personaggi: al centro Eteocle, che indossa la lorica e porta sulle spalle la clamide e sul capo un alto elmo con cimiero, con la mano destra sta immergendo la spada nel collo del fratello, di cui con la mano sinistra sta allontanando lo scudo rotondo. Polinice, anch'egli indossante la lorica sopra al corto chitone ma a capo scoperto in quanto il suo elmo giace a terra, allunga il braccio destro per trafiggere il fratello nel basso ventre al di sotto delle lamine della lorica, mentre con il braccio sinistro tenta di sollevare lo scudo.

Per terra, accanto all'elmo di Polinice, giace anche lo scudo di Eteocle. Ai lati dei due fratelli in lotta si trovano due figure di Lase, in movimento verso l'esterno secondo una disposizione antitetica; indossano una corta veste cinta alla vita e sul petto, ai piedi recano calzari, nelle mani la face accesa.

L'urna rientra tra gli esemplari decorati a stampo ascrivibili alla più tarda produzione chiusina, verso la metà del II sec. a.C.

Lo schema compositivo, ben studiato nella disposizione delle figure convergenti al centro e divergenti lateralmente, si rifà a modelli di rilievi di età ellenistica, dal modellato vivace e figure che danno una sensazione di movimento. (G. FACCHINI, *Il duello tra Eteocle e Polinice*, in « Not. Chiostro Monastero Maggiore », VII-X, 1971-1974, pp. 35-42, figg. 1-3). Per lo schema iconografico a quattro figure in posizione contrapposta cfr. anche G. DAREGGI, *Urne cinerarie etrusche nel Palazzo di Cortona*, Cortona 1970, tav. III.

Per gli aspetti tecnici della lavorazione, cfr. anche: N. CUOMO di CAPRIO - I. MAINONI - F. SACCHI - G. SPINOLLO, *Il sarcofago fittile etrusco del Civico Museo Archeologico di Milano*, in « Not. Chiostro Monastero Maggiore », XXI-XXII, 1978, pp. 24-25.

Per il coperchio attualmente poggiato sopra l'urna, si rimanda alla scheda N. 4.

SCHEDA N. 4 (N. Lab. 43)

Coperchio di urna funeraria con figura di recumbente

Provenienza: sconosciuta.

Appartenenza: Museo Civico di Lodi (Inv. N. 283 b).

Datazione: II sec. a.C.

Misure (mm): lung. 450; largh. 230; h 140.

Stato di conservazione: frattura ad un'estremità del coperchio all'altezza dei piedi della figura, con ampia lacuna nella parte posteriore. Alcune abrasioni e scheggiature superficiali.

Materiale e tecnica:

colore: corpo ceramico bruno arancio (DIN 4:3:4).

Corpo ceramico non depurato, senza rivestimento, superficie opaca. Si nota la presenza di numerosi glomeruli calcarei, ed anche di qualche frammento di conchiglia marina che affiora in superficie.

La base del coperchio ha uno spessore non uniforme, intorno a 20-25 mm circa, e su di essa è stata poggiata la figura del recumbente, modellata separatamente. Attraverso la rottura esistente nel coperchio sono chiaramente visibili i segni lasciati dalle mani del vasaio per fare aderire le due parti tra loro.

Anche la figura del recumbente ha spessore non omogeneo, dai 10 ai 20 mm circa; essa è vuota internamente, ed è stata modellata mediante matrici, con rifiniture a stecca. I lineamenti informi e poco netti del viso e il generale appiattimento della forma inducono a supporre che siano state usate delle matrici logore dall'uso.

Si notano alcune fessurazioni filiformi, imputabili ad un essiccamento troppo rapido, condotto senza le cautele necessarie per manufatti aventi spessore non uniforme, oppure a un diverso coefficiente di dilatazione termica lineare delle argille usate per modellare il manufatto e per eseguire i ritocchi.

Cottura condotta ad alta temperatura in ambiente prevalentemente ossidante, però con fenomeni di riduzione che hanno provocato macchie scure ed aloni rossastri.

L'esame ottico stereomicroscopico permette di notare che il corpo ceramico è molto accidentato, poroso, ricco di degrassante di granulometria grossolana, avente diametro dal valore intorno a 0,20 mm, con granuli che arrivano a 2 mm e oltre. Il degrassante è chiaro e colorato, con prevalenza di quarzo dagli spigoli vivi. Si nota la presenza di glomeruli rossastri, formati da ocre ricche di ossidi di ferro.

Descrizione:

il coperchio raffigura un letto, basso e senza piedi, poggiato per terra. Sul letto è stesa una figura di giovinetto completamente avvolto in un mantello che nasconde le forme del corpo. Il giovinetto poggia parzialmente sul fianco sinistro e ha il capo sorretto da un cospicuo cuscino.

Per i confronti si veda: G. FACCHINI, *Il duello tra Eteocle e Polinice*, in « Not. Chiostro Monastero Maggiore », VII-X, 1971-1974, pp. 35-42, fig. 2.

Mancano notizie sicure che permettano di stabilire se il coperchio è pertinente all'urnetta funeraria sopra la quale esso è attualmente poggiato.

SCHEDA N. 5 (N. Lab. 42)

Scodella apoda

Provenienza: sconosciuta.

Appartenenza: Museo Civico di Lodi (Inv. N. 304).

Datazione: II-I sec. a.C.

Misure (mm): h 60; Ø bocca 132; Ø fondo 25.

Stato di conservazione: lacuna sull'orlo.

Materiale e tecnica:

colore: corpo ceramico arancio-rossastro (DIN 5:5:3).

Corpo ceramico poco depurato, senza rivestimento, superficie opaca. Modellazione a tornio (sono visibili le striature concentriche lasciate dal movimento di rotazione del tornio); pareti sottili; scarsa opera di rifinitura per cui all'interno della coppa sono rimaste due protuberanze tondeggianti. Buona cottura condotta in atmosfera prevalentemente ossidante.

All'esame ottico stereomicroscopico il corpo ceramico si rivela poroso, dalla superficie molto accidentata. Il degrassante è soprattutto quarzo, di granulometria non uniforme, in prevalenza medio-fine (valore intorno a 0,10 mm, con alcuni granuli che arrivano a 0,80 mm). Molti i granuli quarzosi bianchi trasparenti a spigoli vivi. Si notano alcune laminette di mica bianca.

Descrizione:

scodella in terracotta, di forma quasi emisferica e fondo piatto appena accennato.

I confronti più puntuali sono offerti da esemplari della tarda età del ferro (E. BIANCHETTI - E. FERRERO, *I sepolcreti di Ornavasso*, in « Atti della Società di Archeologia e Belle Arti per la prov. di Torino », 1895, VI, pp. 125, 138, 145, 161, 163, tav. XXI N. 23. Nella necropoli di S. Bernardo, tombe 40, 70, 84, 118, 124, tali esemplari sono descritti « con stretta base lievemente incavata » e presentano un brevissimo orlo a tesa. Il materiale del Bianchetti è ripubblicato e classificato da: P. PIANA AGOSTINETTI, *Documenti per la protostoria della Val d'Ossola*, Milano 1972. A pp. 247-248 fra i materiali del II-I sec. a.C. viene inserito il gruppo delle scodelle apode (« coppetta apoda conica, di terracotta non verniciata con fondo incavato ») che si dividono in due sottotipi nei quali il N. 2 ha labbro non distinto come l'esemplare qui in esame (tav. XXIII N. 5). Nel sottotipo N. 2 vengono compresi gli esemplari dalla tomba 84 (BIANCHETTI p. 145) e dalla tomba 118 (BIANCHETTI p. 161).

Cfr. inoltre: C. SIMONETT - N. LAMBOGLIA, *Necropoli romane nelle terre dell'attuale Canton Ticino*, estratto da « Archivio Storico Ticinese », 29-30, 1967-1971, pp. (256) e (258), (S. Pietro di Stabio, I, N. 3). Il reperto ha base incavata e brevissimo orlo svasato; viene definito « bicchiere ».

Da notare che dalla necropoli di S. Bernardo provengono anche coppe quasi emisferiche, prive di piede e con orlo svasato, in argento (E. BIANCHETTI - E. FERRERO, *op. cit.*, p. 42; tomba 130 a p. 167; tomba 165 a p. 186, tav. XVI NN. 5-6. Tali coppe sono classificate tra i materiali di II-I sec. a.C. (P. PIANA AGOSTINETTI, *op. cit.*, p. 233, tav. XVI, N. 2).

Esame delle incrostazioni:

su ampie zone della scodella sono presenti delle incrostazioni, in alcuni punti di colore biancastro, in altri punti di colore giallo tendente al bruno. Aderiscono abbastanza tenacemente al corpo ceramico sot-

tostante, sono in strati di spessore variabile, formando talora dei grumi a forte rilievo.

All'interno della coppetta le incrostazioni hanno andamento ad onda, segnando un netto confine tra la zona che è stata maggiormente bagnata dalle acque percolanti sotterranee e sulla quale è avvenuta una abbondante deposizione dei sali in soluzione nelle acque, e la zona che è andata esente da tale processo.

All'esame microscopico si nota che le incrostazioni biancastre hanno un aspetto soffice e spugnoso, mentre le incrostazioni brunastre, maggiormente consolidate, sono composte da un insieme di glomeruli, sferici oppure ovoidali, che ricordano la granulazione dell'oreficeria etrusca. Nell'insieme le incrostazioni formano degli aggregati irregolari e non uniformi, tipici agglomerati calcarei formati spontaneamente per la lenta deposizione sulla superficie del reperto dei sali minerali presenti nelle acque percolanti del sottosuolo.

L'esame al microscopio stereoscopico ha permesso di rilevare tracce di un reticolo irregolare ad andamento filiforme, presumibilmente formato dalle radici vegetali che avevano avvolto il reperto durante la sepoltura nel sottosuolo. Scomparse col tempo, le radici hanno però lasciato la loro impronta nel calcare che si era depositato loro attorno a guisa di involucro. Alcuni resti di queste minuscole radici sono ancora visibili ad un'attenta osservazione al microscopio.

Sotto le incrostazioni si notano alcune macchie di colore nerastro, probabilmente dovute a circoscritti fenomeni di riduzione durante la cottura.

Alcuni campioni delle incrostazioni sono stati sottoposti a temperature crescenti. L'azione del calore non ha provocato cambiamenti radicali nella struttura delle incrostazioni.

Attacchi effettuati con acido cloridrico hanno provocato reazione ed effervescenza molto viva, e la decomposizione del carbonato di calcio è avvenuta in maniera rapida e decisa, con liberazione dei granuli minerali che erano rimasti intrappolati durante la formazione delle incrostazioni stesse.

SCHEDA N. 6 (N. Lab. 185)

Alabastron a figure nere

Provenienza: sconosciuta.

Appartenenza: collezione privata.

Datazione: fine VI-inizi V a.C. (produzione recente, secondo i risultati dell'analisi di termoluminescenza).

Misure (mm): h 220; Ø bocca 60.

Stato di conservazione: numerose fratture ricomposte mediante restauro di tipo provvisorio; alcune lacune nel corpo e nel collo; alcune abrasioni superficiali; minuscole intaccature nell'area verso il fondo.

Materiale e tecnica:

colore: vernice nera (DIN - :0:7,5); ingobbiatura

chiaro (DIN da 3:1:1 a 3:2:1) corpo ceramico rosarancio lievemente bruno (DIN 4:3:2).

Corpo ceramico depurato; modellazione a tornio molto curata e che denota padronanza della tecnica della foggatura; pareti sottili; superficie levigata e bene rifinita.

Vernice nera abbastanza lucente che, nella parte figurata, è stata applicata sopra un'ingobbiatura chiara.

Le sovraddipinture nella scena figurata sono in rosso paonazzo scuro.

Cottura ad alta temperatura condotta a fasi alternate in ambiente ossidante e riducente, con alcuni brevi e circoscritti fenomeni locali di riduzione che hanno causato qualche area scura e alcuni aloni rossastri.

All'esame stereomicroscopico la vernice nera appare completamente vetrificata, molto liscia, continua; il corpo ceramico appare accidentato, poroso, ricco di degrassante di granulometria fine, valore intorno a 0,05 mm di diametro, in prevalenza chiaro a spigoli vivi.

Continuando l'esame microscopico si rileva che i particolari a graffito sono stati incisi con tratto largo, impresso con forza. Talvolta la punta rigida usata per graffiare è sfuggita al controllo dell'incisore che ha dovuto apportare delle correzioni, con sovrapposizione dei tratti.

Durante l'esame microscopico è stata rivolta particolare attenzione alle minuscole intaccature visibili nell'area verso il fondo dell'alabastron: con il loro aspetto regolare e uniforme esse destano perplessità in quanto sembrano fatte ad arte.

Descrizione:

alabastron dal corpo ovoidale molto allungato privo di piede, collo basso e stretto, labbro orizzontale appiattito.

Decorazione a vernice nera sul fondo ingobbiato: sulla spalla, dall'alto, fila di ovuli inframezzati da segmenti verticali, indi entro una coppia di sottili linee orizzontali una fascia di boccioli di loto.

La decorazione figurata rappresenta Eracle vestito della leontè, volto verso destra: con la mano destra impugna la clava mentre con la sinistra colpisce un Centauro scalpitante che lo sta affrontando. Alle spalle di Eracle, un altro Centauro tenta di trattenere l'eroe afferrandolo per il braccio. Sullo sfondo, lunghi tralci di edera stilizzati e svolazzanti.

Lo schema della lotta tra Eracle e il Centauro, con l'eroe raffigurato nell'atto di colpire il Centauro di fronte a lui con le zampe anteriori sollevate, si ritrova su un'anfora ora a Toledo, datata al 510-500 a.C., ove la figura del Centauro è molto simile anche nella caratterizzazione del volto, e si ritrovano sia i rami di edera che riempiono il fondo sia i particolari della decorazione accessoria (C V A Toledo Museum of Art, 1, tav. 11). La figura di Eracle si rifà iconograficamente e stilisticamente a modelli della produzione attica a figure nere degli ultimi decenni del VI sec. a.C. (cfr. E. PFUHL, *Malerei und Zeichnung der Griechen*, München 1923, figg. 266 e 271; C V A Mun-

chen, 8, tav. 410, datato verso il 510 a.C.; C V A München, 1, tav. 20, figg. 1-2, datato al 530 a.C. circa).

La forma dell'alabastron dura attraverso il VI e V secolo con pochi cambiamenti (G. M. A. RICHTER - M. J. MILNE, *Shapes and names of Athenian vases*, New York 1935, p. 17).

