do coefficienti di dilatazione diversi, provocano ulteriori tensioni e pressioni.

Tutti possono anche apparire colorati o macchiati da ossidi prodottisi come effetto della trasformazione di elementi dei materiali o trasportati con l'acqua o prodotti da altri materiali contigui.

Anche al momento dello scavo il degrado più grave per i materiali inorganici (e a quelli silicei possono essere associati i metalli che si saranno degradati dando luogo a prodotti di corrosione minerali assai meno densi, più igroscopici e più porosi) potrà essere provocato dalla presenza al loro interno di acqua contenente sali solubili, dalla privazione del supporto meccanico, dalla loro manipolazione e dal volere rimuovere accrezioni superficiali. Per impedire questi tipi di degrado, si mantengono invariate le condizioni termoigrometriche e si procede con appropriate tecniche e materiali di prelievo e imballaggio. Se possibile, eventuali trattamenti per l'eliminazione dei sali solubili e delle accrezioni devono essere realizzati successivamente in laboratori di conservazione con personale, mezzi e interventi mirati e controllati. Anche l'eventuale prelievo dei materiali in «pani di terra» assicurerà solo per breve tempo la loro CONSERVAZIONE (⇨): il «microscavo» del pane dovrà essere realizzato rapidamente per assicurare i necessari interventi capaci di prevenire e limitare il degrado.

I metalli o, più propriamente, le leghe metalliche (⇨ ARCHEOMETALLURGIA), sono materiali ottenuti per estrazione da diversi minerali ad alto contenuto di composti metallici; con l'apporto di energia (sotto forma di calore e lavoro) si ottiene una reazione chimica che determina la nuova struttura cristallina molto più densa dei metalli. Questa è poi ulteriormente modificata nel corso della fabbricazione di oggetti per effetto dell'ulteriore energia fornita. Tutti i metalli hanno la caratteristica di essere conduttori di elettricità e di calore. Tali materiali interagiscono fortemente con gli ambienti in cui si trovano e i processi di degrado fisico-chimico o *corrosione* provocano il ritorno dei metalli allo stato più stabile di minerali. A seconda della natura dei materiali e degli ambienti, si verificano tipi di corrosione secca (in sola presenza di gas) o umida (in presenza di acqua). Questi ultimi sono i più comuni e provocano reazioni elettrochimiche i cui effetti sono molteplici ma possono essere suddivisi in due gruppi: formazione di prodotti di corrosione di composizione chimica diversa, meno densi e più solubili che aumentano di volume e/o migrano nell'ambiente circostante (corrosione attiva) e formazione di prodotti di corrosione superficiali, insolubili e densi che limitano ulteriori reazioni del metallo sottostante (passivazione) e per lo più preservano la forma e la dimensione delle superfici originali. Gli effetti della prima sono invece assai più devastanti: i prodotti di corrosione ricoprono o inglobano le superfici originali in modo disuniforme, sovrapponendosi in strati, si formano microfessure, crateri, crepe, aumenti di volume, deformazioni, variazioni di peso e colori. Tali reazioni accentuano spesso anche la formazione di incrostazioni sulle superfici e/o all'interno dei prodotti di corrosione. Sia i prodotti di corrosione che le incrostazioni possono conservare le impronte o le tracce di materiali organici o addirittura conservarne la forma (fossili).

La corrosione è fortemente riattivata al momento dello scavo a causa delle variazioni termoigrometriche, dell'apporto dell'ossigeno e degli altri gas; essa deve essere limitata con adeguati interventi di conservazione sul campo, ma i metalli devono spesso essere sottoposti a ulteriori interventi conservativi altamente specialistici (⇨ RESTAURO DEI MANUFATTI).

Effetti sui materiali organici. I materiali organici, caratterizzati da strutture fibrose e dalla presenza di catene di carbonio, a meno che non si trovino in particolari ambienti, tendono a decomporsi in tempi relativamente brevi a causa degli agenti biologici. Tale velocità di degrado spiega perché tali materiali spesso scompaiono in ambienti dove vengono invece ritrovati numerosi beni costituiti da materiali inorganici.