Esame delle incrostazioni:

si nota qualche traccia di incrostazioni sul fondo dell'alabastron, sotto la zona figurata. Esse hanno colore scuro, aderiscono tenacemente alla superficie del reperto e hanno andamento filiforme, come se fossero state tracciate da un pennello sottile.

L'esame stereomicroscopico rileva che le incrostazioni hanno composizione omogenea, non diversificata, e che contengono rari granuli minerali. Attacchi effettuati con acido cloridrico non hanno provocato reazione.

Dalla superficie del reperto sono stati staccati alcuni minuscoli frammenti delle incrostazioni che sono stati sottoposti a riscaldamento nell'apposita apparecchiatura; contemporaneamente la risposta al trattamento termico è stata osservata attraverso il microscopio. Nella struttura e nella tinta delle incrostazioni sono avvenuti dei cambiamenti tali da indurre a supporre l'esistenza di materiale collante organico.

SCHEDA N. 7 (N. Lab. 186)

Lekythos a fondo bianco

Provenienza: sconosciuta.

Appartenenza: collezione privata.

Datazione: V sec. a.C. (produzione recente, secondo i risultati dell'analisi di termoluminescenza).

Misure (mm): h 315; Ø bocca 65; Ø piede 60; circonferenza 320.

Stato di conservazione: nel corpo e nel collo alcune fratture ricomposte mediante restauro. Qualche scheggiatura ed abrasione superficiale.

Materiale e tecnica:

colore: vernice nera (DIN 2:1:7); ingobbiatura chiara (DIN da 2:1:1 a 3:1:1); corpo ceramico arancio bruno (DIN 4:4:3).

Corpo ceramico bene depurato; modellazione al tornio molto curata; pareti mediamente sottili; superficie levigata e rifinita accuratamente. Verso il fondo della lekythos, sotto la zona figurata, si nota una leggera rientranza concava: è ragionevole supporre che essa sia stata causata da un urto subito dal manufatto ancora allo stato crudo, urto che ha provocato una sorta di ammaccatura, ma non una vera e propria rottura. Si può anche supporre che tale incavo sia da attribuire ad errori di impilaggio del vasellame durante il caricamento dentro la fornace.

Vernice nera mediamente lucente con alcune aree verso il piede di colore rossastro per parziale riossidazione durante la fase finale della cottura.

Sovraddipinture in colore paonazzo scuro mediamente denso.

Cottura ad alta temperatura condotta a fasi alternate ossidanti e riducenti, con casuali immissioni di aria che hanno provocato fenomeni circoscritti di riossidazione superficiale.

All'esame ottico stereomicroscopico la vernice nera appare vetrificata, continua e molto liscia; la figura alata appare delineata con tratto sottile e sicuro, presumibilmente mediante l'uso di un pennello di estrema finezza, intinto nella vernice nera: sul fondo ingobbato la figura appare quasi a rilievo.

Descrizione:

lekythos dalla forma affusolata, spalla distinta dal corpo, collo alto e stretto, bocchino svasato, piede ad echino, ansa a nastro impostata verticalmente. Bocchino, collo, ansa e parte inferiore del vaso sono ricoperti con vernice nera.

La decorazione a vernice nera sul fondo ricoperto da ingobbiatura chiara consiste sulla spalla in cinque palmette, di cui quella opposta all'ansa è rivolta verso il basso, collegate tra loro da volute; sotto la carenatura della spalla, entro sottili linee orizzontali, un motivo a meandro intervallato da riquadri crociati e puntinati.

La decorazione figurata rappresenta una figura di Nike che avanza verso destra volgendo il capo all'indietro; ha i capelli sciolti sulle spalle, cinti da una tenia; sul collo le scende una lunga ciocca ondulata. La Nike ha le ali aperte e le braccia spalancate; nella mano sinistra tiene una patera, nella destra un'oinochoe. Indossa una veste decorata con rosette puntinate, ed è parzialmente avvolta da himation fittamente pieghettato e orlato di punti. Sullo sfondo, una piccola e bassa ara con palmetta.

La forma della lekythos appartiene al tipo II Richter-Milne, con spalla distinta dal corpo, variante che comincia alla metà del VI secolo circa, e diventa comune nel V secolo (G. M. A. RICHTER - M. J. MILNE, *Shapes and names of Athenian vases*, New York 1935, p. 15).

Il vaso si ispira alla produzione iniziale delle lekythoi a fondo bianco dei primi decenni del V a.C. e può essere confrontato con il noto esemplare attribuito a Douris, ora al Museo di Cleveland, datato al primo venticinquennio del V, con Atalanta inseguita da Eroti. Sebbene in quell'esemplare la decorazione sia più complessa, molto vicina stilisticamente e iconograficamente è la figura femminile in corsa verso destra; si veda anche la resa delle ali degli Eroti con la parte superiore puntinata (*C V A Cleveland Museum of Arts*, 1, tav. 32).

Lekythoi a fondo bianco decorate con un'unica figura di Nike sono tipiche della produzione del Pittore di Bowdoin, attivo entro il secondo quarto del V secolo (cfr. D. C. KURTZ, *Athenian white lekythoi*, Oxford 1975, tav. 16,3 datata al secondo quarto del V, e tav. 60,4 datata dal primo al secondo quarto del V). Sia la decorazione accessoria sulla spalla che

quella all'attacco superiore del corpo rientrano tra i motivi decorativi tipici di questa classe (D. C. KURTZ, *op. cit.*, figg. 5 e 8).

Esame delle incrostazioni:

si notano alcune incrostazioni di entità limitata e scarso spessore che formano minuscole chiazze sparse sul corpo della lekythos. Hanno colore grigiastro, aderiscono poco tenacemente alla superficie del reperto, e possono essere staccate con facilità esercitando una modesta pressione mediante una punta rigida.

All'esame microscopico risulta che le incrostazioni sono composte da materiale omogeneo molto fine che nello strato interno, dopo avere asportato lo strato pulverulento superficiale, appare avere colore bianco tendente al latteo.

Attacchi effettuati con acido cloridrico non hanno causato alcuna reazione: l'acido ha contribuito a staccare dal corpo ceramico le incrostazioni che, galleggiando nel liquido, non si sono decomposte.

Prelevati alcuni campioni delle incrostazioni, questi sono stati posti sulla striscia riscaldante dell'apposita apparecchiatura, e osservati al microscopio durante il trattamento termico. È stato rilevato che, via via che la temperatura si innalzava, il materiale che compone le incrostazioni subiva profonde alterazioni e deformazioni, tali da cambiarne drasticamente la struttura.

SCHEDA N. 8 (N. Lab. 188)

Olpe a rotelle con fregi di animali.

Provenienza: sconosciuta.

Appartenenza: collezione privata.

Datazione: VI sec. a.C. (produzione recente, secondo i risultati dell'analisi di termoluminescenza).

Misure (mm): h 325; h incluse rotelle 360; Ø bocca 155; Ø piede 105.

Stato di conservazione: completa; una rotella reca il segno di una frattura ricomposta mediante restauro. Numerose scrostature nella decorazione.

Materiale e tecnica:

colore: vernice nera (DIN da 3:1:6 a 3:1:7); corpo ceramico da grigio chiaro a giallo-bruno chiaro (DIN da 3:1:1 a 3:2:1).

Corpo ceramico depurato; modellazione a tornio molto curata; pareti mediamente sottili; superficie levigata e rifinita.

Vernice nera poco lucente nei fregi zoomorfi, opaca e molto diluita sul collo e sull'ansa. È stata applicata in strato sottile e si stacca con facilità qualora si eserciti una pressione mediante una punta rigida, il che può spiegare le numerose scrostature rilevabili sulla superficie del reperto; si può ragionevolmente supporre che principale causa del distacco della vernice sia il differente comportamento dilatometrico di quest'ultima rispetto al corpo ceramico. All'esame ottico

microscopico si rileva che la vernice nera ha subito una vetrificazione molto parziale e superficiale.

Continuando l'esame stereomicroscopico si nota che i particolari incisi a graffio sono stati eseguiti con tratto mediamente sottile, non sempre sicuro; si notano alcune correzioni e sovrapposizioni delle incisioni, forse dovute a ripensamenti da parte del decoratore. Si nota pure che il corpo ceramico è poroso, con ampia presenza di degrassante, in prevalenza quarzo, di granulometria fine, chiaro, a spigoli vivi.

Sovraddipinture in colore biancastro e in paonazzo scuro, in strato molto sottile, diluite e opache.

Buona cottura condotta in maniera uniforme.

Descrizione:

Olpe dal corpo ovoidale, alto collo che si allarga all'imboccatura dove poggia l'ansa a nastro, costolata, ornata di una coppia di rotelle. Piccolo piede ad anello.

Sulla faccia esterna di ogni rotella, decorazione sovraddipinta in bianco a forma di rosetta stilizzata, formata da punti uniti a un punto centrale mediante trattini a raggio di ruota. Sul collo, tre rosette puntinate sovraddipinte in bianco.

Sul corpo dell'olpe, la decorazione a vernice nera comprende quattro fregi con teoria di animali, dei quali quello superiore è interrotto dall'attaccatura inferiore dell'ansa. I fregi rappresentano figure di leoni ruggenti, cinghiali, pantere, caproni, tori, volatili e la sfinge a testa umana. Il fondo è riempito da rosette a macchia. Le zone figurate sono separate tra loro da ampie strisce ritoccate in paonazzo. All'attacco inferiore del corpo, sopra il piede, fascia decorata a raggi sorgenti dal piede stesso.

La forma dell'olpe, piuttosto allungata e con collo alto, sarebbe tipica del periodo corinzio. Il tipo della rosetta nonché la resa iconografica e stilistica delle figure degli animali ancora piuttosto snelle ed eleganti permetterebbero un inquadramento più preciso nel Corinzio iniziale, tra il 625 e il 590 a.C. (H. PAYNE, *Necrocorinthia, a study of Corinthian Art in the Archaic Period*, Oxford 1931, pp. 272 e 299-300, tavv. 25-26).

Per altri confronti, cfr. E. PFUHL, *Malerei und Zeichnung der Griechen*, München 1923, fig. 67, olpe a 5 fregi sul corpo e 1 sul collo; H. PAYNE, *op. cit.*, tav. 21,1, olpe a due fregi, e tav. 23,5, anfora a 5 fregi; *CV A Leipzig*, 1, III C, tavv. 43 e 44, oinochoe trilobata con 3 fregi di animali, datata al corinzio iniziale; *CV A Kassel*, 1, tav. XI, I, 4, skyphos con 1 fregio datato al corinzio iniziale.

Esame delle incrostazioni:

su ampie zone dell'olpe si notano incrostazioni di colore grigio-biancastro, talora tendenti al bruno chiaro; sono in strato molto sottile, talvolta simili ad un velo, aderiscono poco tenacemente al corpo ceramico sottostante, e possono essere staccate esercitando una leggera pressione con una punta rigida. Incrostazioni sono presenti anche all'interno dell'olpe, in strati di maggiore consistenza e in alcune aree a grumi irregolari.

L'esame microscopico rileva la presenza di numerosi granuli minerali di colore e granulometria diversi, in prevalenza granuli di quarzo a spigoli vivi e laminette di mica biotite, alcune delle quali alterate, di colore dorato.

Minuscoli campioni delle incrostazioni sono stati prelevati e sottoposti a temperature crescenti nell'apposita apparecchiatura. L'azione del calore ha avuto effetto dirompente: le incrostazioni si sono afflosciate, e la loro struttura ha subito alterazioni di tale entità da perdere le caratteristiche originarie.

Attacchi effettuati con acido cloridrico hanno provocato una tenue azione di disgregazione, con modesta effervescenza. Le incrostazioni si sono ammorbidite e si sono decomposte, seppure in maniera molto parziale. L'attacco acido ha liberato i granuli minerali che erano inglobati, lasciando abbondante residuo pressoché inalterato.

SCHEDA N. 9 (N. Lab. 354)

Calice in bucchero

Provenienza: sconosciuta.

Appartenenza: collezione privata.

Datazione: VI sec. a.C. (produzione recente, secondo i risultati dell'analisi di termoluminescenza).

Misure (mm): h 195; Ø coppa 135; Ø piede 97.

Stato di conservazione: completo salvo una scheggiatura nel piede, con piccola lacuna.

Materiale e tecnica:

colore: corpo ceramico nerastro (DIN —:0:7).

Corpo ceramico bene depurato, di colore molto scuro anche all'interno della frattura. Modellazione a tornio eseguita con cura; pareti sottili; superficie levigata: sono visibili le striature lasciate dall'arnese utilizzato per la levigatura.

Cottura eseguita con particolari accorgimenti in ambiente riducente che ha permesso al reperto di acquisire in superficie e all'interno il colore nerastro tipico del bucchero. Dall'alta temperatura raggiunta durante la cottura è derivata sonorità al reperto che, quando percosso, dà un suono di timbro metallico.

L'esame stereomicroscopico rivela che la superficie è finemente accidentata, con numerosi minuscoli rigonfiamenti dovuti al degrassante che affiora. Quest'ultimo è abbondante, chiaro e colorato, di granulometria fine, diametro del valore intorno a 0,05 mm.

Descrizione:

calice in bucchero; coppa molto ampia dalla base piatta segnata all'esterno da una leggera rientranza; pareti ondulate che si allargano leggermente verso l'alto. Lungo stelo cilindrico separato dal piede campanulato mediante un doppio listello.

Il calice può essere confrontato con un esemplare in bucchero pesante proveniente da una tomba di Poggio Buco, databile non oltre il secondo quarto del VI sec. a.C. (G. MATTEUCIG, *Poggio Buco, The ne-*

cropolis of Statonia, Berkeley 1951, p. 51 n. 63, tav. XXI, 10).

Un esemplare molto simile è conservato nel Museo di Amburgo (E. VON MERCKLIN, *Etruskische Keramik im Hamburgischen Museum für Kunst und Gewerbe*, in « Studi Etruschi », IX, 1935, p. 314, tav. XLV, 7). Cfr. anche C V A *Sevres*, tav. 28,10, da Chiusi o Volterra; M. MONACI, *Catalogo del Museo Archeologico Vescovile di Pienza*, in « Studi Etruschi », XXXIII, 1965, p. 436, fig. 5, N. 131 (l'esemplare, lacunoso, è in bucchero sottile ed è confrontato a un calice del British Museum a profilo nettamente più tozzo e piede meno slanciato, datato al 550-525 a.C. (C V A *British Museum*, 7, IV Ba, tav. 20,3)).

Esame delle incrostazioni:

su larghe zone del calice, in particolare sulla base del piede e sulle ondulazioni della coppa, si notano incrostazioni di colore bruno chiaro. Sono in strato sottile, e aderiscono appena al corpo ceramico sottostante, potendo essere staccate con estrema facilità mediante una punta rigida.

L'esame al microscopio rileva che le incrostazioni sono formate da materiale di grana molto fine, non cementato, ossia da granuli minerali semplicemente aggregati l'uno all'altro, non tenuti assieme da alcun legante strutturale.

Attacchi con acido cloridrico non hanno provocato alcuna reazione, il che conferma che le incrostazioni sono composte da sabbia fine rimasta aderente alla superficie del reperto per contatti casuali.

SCHEDA N. 10 (N. Lab. 190)

Statuetta femminile acefala

Provenienza: sconosciuta.

Appartenenza: Museo Civico di Milano (prov. dalla collezione del pittore Bossi, entrata nel Museo Patrio di Archeologia di Milano nel 1864).

Datazione: epoca ellenistica-romana (produzione ottocentesca, secondo i risultati dell'analisi di termoluminescenza).

Misure (mm): h massima residua 105; base lungh. 28; largh. 21.

Stato di conservazione: lacunoso, testa e braccio destro mancanti. Lacune nella base. Abrasioni superficiali.

Materiale e tecnica:

colore: corpo ceramico strato superf. da bruno a bruno-arancio (DIN da 4:2:5 a 5:1:4); strato interno arancio tendente al bruno (DIN 4:4:2).

Corpo ceramico poco depurato, superficie opaca. La statuetta non ha alcun rivestimento, sebbene la polvere accumulatasi lungo il tempo abbia dato alla superficie una tonalità molto più scura di quella che si nota alla frattura.

Circa la modellazione, per quanto non si possa escludere tassativamente che siano state usate delle ma-

trici, è ragionevole supporre che la statuetta sia stata modellata a mano libera, scolpendo un blocchetto di argilla con tecnica analoga a quella usata per scolpire un blocco di marmo. Infatti la statuetta è piena all'interno, inoltre i forti contrasti di pieno e di vuoto e le incisioni molto marcate inducono a propendere per l'ipotesi della modellazione diretta. È ancora da aggiungere che le accentuate sinuosità del corpo della statuetta creano dei sottosquadri che in una matrice avrebbero provocato rotture o deformazioni all'atto dell'estrazione del manufatto dall'interno della matrice stessa.

Il retro della statuetta è appena sbizzato, modellato in maniera molto approssimativa e senza alcuna opera di rifinitura.

All'esame stereomicroscopico il corpo ceramico si rivela fortemente accidentato, poroso, ricco di degrassante (in particolare quarzo) dalla granulometria non uniforme, in prevalenza medio-fine (valore intorno a 0,15 mm di diametro, con alcuni granuli che arrivano a 0,40 mm circa); chiaro e colorato.

Descrizione:

statuetta acefala, forse raffigurante Minerva, vestita di lungo chitone altocinto e parzialmente avvolta da mantello trattenuto sul petto da un fermaglio. Poggia sulla gamba destra, ancheggiando, mentre la gamba sinistra è flessa e poggia soltanto sulla punta del piede. Il braccio destro è spezzato all'avambraccio; il sinistro è steso lungo il corpo e regge, mediante un bracciale infilato all'altezza del gomito, uno scudo elissoidale di ampie dimensioni che fa da sfondo alla figura dalla spalla sino ai fianchi; la mano impugnava una torcia.

Nonostante i forti dubbi sulla reale antichità della statuetta, per i confronti si veda una figura di Minerva da Myrina per l'atteggiamento delle braccia e la disposizione degli attributi (S. MOLLARD-BESQUES, *Catalogue raisonné des figurines et reliefs en terre cuite grecs, étrusques et romains*, Musée National du Louvre, II, Paris 1963, tav. 103 d).

Per il tipo della figura ancheggiante con la gamba di carico tesa e l'altra piegata e poggianti col piede all'indietro e leggermente divaricato rispetto al primo, con il panneggio delle vesti mosso e con un ampio lembo passante obliquamente sul davanti delle anche, cfr.: S. MOLLARD-BESQUES, *op. cit.*, tav. 24c, datata alla fine del I a.C., e tav. 108 a, figura di Musa datata alla seconda metà del I a.C., e tav. 108 a, figura di Musa datata alla seconda metà del I a.C. Nella strana disposizione del panneggio sul petto trattenuto dal fermaglio può forse riconoscersi la trasformazione dell'egida: cfr. ad es. L. GATTI LO GUZZO, *Il deposito votivo dell'Esquilino detto di Minerva Medica*, Firenze 1978, p. 47, tav. XI, EXXX C; cfr. anche *Catalogo Roma Medio Repubblicana*, Roma 1973, figg. 198-200 (D. RICCIOTTI).

Esame delle incrostazioni:

la superficie della statuetta è coperta da un leggero strato di materiale pulverulento, addensato nelle pie-

TABELLA N. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Numero scheda	Datazione archeologica presunta (anni)	$D_{\beta \text{ eq}}$ (rad)	I	Dose tot. $D_{\beta \text{ eq}} + I$ (rad)	Dose tot. annua calcolata (rad/anno)	$U^{(1)}$ (p.p.m.) $Th^{(1)}$	Dose alfa annua (U+Th) (rad/anno)	Dose alfa annua (U+Th) (rad/anno)	Dose beta annua (U+Th) (rad/anno)	Dose beta annua (U+Th) (rad/anno)	Dose beta annua K-40 (rad/anno)	Dose totale annua misurata ($^{(1)}$) + ($^{(2)}$)	Dose totale annua misurata ($^{(1)}$) + ($^{(3)}$)
1	2500 ± 50	1500	0	1500	0,600	4,1	1,806	1,456	0,086	0,076	0,225	0,707 ± 0,05	0,644 ± 0,05
2	2200 ± 50	802	153	955	0,434	2,8	1,496	2,184	0,069	0,115	0,138	0,556 ± 0,05	0,706 ± 0,05
3	2100 ± 50	1500	0	1500	0,714	2,6	1,492	1,690	0,068	0,090	0,201	0,618 ± 0,05	0,670 ± 0,05
4	2100 ± 50	1230	0	1230	0,586	2,2	1,373	1,404	0,062	0,074	0,198	0,591 ± 0,05	0,608 ± 0,05
5	2100 ?	1230	123	1350	0,642	2,5	1,775	1,612	0,079	0,085	0,184	0,654 ± 0,05	0,636 ± 0,05
6	2500 ± 50	~0	0	~0	~0	2,9	1,657	2,236	0,076	0,117	0,174	0,625 ± 0,05	0,752 ± 0,05
7	2450 ± 50	~0	0	~0	~0	2,1	1,264	1,378	0,057	0,072	0,232	0,604 ± 0,05	0,636 ± 0,05
8	2550 ± 50	~0	0	~0	~0	3,1	1,483	1,612	0,070	0,084	0,169	0,586 ± 0,05	0,620 ± 0,05
9	2500 ± 50	~0	0	~0	~0	2,7	1,727	1,664	0,078	0,087	0,171	0,632 ± 0,05	0,633 ± 0,05
10	2000 ± 100	100	50	150	0,075	2,8	1,511	2,210	0,069	0,116	0,145	0,566 ± 0,05	0,718 ± 0,05

(¹) misure di attivazione neutronica effettuate presso il CESNEF, Milano.

(²) misure di attività alfa totale (rapporto Th/U = 3,16).

(³) misure eseguite col fotometro a fiamma.

ghe del pannello e negli incavi. Il materiale ha colore bruno chiaro e aderisce appena al corpo ceramico sottostante da cui può essere staccato con estrema facilità mediante una punta rigida.

L'esame microscopico permette di rilevare che si tratta di granuli minerali di granulometria molto fine, di colore e natura diversi, non cementati ma semplicemente aggregati tra loro, presumibilmente depositati sul reperto lungo il tempo.

Attacchi con acido cloridrico non hanno provocato reazione, il che conferma che si tratta di sabbia fine, aderente alla superficie del reperto per semplice contatto.

CAPITOLO V

Risultati e commenti.

I risultati delle analisi eseguite sui reperti di cui al cap. 4 sono esposti in Tabella 2, della quale è opportuno fare una presentazione generale.

Nella prima e seconda colonna vi è il numero della scheda di ciascun campione e la datazione archeologica desunta dagli elementi storico-stilistici. Per il reperto N. 5, come accennato nell'introduzione, manca una sicura collocazione storica, il che giustifica l'aggiunta di un punto interrogativo a fianco della datazione.

Nella terza, quarta e quinta colonna vi sono i dati di Dose beta equivalente, Intercetta di non linearità, e della dose totale ($D_{\beta \text{ eq}} + I$), espresse in rad.

La dose annua calcolata in sesta colonna è stata ricavata tramite l'equazione (2 bis) di cap. I, e per i primi cinque reperti risulta compresa tra 0,3 e 0,8 rad/anno (cfr. I.3), il che conferma l'autenticità dei reperti stessi. Al contrario, per gli altri cinque reperti la dose annua calcolata è nulla (reperti da N. 6 a N. 9), oppure estremamente bassa (reperto N. 10), il che dimostra che si tratta di manufatti prodotti in epoca recente.

Per fare uno studio più completo dei dieci reperti in esame, si è ritenuto opportuno non limitare l'analisi alla semplice verifica di autenticità che scaturisce dai dati riportati in colonna 6, ma di acquisire ulteriori elementi sulle varie dosi, effettuando misure dirette. I dati ottenuti sono riportati nelle colonne contraddistinte dai numeri da 7 a 14.

Nella settima colonna troviamo la concentrazione di Uranio e di Torio ottenute con misure di attivazione neutronica. Sulla base di questi valori abbiamo calcolato la dose alfa annua (U+Th) e la dose beta annua (U+Th), riportate rispettivamente in ottava e decima colonna. Il calcolo, come già abbiamo accennato, è stato condotto nell'ipotesi di equilibrio se-

colare, ipotesi non sempre verificata. Ciò rappresenta una limitazione di questo tipo di misura.

La dose totale annua di colonna tredici è stata ottenuta dall'espressione:

$$D_{\text{tot.annua}}^{(') + (''')} = k \cdot D_{\alpha \text{ annua}}^{(')(U+Th)} + D_{\beta \text{ annua}}^{(')(U+Th)} + D_{\beta \text{ annua}}^{(''') 40K} + D_{\gamma \text{ annua}} + D_{\text{R.C. annua}}$$

in cui il valore di k è stato assunto pari a 0,15, valore ottenuto da una media effettuata su un ampio numero di casi. Per $D_{\gamma \text{ annua}} + D_{\text{R.C. annua}}$ si è usato il valore standard di $0,125 + 0,05$ rad/anno. Nella nona e undicesima colonna troviamo rispettivamente i dati di $D_{\alpha \text{ annua}} (U+Th)$ e $D_{\beta \text{ annua}} (U+Th)$ ottenuti con le misure di attività alfa totale effettuate nel nostro laboratorio. Ricordiamo che la strumentazione per la misura di $D_{\alpha \text{ annua}} (U+Th)$ e $D_{\beta \text{ annua}} (K-40)$ è stata recentemente intercalibrata con analoghe apparecchiature in altri laboratori nell'ambito di un programma internazionale i cui risultati sono stati presentati al III *Specialist Seminar on TL and ESR Dating*, Helsingør, Denmark, Luglio 1982.

Il passaggio dall'attività alfa alla dose annua alfa e beta, relativa alle famiglie dell'Uranio e del Torio, è stato fatto sulla base della relazione che esiste tra attività e dose per le famiglie radioattive sopra menzionate, e per un rapporto $Th/U = 3,16$, valore medio tipico riscontrato nelle argille.

Nella dodicesima colonna sono riportati i valori della dose annua beta relativa K-40, ottenuti sulla base della relazione che esiste tra dose beta e concentrazione di tale elemento, misurata in laboratorio con fotometria a fiamma.

Nella quattordicesima colonna vi è la dose totale annua, $D_{\text{tot.annua}}^{(') + (''')}$ ottenuta dall'espressione:

$$D_{\text{tot.annua}}^{(') + (''')} = k \cdot D_{\alpha \text{ annua}}^{(')(U+Th)} + D_{\beta \text{ annua}}^{(')(U+Th)} + D_{\beta \text{ annua}}^{(''') 40K} + D_{\gamma \text{ annua}} + D_{\text{R.C. annua}}$$

ove per k e $D_{\gamma \text{ annua}} + D_{\text{R.C. annua}}$ valgono le affermazioni già fatte per $D_{\text{tot.annua}}^{(') + (''')}$.

La $D_{\beta \text{ annua}}^{('')}$ ($U+Th$) è sensibile al rapporto U/Th , e sarebbe più conveniente misurarla direttamente col metodo TLD $_{\beta}$ insieme alla $D_{\beta \text{ annua}}^{(''')}$ (K-40). Non abbiamo però seguito tale metodo in quanto sarebbe stato necessario un quantitativo non piccolo di campione (circa 5 gr.).

Si rammenta che non sono stati valutati certi aspetti quantitativamente rilevanti solo per una datazione, come il contenuto di umidità del campione, l'eventua-

le fuga di radon, ^{222}Rn , e il fading anomalo di termoluminescenza. Per questi motivi ed altri già accennati in precedenza, i valori di $D_{\text{tot.annua}}$ e $D_{\beta \text{ eq.}}$ vanno considerati con un margine di incertezza superiore a quanto appare dalla tabella, e ciò non per l'imprecisione delle misure effettuate, ma per l'assenza di quei dati che non hanno potuto essere misurati.

Passiamo ora ad un esame dei dati riferiti ai singoli reperti. Osserviamo che i reperti contrassegnati con i NN. da 1 a 5 si sono rivelati autentici, mentre quelli indicati con i NN. 6-7-8-9 sono da ritenersi di manifattura recente. Per il reperto N. 10 l'analisi di TL è stata risolutiva agli effetti della sua attribuzione ad epoca recente (secolo XIX).

Analizzando dettagliatamente i singoli dati ottenuti, si osserva che le $D_{\text{tot.annua}}^{(') + (''')}$ e $D_{\text{tot.annua}}^{(''') + (''')}$ danno risultati ragionevolmente simili, tenuto conto delle diverse metodologie, salvo che per i campioni 2-6-10.

Per i reperti rivelatisi autentici, l'intercetta di non linearità è nulla eccettuati i reperti 2 e 5. Per i reperti dimostratisi di fattura recente (NN. da 6 a 9) non vi è stata necessità di misurare l'intercetta perché la $D_{\beta \text{ eq.}}$ è risultata circa zero.