Essi sono meno rigidi dei materiali inorganici e alcuni assai flessibili, reagiscono alla luce, bruciano se incendiati, assorbono e desorbono facilmente l'acqua variando in volume, sono nutrimento per molti organismi. Ne consegue che solo in condizioni particolari essi si conservano nel tempo: per quanto soggetti a degrado causato da agenti fisici, essi sono particolarmente sensibili al degrado causato dagli agenti chimici, primo fra tutti l'acqua. Tuttavia, paradossalmente, essi si conservano sia in ambienti molto asciutti (anche se l'evaporazione dell'acqua dai materiali provoca deformazioni e fessurazioni causate dal restringimento delle fibre) sia completamente immersi nell'acqua o congelati. Se, infatti, l'acqua provoca la dissoluzione di alcuni elementi dei materiali, essa va a occupare gli spazi rimasti vuoti costituendo un supporto e un consolidante delle strutture fibrose; essa inoltre inibisce l'apporto di ossigeno, limitando quindi le reazioni di ossidazione e le possibilità di vita degli organismi. I materiali conservano allora la forma ma non le proprietà fisiche: gli effetti di inadeguate manipolazioni e della variazione del tasso igrometrico sono deformazioni, collassi, restringimenti, fessure, rotture ecc. Tale degrado può essere prevenuto offrendo un supporto continuo ai materiali e sostituendo l'acqua con un materiale consolidante prima di essiccarli: gli interventi sono assai lunghi e richiedono l'uso di particolari attrezzature (alcune assai costose).

Ma in tutti questi materiali un rapido degrado può insorgere nuovamente senza il controllo dei valori e della stabilità termoigrometrica, della luce, dei gas e del particellato degli ambienti in cui i beni saranno conservati.

Tutti gli effetti del degrado descritti potranno essere riscontrati anche su beni polimaterici che sono sottoposti alle ulteriori interazioni derivanti dal loro contatto diretto.

G. Accardo, G. Vigliano, *Strumenti e materiali del restauro*, Roma 1989; E.A. Dowman, *Conservation in Field Archaeology*, London 1970; Z. Goffer (a cura di), *Elsevier's Dictionary of Archaeological Materials and Archaeometry*, Amsterdam 1996; ICR, *Fattori di deterioramento*, in «Dimos», II, 1, 1980; L. Lazzarini, M. Laurenzi Tabasso, *Il restauro della pietra*, Padova 1986; M. Leoni, *Elementi di metallurgia applicata al restauro delle opere d'arte*, Firenze 1984; P. e L. Mora, P. Philippot, *Conservation of Wall Paintings*, London 1984; C. Pearson (a cura di), *Conservation of Marine Archaeological Objects*, London 1988.

BIANCA FOSSÀ

Determinazione d'origine Un campo dell'ARCHEOMETRIA (⇨) che ha avuto un certo successo, grazie all'importanza dei risultati raggiunti, è quello delle determinazioni di origine. I manufatti antichi non sempre sono stati prodotti là dove vengono trovati: conoscere con esattezza l'origine di uno o più reperti consente pertanto di delineare e ricostruire traffici e correnti commerciali del mondo antico (⇨ COMMERCIO, ARCHEOLOGIA DEL).

Grazie ad alcune tecniche di laboratorio che si sono affinate nel corso del tempo è possibile, con percorsi più o meno complessi, risalire all'area d'origine di un manufatto, grazie allo studio della materia prima con cui l'oggetto è stato realizzato. Solitamente si procede alla caratterizzazione della composizione chimico-fisica dell'oggetto, verificando poi se tali composizioni concordano con quelle della zona del ritrovamento o con quelle delle zone in cui si ipotizza che il manufatto sia stato fabbricato. Gli studi di determinazione d'origine sono stati utilizzati con particolare successo per le ceramiche antiche; l'analisi di laboratorio su altri materiali è invece ancora a uno stadio piuttosto empirico, che obbliga a una certa cautela nell'interpretazione dei dati.

Le ipotesi formulate dagli archeologi sull'origine di alcune ceramiche possono essere confermate o smentite grazie a un controllo eseguito in laboratorio con metodi scientifici. Molto spesso si tratta di indagini complesse, i cui tempi sono piuttosto lunghi e che comportano lavori di équipe e competenze in più campi del sapere.

A differenza di altri ambiti della ricerca ar-

cheometrica, come per esempio quello delle analisi mirate alla DATAZIONE (⇨), campo in cui a una domanda precisa corrisponde spesso una risposta puntuale (pur con un determinato margine di errore), le procedure della determinazione di origine non sempre consentono di raggiungere in tempi brevi una risposta definita e univoca. Poiché le ricerche sono ancora a uno stadio piuttosto iniziale, determinare l'origine di un manufatto in laboratorio significa procedere per gradi, raccogliendo e associando informazioni diverse, servendosi in alcuni casi, come in quello delle analisi chimiche, di «dati di riferimento», cioè dati analitici ottenuti grazie all'analisi di laboratorio di manufatti di origine conosciuta, che vengono via via confrontati con quelli pertinenti a manufatti di origine sconosciuta. Poiché questo campo della ricerca è abbastanza recente, i dati di riferimento non sono molti.