Per i campioni 1, 3, 4, 5, sia la $D_{\beta \text{ eq.}}$ che la dose annua calcolata rientrano nei valori standard; in particolare la dose totale annua calcolata è ben confrontabile con le $D_{\text{tot.annua}}^{(') + (''')}$ e $D_{\text{tot.annua}}^{(''') + (''')}$. Ne emerge un chiaro responso di autenticità e di compatibilità con la datazione effettuata in base agli elementi storico-stilistici.

Per i campioni 3 e 4, prelevati da un'urnetta funeraria e dal coperchio, le dosi beta equivalenti sono risultate leggermente diverse tra loro. La differenza comunque non è tale da indurci a proporre una diversa provenienza od età.

Per il campione 2, la $D_{\text{tot.annua}}^{(') + (''')}$ e la $D_{\text{tot.annua}}^{(''') + (''')}$ non sono in buon accordo. Inoltre la dose beta equivalente ha un valore piuttosto basso. Tuttavia tali dati rientrano nei valori standard.

Per i campioni 6, 7, 8, 9, non vi è molto da aggiungere salvo che essendo la dose beta equivalente circa nulla, essi risultano indiscutibilmente di fattura recente.

La bassissima ma non nulla dose beta equivalente del campione N. 10 darebbe qualche perplessità, che viene però risolta considerando che il reperto è presente nel Museo Archeologico di Milano da oltre cento anni. Pertanto è accettabile che la piccola dose beta equivalente misurata sia stata accumulata nei cento/duecento anni di vita del reperto.

BIBLIOGRAFIA GENERALE

1. AITKEN, M. J. (1968), *Thermoluminescent dating in archaeology: Introductory review*, in «Thermoluminescence of Geological Materials» (D. J. McDougall, ed.) pp. 369-378, Academic Press, New York.
2. AITKEN, M. J. (1968), *Evaluation of effective radioactive content by means of thermoluminescent dosimetry*, in «Thermoluminescence of Geological Materials» (D. J. McDougall, ed) pp. 463-470. Academic Press, New York.
4. AITKEN, M. J. (1979), *Dose rate evaluation. Proceedings of «A Specialist Seminar on Thermoluminescence Dating»*, PACT J. 2, p. 18.
5. BELL, W. T. (1977), *Thermoluminescence dating: revised dose rate data*, in «Archaeometry», 19, p. 31.
6. CUOMO DI CAPRIO N., MAINONI I., SACCHI F., SPINOLO G. (1976), *Il metodo della termoluminescenza nella datazione ed autenticazione di reperti fittili archeologici*. Scienze Sussidiarie dell'archeologia, C.N.R., Roma.
7. FLEMING S. J. (1970), *Thermoluminescence Dating: refinement of the quartz inclusion method*, in «Archaeometry», 12, p. 135.
8. FLEMING S. J. (1973), *The pre-dose technique: a new thermoluminescent dating method*, in «Archaeometry», 15, p. 13.
9. MEJDAHL V. (1970), *Mesurement of environmental radiation at archaeological excavation sites*, in «Archaeometry», 12, p. 149.
10. WINTLE A. G., AITKEN M. J. and HUXTABLE J. (1971), *Abnormal thermoluminescence fading characteristics*, Proc. Int. Conf. Lumin. Dosim. 3rd Risø, Denmark, Risø Rep. 249, p. 105.
11. ZIMMERMANN D. W. (1971), *Thermoluminescence dating using fine grains from pottery*, in «Archaeometry», 13, p. 29.
12. ZIMMERMAN, D. W. (1972), *Relative effects of alpha and beta radiation in inducing thermoluminescence*, in «Radiat. Effects», 14, p. 81.

ESEMPI DI APPLICAZIONE DELL'ANALISI DI TERMOLUMINESCENZA ALL'AUTENTICAZIONE

1. CUOMO DI CAPRIO N., MAINONI I., SACCHI F., SPINOLO G. (1977), *Autenticazione mediante analisi di termoluminescenza di sette reperti del Civico Museo Archeologico di Milano* in «Notiziario del Chiostro del Monastero Maggiore», XIX-XX, pp. 111-123.
2. CUOMO DI CAPRIO N., MAINONI I., SACCHI F., SPINOLO G. (1978), *Il sarcofago fittile etrusco del Civico Museo Archeologico di Milano*, in «Notiziario del Chiostro del Monastero Maggiore», XXI-XXII, pp. 23-32.
3. CUOMO DI CAPRIO N., MAINONI I., SACCHI F., SPINOLO G. (1979), *Verifica dell'autenticità delle coppette fittili con iscrizioni graffite*, Appendice tecnica a: PANCIERA S., *Catolina e Catone su due coppette romane*, in «Miscellanea in onore di E. MANNI», V, Roma, pp. 1652-1661.
4. FLEMING S. J., STONEHAM D. (1973), *Thermoluminescence authenticity study and dating of Renaissance terracottas*, in «Archaeometry», 15, p. 239.
5. SHAPLIN P. D. (1978), *Thermoluminescence and style in the authentication of ceramic sculpture from Oaxaca, Mexico*, in «Archaeometry», 20, p. 47.

NININA CUOMO DI CAPRIO

APPENDICE N. 1

*Esame delle incrostazioni*¹

Le incrostazioni che lungo i secoli si sono formate sulla superficie di un reperto archeologico sono l'unica testimonianza concreta, sotto l'aspetto chimico e fisico, dell'ambiente in cui esso è stato conservato dal momento del suo interrimento sino a quando è stato riportato alla luce, e rappresentano la sua storia per tutto il tempo in cui è rimasto sepolto nel sottosuolo.

Purtroppo sino ad oggi le incrostazioni hanno ricevuto scarsa attenzione negli studi di archeologia: di regola sono considerate un deturpamento da eliminare con drastiche puliture, dimenticando che esse sono ormai parte integrante del manufatto. Quando un reperto manca dei dati di scavo, esse sono l'unica traccia disponibile per individuare le caratteristiche del luogo di sepoltura: sebbene oggi possa sembrare fantascienza, non si può escludere che in futuro l'affinarsi delle analisi di laboratorio permetta di risalire tramite le incrostazioni all'ambiente di provenienza. E' quindi auspicabile che le incrostazioni non vengano eliminate. Nei casi in cui esse dovessero ostacolare la lettura e lo studio del reperto, si potrebbe ricorrere a puliture parziali, risparmiando almeno una piccola zona della superficie e lasciandola allo stato originale, a disposizione per eventuali future analisi scientifiche.

La formazione delle incrostazioni è dovuta di regola alla permanenza del reperto nel sottosuolo in ambiente di acque percolanti, e sovente a diretto contatto con la falda freatica. Attraverso i secoli è quindi avvenuta una lenta deposizione dei sali in soluzione nelle acque stesse, deposizione che ha talora inglobato anche granuli minerali del terreno, variabili per tipo, colore e granulometria, nonché frustoli vegetali, sostanze organiche e minuscoli frammenti di materiale eterogeneo.

Le acque sotterranee sono normalmente calcaree, sebbene possano talvolta avere natura silicea. Da acque ricche di bicarbonato di calcio in soluzione che si deposita per mutate condizioni ambientali (innalzamento della temperatura, rapida evaporazione, perdita di anidride carbonica, etc.) derivano depositi calcarei estremamente porosi, non coerenti e poco cementati.²

Da acque ricche di silice in soluzione derivano formazioni di quarzo microcristallino o calcedonio amorfo dovute a processi di precipitazione della silice stessa.³ Questi prodotti si depositano sulla superficie del reperto, aderendovi tenacemente e formando una sorta di rivestimento vetroso più o meno trasparente.

A seconda del tempo di permanenza del reperto nel sottosuolo e della concentrazione dei sali minerali nelle acque sotterranee, si formano incrostazioni in strato più o meno spesso e più o meno cariche di impurezze. Sul tipo di stratificazione influisce anche il clima della zona di sepoltura: in regioni a clima

arido o soggette a lunghi periodi asciutti, la risalita per capillarità delle acque meteoriche porta a ripetuti inumidimenti della superficie del reperto e quindi a periodi di bagnato e di secco che provocano il sovrapporsi delle deposizioni.

Sui reperti archeologici, soprattutto se provenienti dal Sud Italia, le incrostazioni più comuni sono quelle calcaree, mentre scarse sono quelle silicee.

Talvolta i reperti possono presentare dei depositi di sabbia fine: si tratta non di incrostazioni come quelle prima descritte, ma di piccole quantità di materiale a grana fine non cementato e semplicemente aggregato, che si è depositato sulla superficie del reperto per semplice contatto. In linea generale, la presenza o meno di depositi sabbiosi non costituisce un fattore di rilievo, però rappresenta pur sempre un dato che può avere un suo significato e che merita di essere registrato per un'eventuale futura utilizzazione.

I reperti oggetto della presente pubblicazione, sottoposti all'analisi di termoluminescenza, sono stati esaminati al microscopio stereoscopico allo scopo di accertare la natura delle incrostazioni eventualmente presenti. Esami effettuati con mezzi più modesti, ad esempio con lenti di ingrandimento, non avrebbero infatti permesso di rilevare dei dettagli che sono essenziali al fine di formulare giudizi validi.

L'esame è stato eseguito utilizzando un apparecchio dotato di buona profondità di campo, e precisamente uno stereomicroscopio Zeiss DR, obiettivo 6,3X, oculare 10X. Per un maggiore ingrandimento è stato usato l'obiettivo 6,3X, oculare 25X. Nell'oculare è stato inserito un micrometro a rete, con lati di 1,6 mm, suddiviso in 20 quadratini per lato, ognuno di lunghezza pari a 0,08 mm.

In un secondo tempo, sulle incrostazioni di ciascun reperto è stata condotta un'ulteriore verifica allo scopo di ottenere informazioni più complete possibili sulla loro struttura, e per indagare sull'eventuale presenza di materiale collante. Sono stati prelevati minuscoli campioni che via via sono stati collocati sopra la striscia riscaldante di un'apparecchiatura appositamente costruita nel nostro laboratorio: avviato il riscaldamento, attraverso il microscopio stereoscopico è stato osservato il comportamento delle incrostazioni al crescere della temperatura, controllando la loro risposta al trattamento termico.⁴

L'apparecchiatura utilizzata è costituita da un dispositivo di riscaldamento con velocità di aumento della temperatura regolabile, che arriva a una temperatura massima di 800°C sebbene venga solitamente usato sino a un massimo di 600°C circa.

Il dispositivo è sostanzialmente formato da una striscia in nickel-cromo incassata in un blocco isolante, con alimentazione regolabile e controllo di temperatura effettuato mediante una termocoppia. Sopra la striscia, a distanza conveniente, è collocato un filtro anticalore per proteggere la delicata ottica del microscopio. L'apparecchiatura è illustrata nel disegno di cui a fig. 1.

- reperiti di cui a schede N. 1-2-5: è stata accertata la presenza di incrostazioni calcaree.
- reperiti di cui a schede N. 3-4 : non sono presenti incrostazioni.
- reperiti di cui a schede N. 6-7-8: è stata accertata la presenza di incrostazioni artefatte.
- reperiti di cui a schede N. 9-10 : è stata accertata la presenza di depositi di sabbia fine.

Incrostazioni calcaree (Tavv. 1-3)

All'esame microscopico le incrostazioni dei reperiti N. 1-2-5 sono apparse irregolari ed accidentate, formate da agglomerati non omogenei con incavi, asperità, avvallamenti, crateri ed escrescenze, in un insieme che è tipico degli aggregati prodottisi spontaneamente lungo i secoli (vedere al riguardo nota 2). In un caso (N. 5) si è rilevata traccia a stampo delle piccole radici vegetali che avevano avvolto il reperto durante la sepoltura: scomparse col tempo, ne è rimasta l'impronta nel calcare che si era depositato loro attorno e che le aveva racchiuse a guisa di guscio.

Lo spessore dello strato delle incrostazioni è variabile essendo direttamente proporzionale alla quantità di carbonato di calcio in sospensione nelle acque del sottosuolo con le quali il reperto è stato a contatto e alla durata della deposizione. Lo spessore può variare su uno stesso reperto (vedi N. 5), a seconda della posizione in cui esso si è trovato durante l'interramento e a seconda della possibilità di circolazione delle acque sulla sua superficie.

Inglobati nelle incrostazioni, in quantità variabili sono stati notati minuscoli frammenti minerali di granulometria e colore differenti, e talvolta anche frustoli vegetali.

Proseguendo la serie delle verifiche, dai tre reperiti sono stati prelevati minuscoli campioni delle incrostazioni che sono stati posti sulla striscia riscaldante dell'apposita apparecchiatura (vedi fig. 7). Avviato il riscaldamento, attraverso il microscopio è stato osservato il comportamento delle incrostazioni quando sottoposte a temperature crescenti.

Durante la prima fase di crescita della temperatura sono stati notati lievi cambiamenti nel colore dovuti essenzialmente alla combustione delle sostanze organiche e ad eventuale ossidazione del ferro presente. Con l'aumentare del calore i cambiamenti cromatici si sono accentuati, ed è iniziato anche un primo stadio di deformazione causato dalla diversa entità della dilatazione subita dai granuli minerali e dal carbonato di calcio.

Nel complesso i cambiamenti sono stati però di scarsa importanza, e sino alla temperatura massima di 600°C la struttura delle incrostazioni è rimasta salda e l'azione del calore non ha provocato cambiamenti radicali.

Dopo l'esame microscopico, per ognuno dei tre reperiti è stata scelta una zona dove le incrostazioni erano particolarmente rappresentative, e ivi sono stati effettuati attacchi chimici con HCl (acido cloridrico), diluito e concentrato. Gli attacchi hanno provocato

reazione e viva effervescenza, causando la dissociazione del carbonato di calcio che si è decomposto completamente, liberando i granuli minerali, non carbonatici e i resti vegetali ivi inglobati.

Incrostazioni artefatte (Tavv. 4-6).

All'esame microscopico le incrostazioni dei reperiti N. 6-7-8 sono apparse uniformi, di composizione non diversificata, molto fine, talvolta di colore bianco tendente al latteo nell'interno (N. 7), mentre lo strato esterno è grigiastro e pulverulento.

Nelle incrostazioni sono inglobati rari granuli minerali, che presentano talvolta (N. 6) nette fratture conoidi, con spigoli vivi, un tipo di frattura che allude chiaramente a sabbia macinata oppure pestata finemente.

Proseguendo la serie delle verifiche, analogamente a quanto già descritto per i precedenti reperiti, alcuni minuscoli campioni prelevati dalle incrostazioni sono stati collocati sopra la striscia riscaldante dell'apposita apparecchiatura, e la loro risposta al trattamento termico è stata osservata attraverso il microscopio.

Sono stati notati profondi cambiamenti nelle tonalità cromatiche, inoltre la struttura stessa delle incrostazioni sino dalla prima fase di crescita della temperatura ha subito delle deformazioni, tendendo a rammollirsi e a scomporsi. Via via che la temperatura è salita sino al massimo di 600°C, i movimenti e le deformazioni delle incrostazioni si sono accentuati, denunciando la presenza di un materiale collante, probabilmente di natura organica.

Dopo l'esame stereomicroscopico, sulle incrostazioni di ciascuno dei tre reperiti sono stati effettuati attacchi con HCl, diluito e concentrato. Gli attacchi non hanno provocato reazione, oppure (N. 8) un'azione di disgregazione molto modesta: l'acido ha ammorbidito le incrostazioni ma non è riuscito a decomporle totalmente, formando abbondanti residui di materiale non chiaramente definibile.

Depositi di sabbia fine.

All'esame al microscopio le incrostazioni dei reperiti N. 9-10 sono risultate composte da materiale di granulometria molto fine e non cementato: sono granuli minerali semplicemente aggregati tra loro, che aderiscono appena alla superficie del reperto e che possono essere staccati con estrema facilità.

Attacchi effettuati con HCl non hanno provocato reazione, confermando che si tratta di sabbia fine, in prevalenza quarzosa.

Al momento attuale questi depositi di sabbia non sembrano apportare alcun elemento di conoscenza, tuttavia è utile segnalarne la presenza per completare il meglio possibile la descrizione del reperto.

¹ La prima parte di questo capitolo è riportata dal Cap. II di: N. CUOMO DI CAPRIO - S. SANTORO BIANCHI, *Lucerne fittili e bronze del Museo Civico di Lodi, Sezione Archeologica*, in «Quaderni di Studi Lodigiani», N. 1, a cura dell'Archivio Storico Lodigiano, Lodi 1983, pp. 69-72.

² La stessa genesi delle modeste incrostazioni calcaree ora descritte hanno avuto nelle passate ere geologiche i depositi calcarei che costituiscono i travertini. Il *lapis tiburtinus* si è formato a valle di cascate ricche di bicarbonato di calcio in soluzione, a seguito della perdita di anidride carbonica provocata dal rapido movimento delle acque. Talora l'aspetto delle incrostazioni è molto simile a quello del travertino anche nella stratificazione concentrica che dimostra una deposizione non continua, ma a ritmi alternati.

³ Acque percolanti ricche di silice e non di carbonato di calcio sono piuttosto scarse, e sono legate ad arce geologiche dove prevalgono rocce ignee o metamorfiche.

⁴ Un accenno a questo tipo di esami è già stato fatto da: N. CUOMO DI CAPRIO *et al.*, *Verifica di autenticità delle coppette fittili con iscrizioni graffite*. Appendice tecnica a: S. PANCIERA, *Catilina e Catone su due coppette romane*, in « Miscellanea in onore di E. Manni », V, Roma 1979, pp. 1658-1661.

NININA CUOMO DI CAPRIO

APPENDICE N. 2

Prove sperimentali di modellazione al tornio

Analogamente a quanto avvenuto in occasione della schedatura delle lucerne del Museo Civico di Lodi,¹ nel preparare le schede dei reperti fittili da sottoporre all'analisi di termoluminescenza la mia attenzione è stata attirata dalla tecnica di modellazione di alcuni di essi. In particolare per tre reperti, l'alabastron a figure nere (scheda N. 6), la lekythos a fondo bianco

(scheda N. 7) e l'olpe a rotelle con fregi di animali (scheda N. 8), la forma, le pareti sottili e di spessore uniforme, l'opera di rifinitura e la levigazione della superficie denotano un livello di lavorazione tale da indurre ad attribuire al vasaio che li ha modellati una sicura padronanza dell'arte della foggatura al tornio.

In un secondo tempo, quando l'analisi di termoluminescenza ha confermato che i tre reperti non sono autentici, all'interesse per i reperti si è aggiunto quello di verificare il grado di abilità di chi li aveva modellati. Mi sono pertanto domandata se non fosse il caso di riprodurre io stessa i manufatti che avevano attirato la mia attenzione. Il « rifare » i tre manufatti avrebbe avuto un duplice scopo: saggiare il livello di tecnicismo dell'antico vasaio, artefice dei vasi che avevano ispirato le imitazioni, e contemporaneamente rendersi conto delle difficoltà incontrare dall'imitatore nell'eseguire le tre contraffazioni.

Con l'incoraggiamento di alcuni colleghi archeologi² e con la collaborazione di alcuni amici vasai pugliesi,³ ho pertanto eseguito le prove sperimentali qui di seguito descritte.

Argilla

È stata usata argilla proveniente dalla Puglia, prelevata in antiche cave site nei dintorni di Grottaglie e di S. Pietro in Lama. Alcuni campioni sono stati sottoposti ad analisi chimica col metodo della fluorescenza ai raggi X, rivelando la seguente composizione:⁴

	P.F. (*)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Totale
1)	15.9	49.9	10.3	4.1	0.4	12.0	3.1	2.6	1.3	99.6
2)	19.1	44.7	10.1	2.6	0.35	18.0	2.8	2.0	0.2	99.8
3)	16.2	49.2	11.9	3.2	0.4	13.1	2.8	2.4	0.3	99.5

(*) P.F. = perdita al fuoco.

Trattandosi di argilla di cava, per renderla lavorabile sono stati necessari opportuni trattamenti, incominciando con la stagionatura, ossia con l'esposizione delle zolle argillose all'aria aperta per un certo lasso di tempo nell'intento di ottenere sia un aumento della plasticità (per putrefazione delle materie organiche), sia un primo processo naturale di purificazione (per ossidazione della pirite).

Le zolle di argilla sono poi state poste dentro un recipiente e stemperate in acqua: la densa sospensione argillosa è stata indi travasata in un altro contenitore, filtrandola attraverso un setaccio per eliminare le sostanze vegetali venute a galla. Nel recipiente si è avuta una sedimentazione in acqua ferma: i componenti sabbiosi di granulometria più grossa sono precipitati sul fondo, mentre sono rimasti in sospensione quelli più fini e i minerali argillosi in genere. Facendo attenzione a non smuovere il fondo, poi scaricato, è stato effettuato un nuovo travaso, e nel secondo contenitore la sospensione è stata lasciata decantare

sino a quando tutto il materiale, comprendente anche i minerali argillosi più fini, si è depositato sul fondo. Tolta l'acqua in eccedenza, alla massa pastosa così formata è stato dato il tempo necessario per rassodarsi opportunamente.

È stata così ottenuta un'argilla molto fine, plastica, contenente la giusta quantità di acqua. Prima della modellazione, l'argilla è stata lavorata a lungo mediante battitura con le mani in modo da degassarla, ossia togliere le bollicine di aria rimaste imprigionate nell'interno.

Tornio

È stato utilizzato il tornio azionato a piede comunemente usato in Puglia dai vasai tradizionali.

È costituito da un asse verticale che collega in solido un piattello rotondo posto all'estremità superiore chiamato « girella », e una ruota piena posta alla estremità inferiore chiamata « volano ».

L'asse è guidato e mantenuto verticale da un supporto sostenuto da una robusta incastellatura in legno. Quando sulla girella è poggiata l'argilla da modellare, il volano spinto dal piede dal vasaio avvia in rapida rotazione l'asse verticale per cui la girella ruota a velocità sufficiente da permettere di foggare l'argilla in forme cilindriche e tronco-coniche. Il vasaio può quindi dirigere l'energia impartita all'argilla mediante la forza di rotazione, e ha la possibilità di ripetere con esattezza forme cilindriche di vario diametro.

Modellazione

Per modellare al tornio un qualsiasi manufatto, la tecnica iniziale non varia: il vasaio centra una massa di argilla sulla girella, indi vi affonda i pollici e ne scava il centro sino ad arrivare quasi al fondo, modellando mano mano la forma per ottenere un cilindro di cui assottiglia la parete sino ad ottenere l'altezza voluta.

A questo punto, a seconda della forma del manufatto da modellare viene applicata una tecnica differente, e precisamente:

Aryballos

Ottenuto un cilindro delle dimensioni volute, il vasaio ne lavora l'interno sino ad ottenere una cavità della forma e misura desiderata, mentre l'esterno è lasciato a parete dritta, perpendicolare. Indi passa alla modellazione del collo che essendo molto stretto richiede particolare abilità. Il vasaio stringe gradualmente la parte superiore del vaso, e per evitare di chiuderla completamente vi colloca ritto un bastoncino (è molto adatto un fuso da telaio per la sua forma affusolata) che serve per evitare sia il depositarsi in quel punto di barbotina (una sospensione argillosa più o meno densa) che causerebbe facilmente la rottura del collo durante l'essiccamento o la cottura, sia la formazione di striature elicoidali interne, difficili da eliminare e possibili cause di fessurazioni.

Quando la foggatura del collo e dell'imboccatura è terminata, il vasaio toglie dal tornio il vaso e lo pone ad essiccare. Dopo un opportuno lasso di tempo, lo mette nuovamente sul tornio, in posizione capovolta, collocandolo dentro un apposito contenitore dal bordo superiore guarnito con uno spesso anello di morbida argilla al fine di facilitare l'inserimento ed evitare striature. È così possibile, tramite il contenitore, ancorare saldamente al tornio il manufatto parzialmente essiccato: senza questo accorgimento il manufatto, non facendo presa sulla girella, scivolerebbe via dal centro a causa del movimento rotatorio, e quindi sarebbe impedita ogni ulteriore lavorazione.

Con opportuni arnesi (sgorbie dalla forma ed angolatura differenti) il vasaio modella il fondo del manufatto e lo arrotonda sino ad ottenere la forma voluta, levigandolo poi con la stecca il meglio possibile.

Lekythos

Ottenuto un cilindro delle dimensioni volute, il vasaio stringe la parte superiore per modellare il collo e il bocchino. Pone particolare cura nel foggare il collo, lungo e sottile, e per mantenere la comunicazione con l'interno del vaso usa la tecnica già descritta per il manufatto precedente.

Terminato il collo, vengono modellati il fondo del corpo e il piede, e a seconda delle dimensioni e della forma si possono seguire differenti tecniche:

— il piede è modellato stringendo il fondo del vaso, con tecnica analoga a quella seguita per modellare il collo.

Se per modellare il collo occorre molta abilità per non bloccare il passaggio interno, altrettanta abilità occorre nel foggare il piede per evitare di « strozzare » troppo rapidamente il fondo del manufatto, il che ne causerebbe lo sbilanciamento ed eventualmente la rottura.

— il piede è modellato a parte e attaccato in un secondo tempo al vaso, collocato capovolto dentro l'apposito contenitore posto sulla girella del tornio che gira lentamente. L'attaccatura viene eseguita in breve tempo, durante pochi giri del tornio, riducendo quindi il rischio di danneggiare il vaso.

Talvolta, dentro l'apposito contenitore il vasaio pone il vaso, capovolto, già leggermente essiccato e quindi dotato di sufficiente resistenza, e sul fondo vi attacca un piccolo cilindro di argilla appena sbizzato. Lo lascia brevemente essiccare, indi lo modella, ottenendo la forma del piede desiderata. È questa una piccola variante, frutto delle preferenze personali del vasaio.

Vi è però un aspetto negativo in questa tecnica: il vaso collocato dentro il contenitore è celato in buona parte alla vista, ragione per cui il vasaio perde la visione d'insieme, non riuscendo più a vedere quali ritocchi siano necessari per migliorare l'armonia delle proporzioni e della forma.

Nel modellare il piede, la scelta di una o dell'altra tecnica dipende in larga parte dalle dimensioni del vaso: per i vasi grandi, il piede viene di regola modellato a parte. Dipende anche dalla composizione dell'argilla, ossia dal maggiore o minore scheletro siliceo che determina una maggiore o minore resistenza nella modellazione.

Terminato il piede, il vaso viene messo ad essiccare. Quando ha raggiunto l'appropriato grado di essiccamento il vasaio attacca l'ansa, ricavata da una masserella di argilla allungata e appiattita sino a raggiungere forme e dimensioni volute. Sistemato il manufatto sul tornio, il vasaio prende un manico e ve lo applica sopra, fissandone dapprima l'estremità superiore indi quella inferiore, dall'alto verso il basso e facendolo aderire alla superficie mediante una leggera pressione delle dita. Non occorrono adesivi o mate-

riali leganti essendo il manico talmente morbido da saldarsi alla superficie del vaso, diventandone parte. L'uso di acqua otterrebbe un effetto negativo poiché il manico scivolerebbe sul vaso senza farvi presa. Soltanto quando un manufatto sia troppo indurito a causa di un soverchio grado di essiccamento, il vasaio lo ammorbidisce sfiorando con le dita sporche di barbotina il punto dove va attaccata l'ansa.

Olpe.

Ottenuto un cilindro delle dimensioni volute, il vasaio ne assottiglia la parete, e curva dapprima la parte superiore per modellare il collo, indi la parte inferiore per modellare la base.

Quando il manufatto ha dimensioni ridotte, la forma viene modellata di getto; quando ha dimensioni maggiori è necessario modellare il vaso a sezioni, ossia corpo e collo separati, quest'ultimo da attaccare al primo non appena leggermente indurito.

Per manufatti di misure notevoli può essere necessaria un'ulteriore suddivisione ossia foggare anche il corpo in due sezioni staccate, da unire tra loro prima dell'attaccatura del collo e del piede. Le due sezioni del corpo non possono però essere unite insieme subito dopo la foggatura in quanto l'argilla molto umida non reggerebbe il peso delle parti sovrapposte e si schiaccerebbe in un ammasso informe. D'altra parte non sarebbe neanche possibile aspettare ad attaccare le sezioni ormai essiccate in quanto esse non farebbero presa tra loro e si staccerebbero l'una dall'altra.

Per risolvere il problema il vasaio ricorre a un accorgimento: prima di togliere dal tornio la sezione ormai modellata, premendo gradualmente con un dito mentre il tornio continua a girare, egli ricava nell'orlo un incavo a forma di U che corre tutto attorno l'orlo stesso. In un secondo tempo l'incavo viene riempito con una barbotina molto liquida che ritarda l'essiccamento in quanto fornisce l'umidità necessaria a mantenere morbida l'area circostante. Quando le sezioni del vaso hanno raggiunto nel loro complesso un grado di essiccamento pari alla durezza del cuoio, e quindi hanno acquistato una certa resistenza meccanica, il vasaio le unisce l'una all'altra, togliendo dall'incavo la barbotina rimasta ed inserendo ad incastro gli orli ancora umidi. Una successiva lavorazione all'interno e all'esterno del manufatto permette la perfetta unione delle sezioni, eliminando ogni traccia di giuntura.⁵

Considerazioni finali.

Applicando le tecniche sopra descritte è stato possibile riprodurre i tre manufatti che avevano dato l'avvio alla presente indagine. I risultati ottenuti sono visibili nelle fotografie a tavv. 1-5.

Ovviamente le imitazioni qui descritte avrebbero potuto essere eseguite anche con altre tecniche: ogni

vasaio ha un proprio metodo di lavoro, un personale tocco al tornio, i propri « trucchi » di mestiere, per cui sarebbe fuori luogo pretendere che i metodi qui descritti siano effettivamente quelli usati dall'imitatore. Altrettanto fuori luogo sarebbe il presumere di essere risaliti con sicurezza ai metodi di lavorazione seguiti dall'antico vasaio, artefice degli originali ai quali si è ispirato l'imitatore moderno.

È innegabile tuttavia che i manufatti qui ottenuti siano simili a quelli che si è voluto riprodurre. Pertanto si può ragionevolmente supporre che le tecniche oggi usate siano grossomodo analoghe a quelle impiegate dall'imitatore, e fors'anche ai sistemi di lavorazione seguiti dall'antico vasaio.

Circa il grado di abilità necessario per modellare i tre manufatti, ognuna delle fasi di lavorazione prima descritte richiede ovviamente una buona conoscenza dell'arte del vasaio: dalla scelta e preparazione dell'argilla alla modellazione al tornio è tutto un susseguirsi di dettagli lavorativi che soltanto una lunga esperienza può permettere di padroneggiare. Ne deriva quindi la conferma dell'ottimo livello di tecnicismo raggiunto dai vasaio che nell'antichità modellavano manufatti delle tipologie qui prese in esame.

Quanto al moderno imitatore che ha contraffatto in epoca recente i tre reperti, occorre riconoscerli non soltanto una piena padronanza dell'arte del vasaio, ma anche la capacità di immedesimarsi in uno stile di lavorazione di altri tempi, facendolo proprio. Questa sua abilità imitativa arriva a produrre manufatti talmente bene imitati da rendere talvolta arduo anche per un esperto l'esprimere un giudizio. Ne consegue che, qualora l'archeologo ritenga opportuno procedere alla verifica dell'autenticità di manufatti ceramici di ignota o dubbia provenienza, la verifica vada affidata ad appositi esami di laboratorio.

A conclusione delle presenti note, occorre aggiungere che, dopo la modellazione e le riprese fotografiche dei tre manufatti riprodotti, si è ritenuto opportuno interrompere l'esperimento e non estenderlo alla decorazione, in quanto la presente indagine si proponeva di verificare alcune tecniche di modellazione al tornio, e non di produrre delle contraffazioni.

¹ N. CUOMO DI CAPRIO, *Riflessioni su alcune tecniche di lavorazione*, Appendice N. 4 in: N. CUOMO DI CAPRIO - S. SANTORO BIANCHI, *Lucerne fittili e bronzee del Museo Civico di Lodi, Sezione Archeologica*, in « Quaderni di Studi Lodigiani », N. 1, a cura dell'Archivio Storico Lodigiano, Lodi 1983, pp. 247-255.

² Ringrazio il dott. Ermanno Arslan, direttore del Museo Archeologico di Milano, per l'amichevole incoraggiamento.

³ Ringrazio i miei amici vasaio di Grottaglie, in particolare Ninino Alò, Carmelo e Mimmo Vestita.

⁴ N. CUOMO DI CAPRIO, *Ceramica rustica tradizionale in Puglia*, Ed. Congedo, Galatina (Lecce) 1982. Appendice N. 1 (analisi chimiche e mineralogiche), pp. 320-321.

⁵ N. CUOMO DI CAPRIO, *Una fornace a Mozia*, in « Sicilia Archeologica », 34, 1977, pp. 13-14.

PREPARAZIONE CAMPIONI

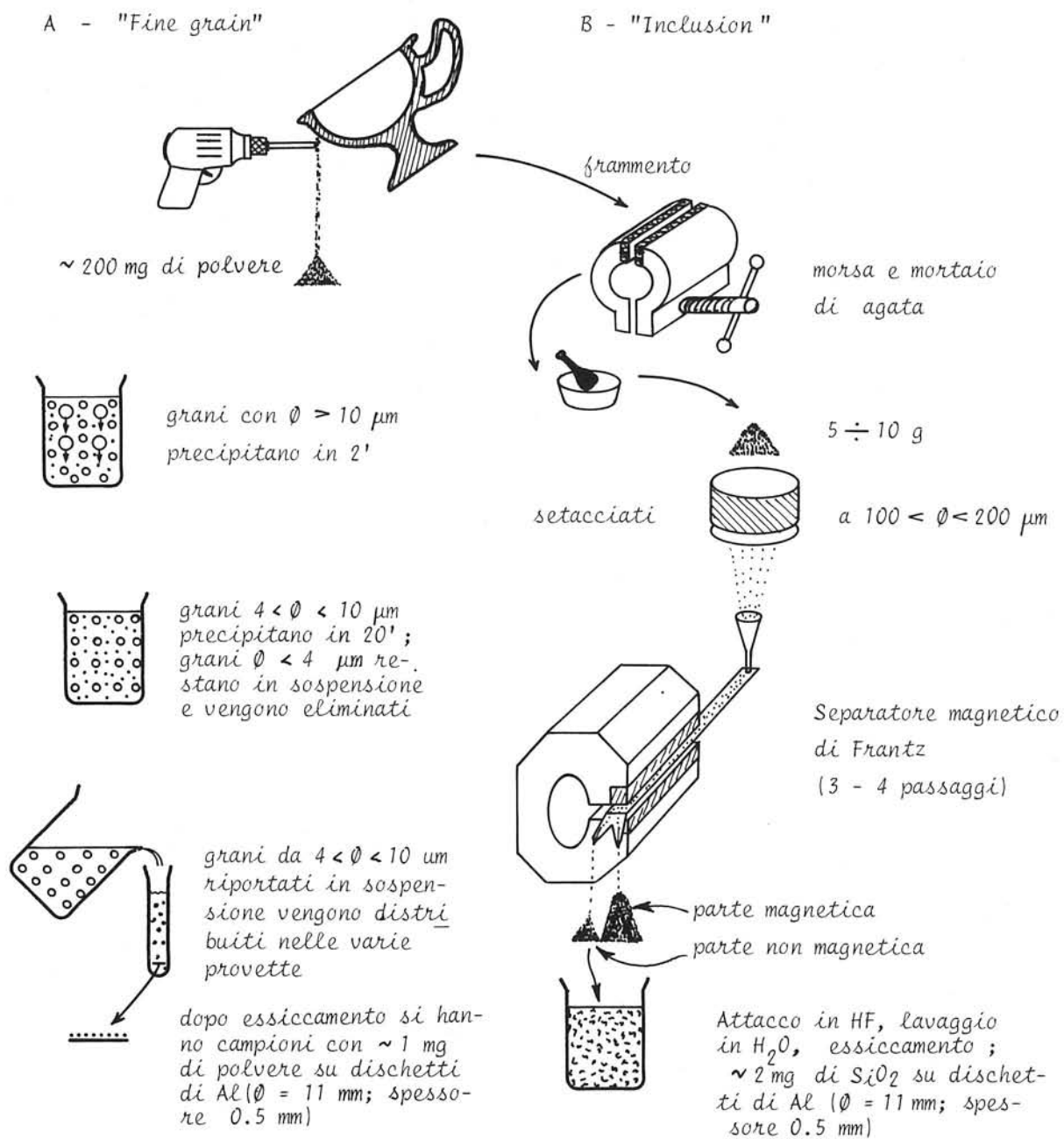


Fig. 1.

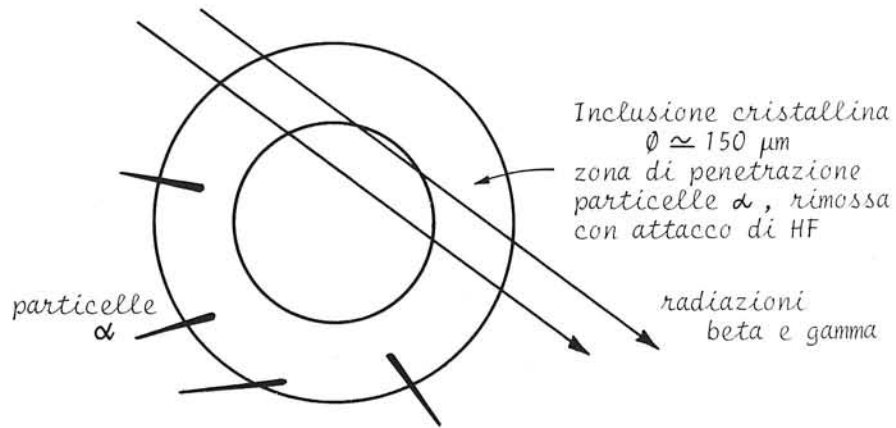


Fig. 2.

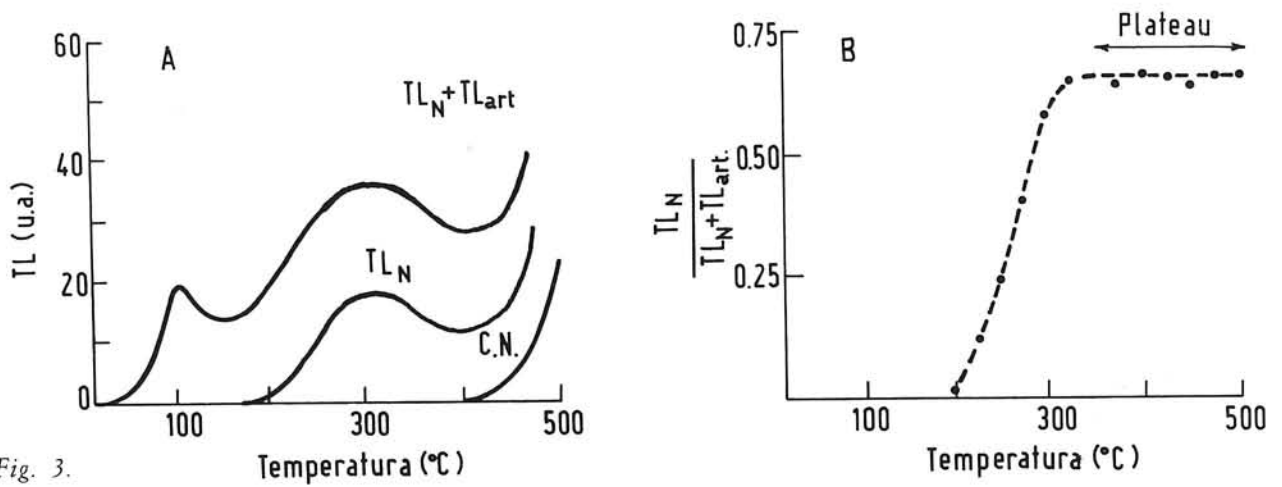


Fig. 3.

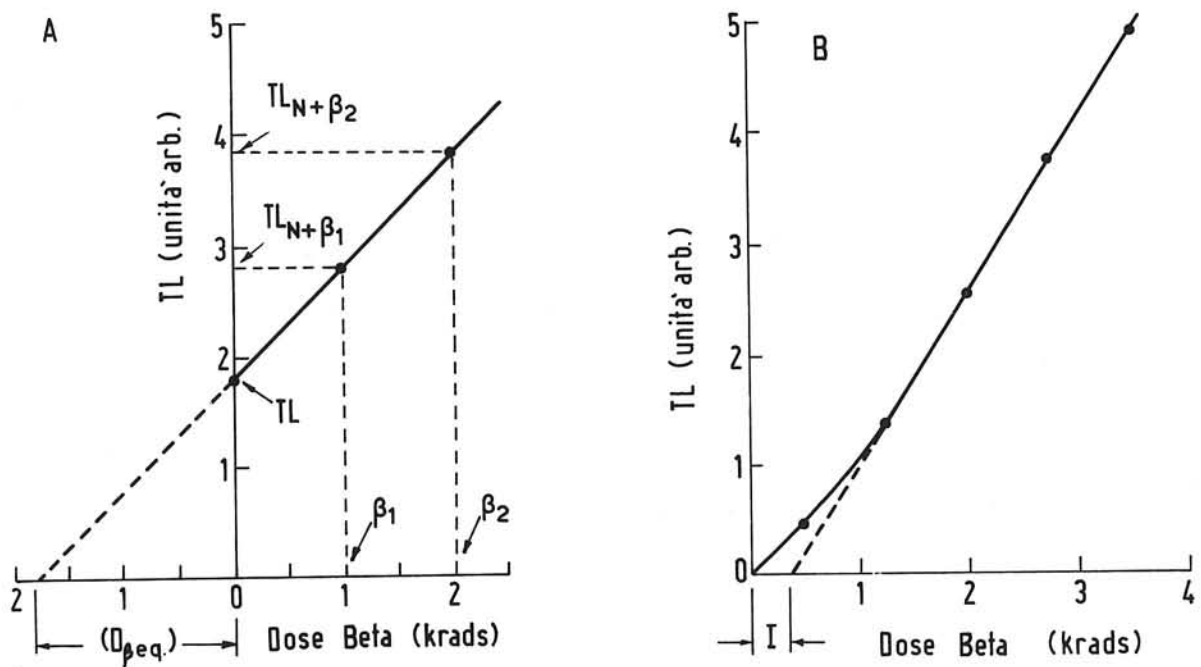


Fig. 4.

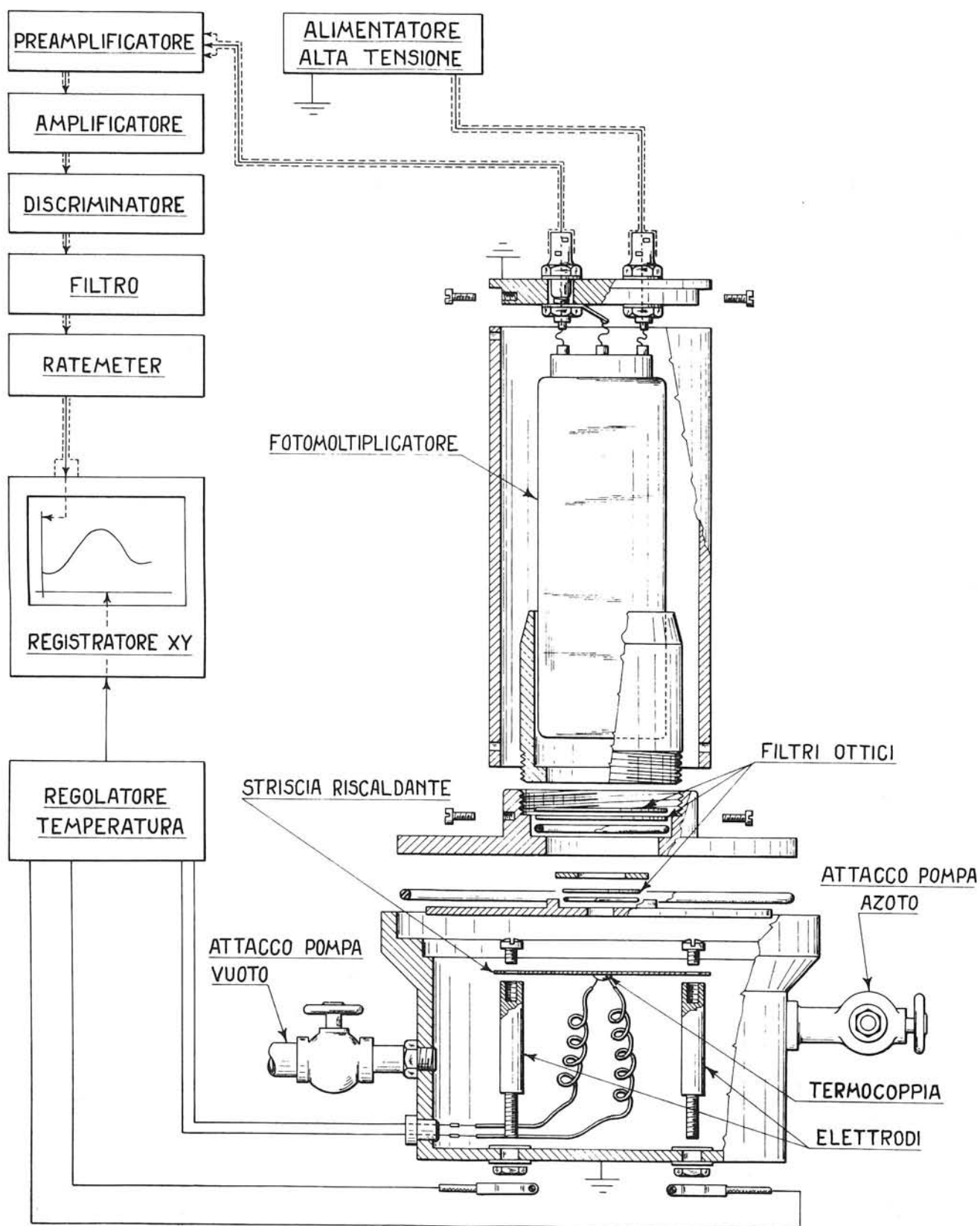


Fig. 5.

DOSE ANNUA

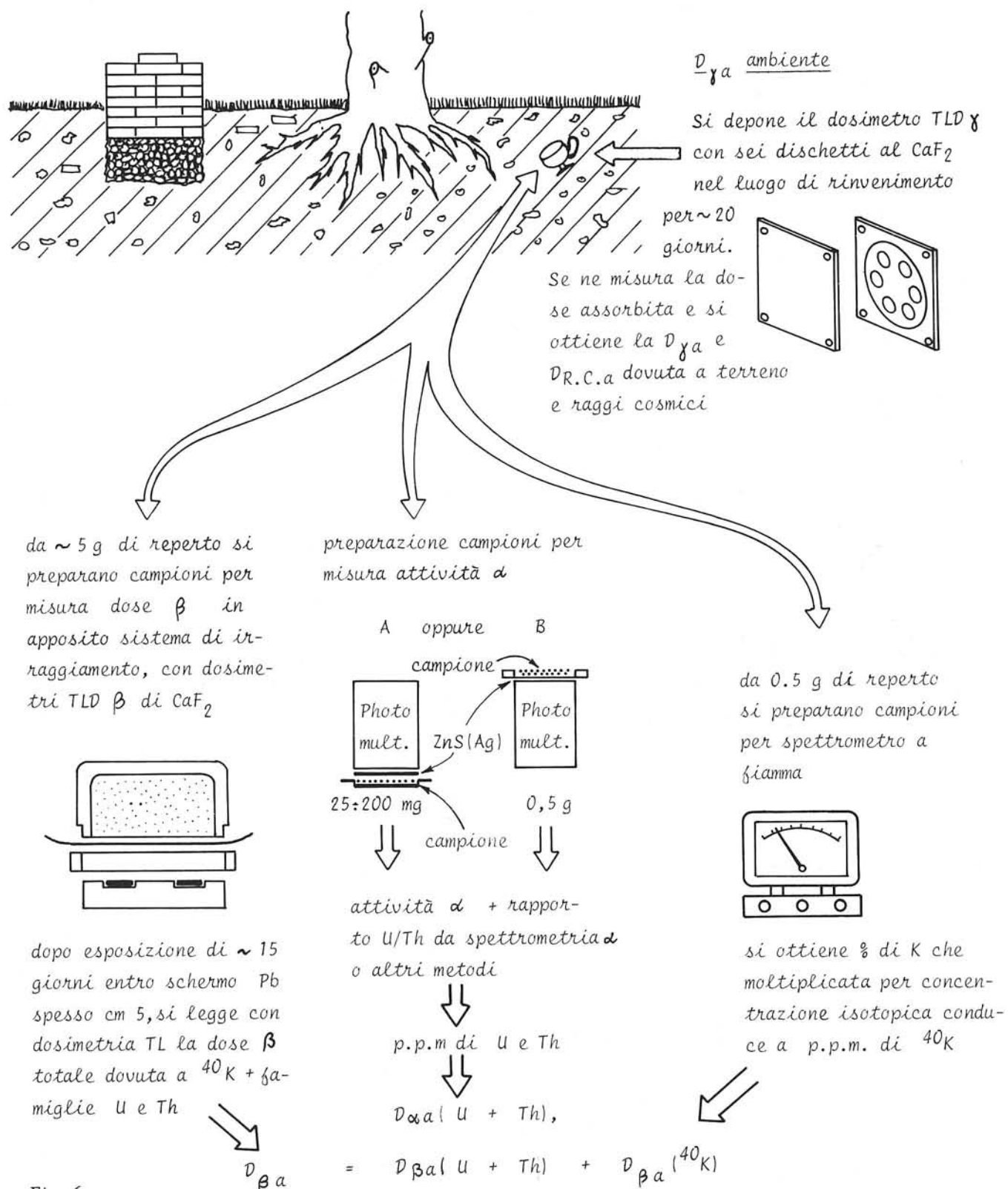
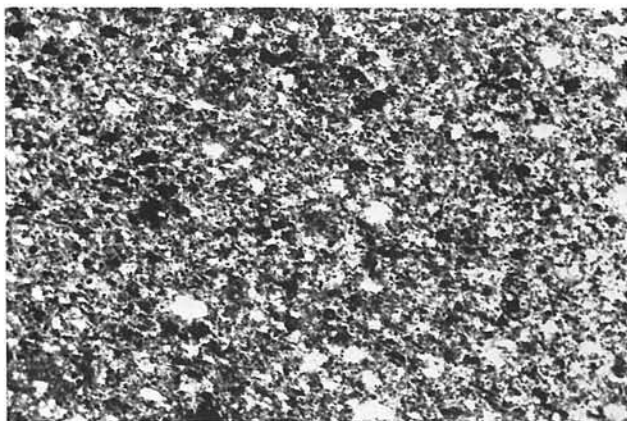
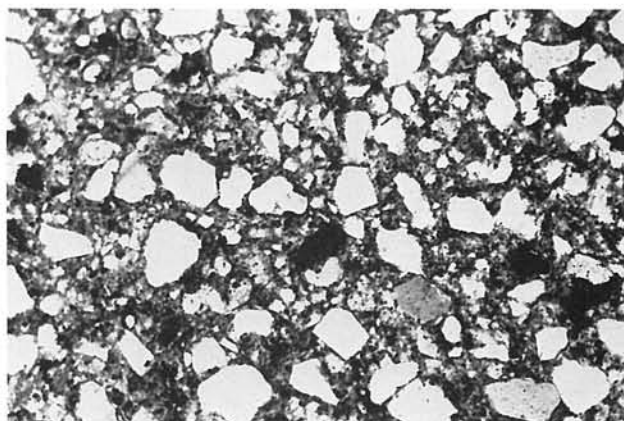


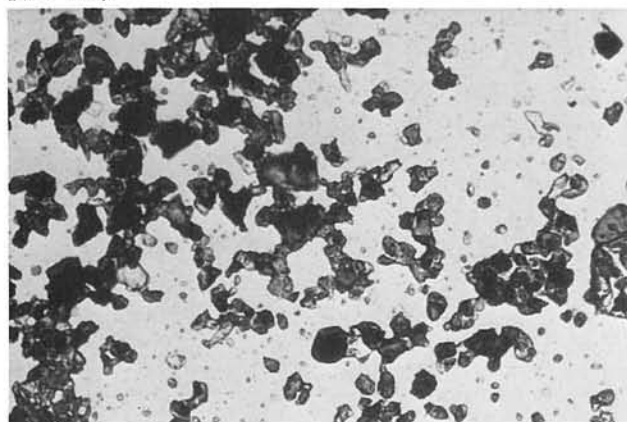
Fig. 6.



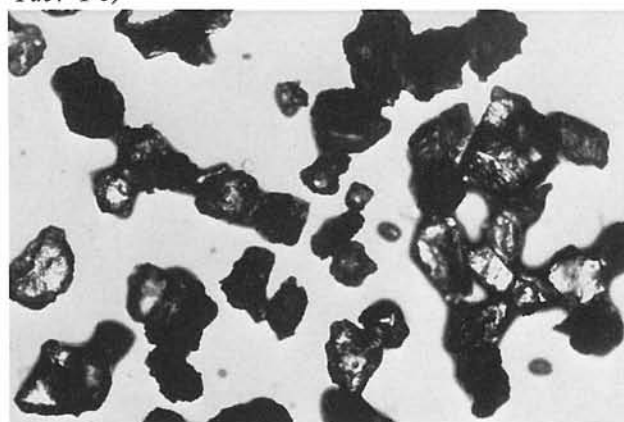
Tav. 1 a)



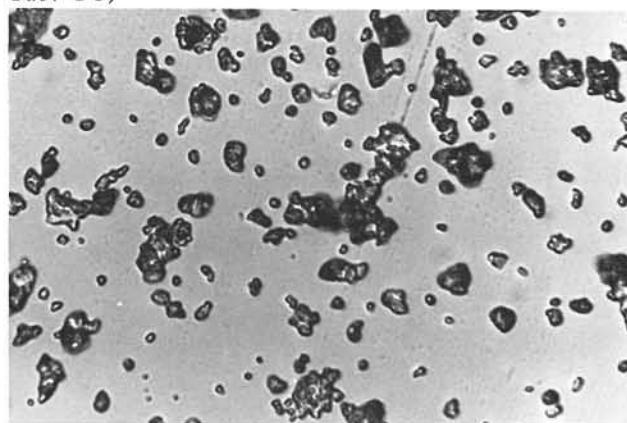
Tav. 1 e)



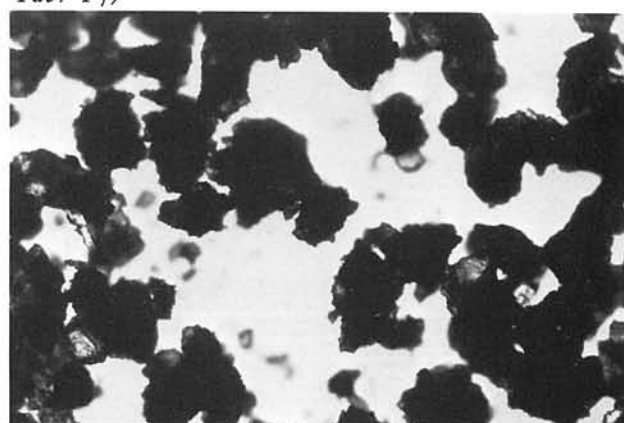
Tav. 1 b)



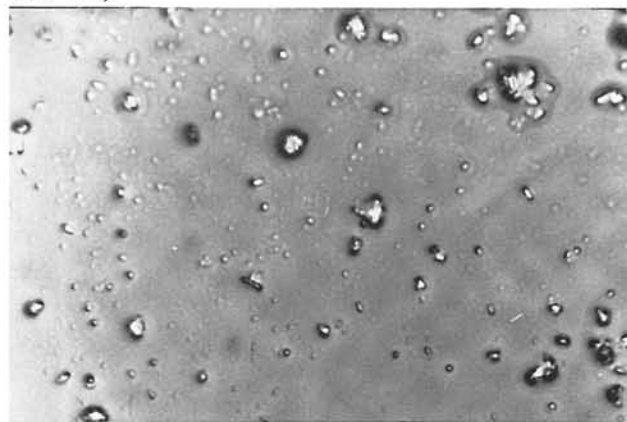
Tav. 1 f)



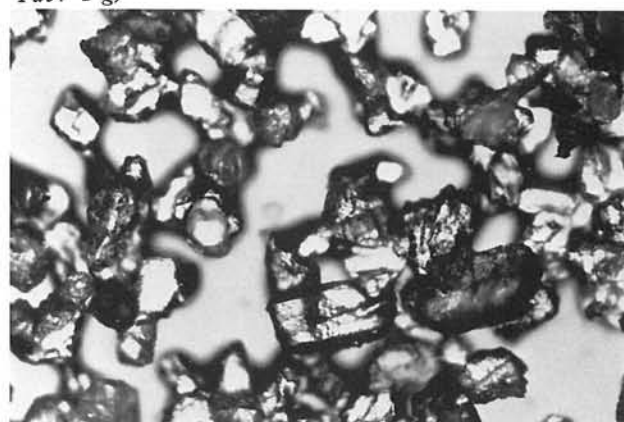
Tav. 1 c)



Tav. 1 g)



Tav. 1 d)



Tav. 1 h)



Scheda 1 a)



Scheda 1 b)



Scheda 2 a)



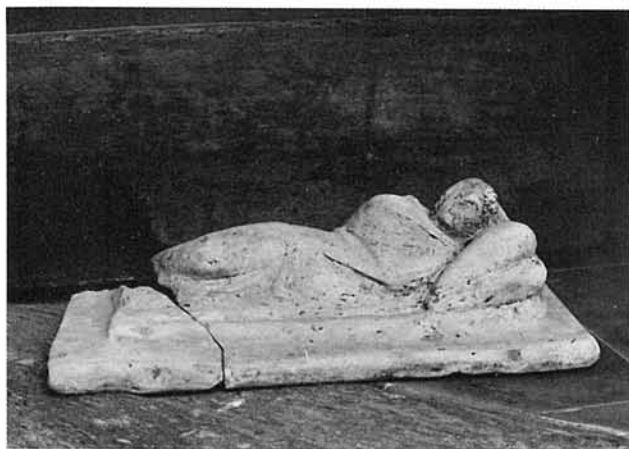
Scheda 2 b)



Scheda 3 a)



Scheda 3 b)



Scheda 4 a)



Scheda 4 b)



Scheda 5 a)



Scheda 5 b)



Scheda 6 a)



Scheda 6 b) - Particolare di scheda 6 a).



Scheda 7 a)



Scheda 7 b) - Particolare di scheda 7 a).



Scheda 8 a)



Scheda 8 b) - Particolare di scheda 8 a).



Scheda 9



Scheda 10

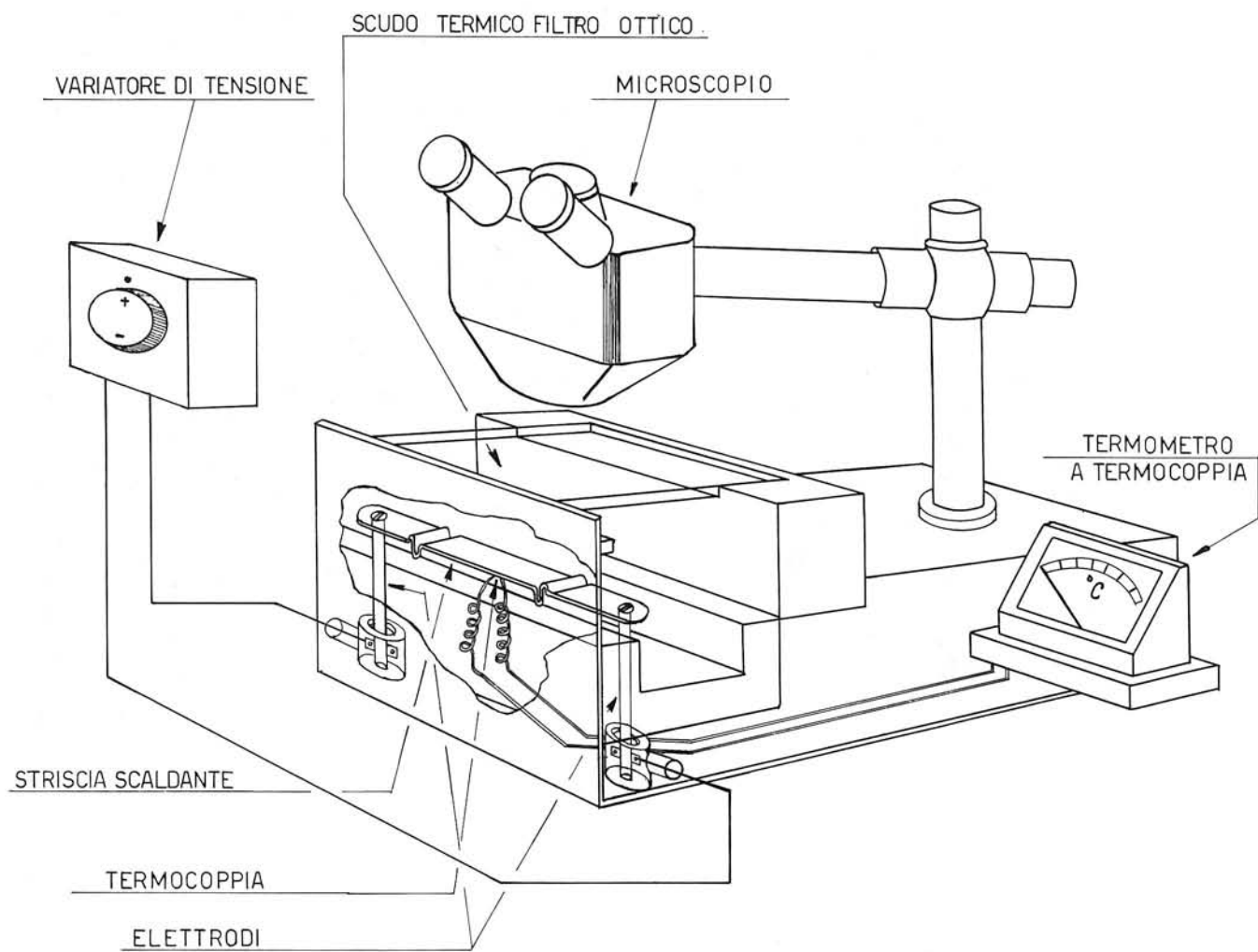
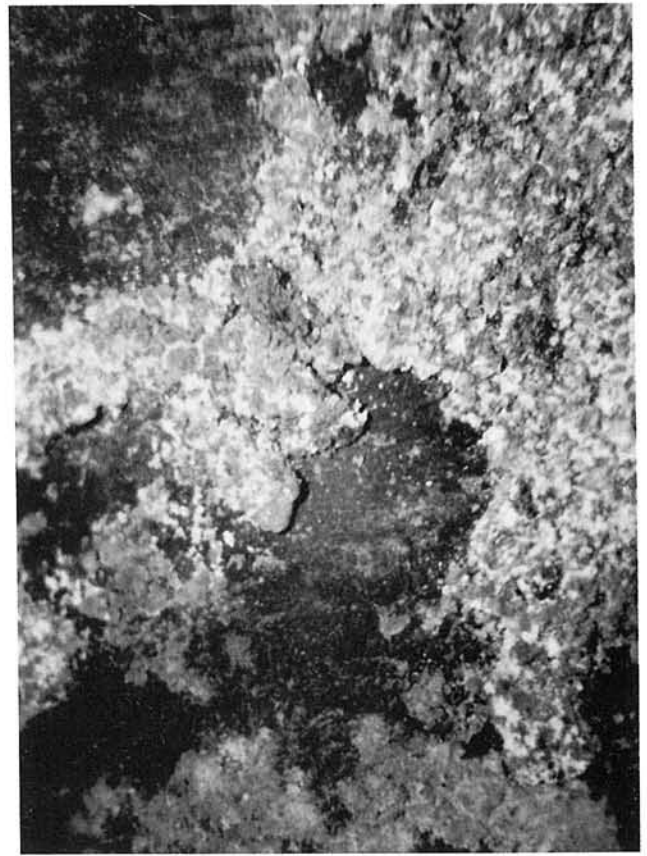


Fig. 1.



Tav. 1.



Tav. 2.



Tav. 3.



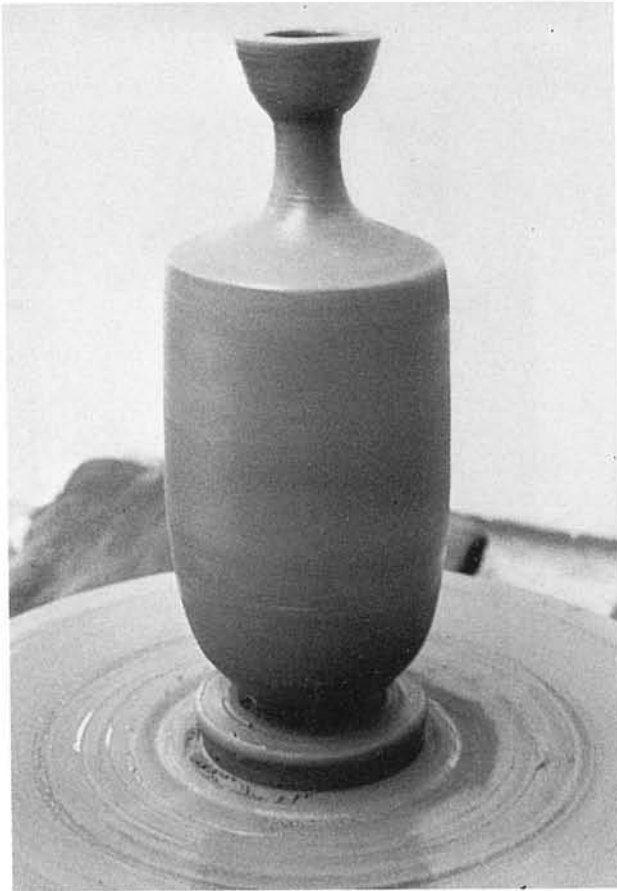
Tav. 4.



Tav. 5.



Tav. 6.



Tav. 1.

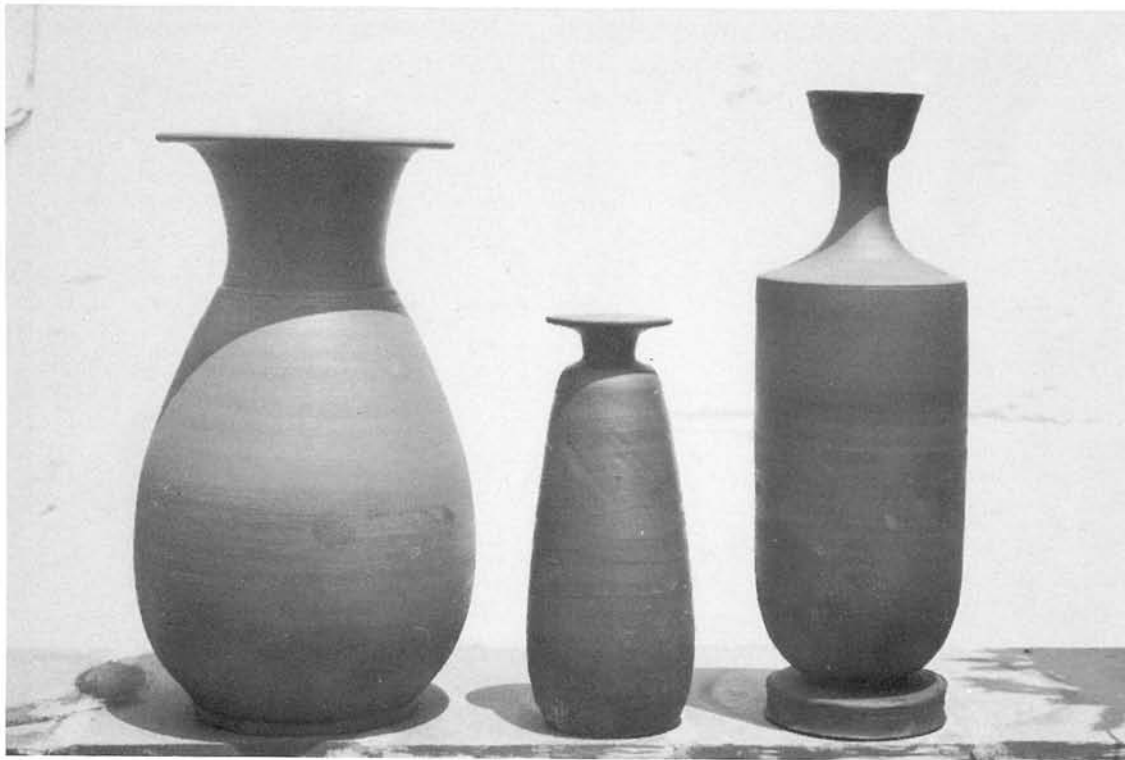


Tav. 2.

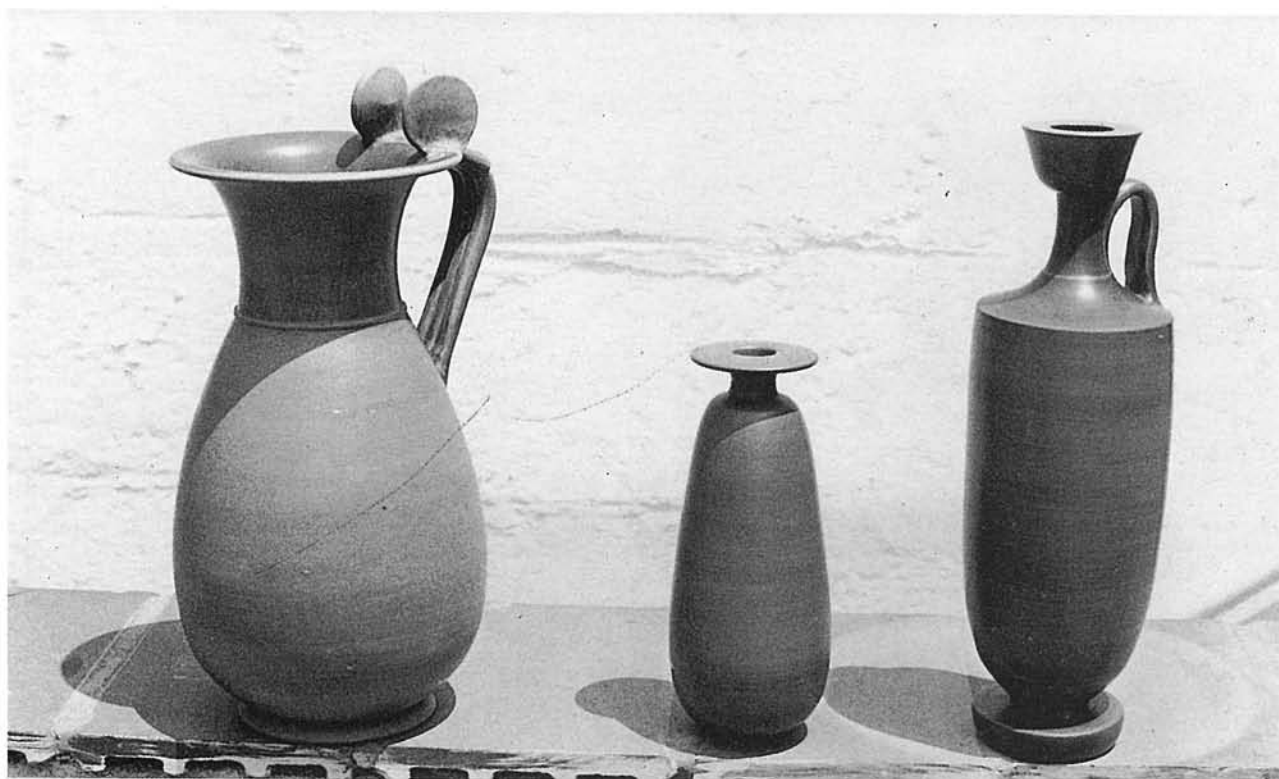


Tav. 3.

Fasi della modellazione e della rifinitura.



Tav. 4.



Tav. 5.

Confrontare rispettivamente con schede 8 - 6 - 7.