Le tecniche a disposizione per questo ramo della ricerca archeometrica sono numerose e di volta in volta vengono sperimentate nuove metodiche analitiche, a seconda del tipo di materiale. In realtà, soprattutto per alcune classi di manufatti, come per esempio per la ceramica, nonostante i metodi di laboratorio siano molti, quelli che poi vengono utilizzati nella pratica e che hanno dato il maggior numero di risultati, sono fondamentalmente sempre gli stessi.

Nelle pagine che seguono si tratteranno più ampiamente le determinazioni d'origine di materiali ceramici poiché, come si è detto, si tratta del materiale più indagato e il cui studio in laboratorio ha dato fino ad ora i risultati migliori, con importanti risvolti in campo storico-economico.

Ceramica. La CERAMICA (⇨) è un importante indicatore dei flussi commerciali del mondo antico, grazie alla sua durevolezza. Non sempre le ceramiche furono prodotte là dove sono state trovate; spesso ceramiche dalle stesse caratteristiche – comuni e fini – appaiono in diversi siti, anche molto lontani tra loro, e non sempre è chiaro quale sia la loro area d'origine. Per poter utilizzare la ceramica come reale indicatore è necessario sapere con precisione dove i reperti oggetto di studio sono stati prodotti. Non conoscere le aree d'origine dei manufatti rende, infatti, difficoltosa e incerta la ricostruzione dei circuiti distributivi.

I tradizionali metodi di studio, come l'analisi morfo-tipologica (⇨ CLASSIFICAZIONE E TIPOLOGIA), indispensabili nella prima fase della ricerca, non sempre consentono di dare risposte definitive ai quesiti relativi all'origine. L'approccio archeometrico allo studio delle ceramiche può essere risolutivo in molte situazioni e la tendenza della moderna ceramologia è proprio quella di individuare e studiare le principali aree di produzione del mondo antico e medievale.

Per determinare in laboratorio l'origine di una ceramica archeologica si utilizzano essenzialmente due indicatori: l'origine dell'argilla usata dai ceramisti o quella del degrassante. In entrambi i casi è indispensabile che argilla e degrassante provengano dalla zona in cui era attiva l'officina di fabbricazione. Come ha sottolineato più volte M. Picon, cui si devono i principali studi teorici in questo campo, per la determinazione di origine di una ceramica si procede solitamente confrontando le caratteristiche composizionali di tale ceramica, la cui origine è sconosciuta, con le caratteristiche di altre ceramiche o argille, d'origine conosciuta. In sostanza, tutte le determinazioni d'origine in laboratorio ruotano intorno ai concetti di somiglianza o dissomiglianza delle composizioni delle ceramiche.

Grazie alle analisi di laboratorio, è possibile caratterizzare una ceramica dal punto di vista compositivo. In tal modo si può provare che un recipiente proviene da un'officina o da un'altra, entrambe conosciute; oppure, nel caso di centri produttivi non individuati, si può stabilire se una ceramica appartiene a un gruppo piuttosto che a un altro. Si indagano cioè le relazioni che esistono tra le composizioni della ceramica e il rispettivo luogo di fabbricazione.

Determinare l'origine di una ceramica o di un gruppo di ceramiche in laboratorio non è

un'azione semplice né automatica; le argille hanno, infatti, composizioni abbastanza banali e senza il supporto di osservazioni di carattere archeologico e/o storico, ma anche di indicazioni di carattere geologico e mineralogico, è piuttosto improbabile arrivare a un'individuazione della zona d'origine.

Fondamentale è quindi il lavoro preliminare dell'archeologo, che può orientare e preparare la ricerca di laboratorio nel modo più efficace possibile. Solo un'impostazione chiara e corretta dei problemi archeologici, una conoscenza delle potenzialità dei metodi di laboratorio, una CAMPIONATURA (⇨) ben eseguita, unita a una scelta oculata del laboratorio, possono garantire la riuscita di un progetto interdisciplinare.

Scelta del metodo analitico. I metodi di analisi per conoscere l'origine dei manufatti sono numerosi e la scelta di un metodo piuttosto che un altro può essere condizionata da fattori diversi: innanzi tutto le finalità dello studio, il tipo di problema che si vuole risolvere, inoltre il budget economico a disposizione e i dati già esistenti. Indispensabile, a prescindere dalla scelta del metodo, è che siano rispettati alcuni criteri e in modo particolare la qualità, la fedeltà e la riproducibilità dei dati.

Nella prassi, i metodi di analisi maggiormente usati per lo studio delle determinazioni d'origine delle ceramiche in laboratorio sono riportabili a due grandi gruppi: i metodi chimici e quelli mineralogici.

Tra i *metodi chimici* vanno ricordate, a titolo di esempio, le tecniche usate più frequentemente e cioè la fluorescenza a raggi X, l'attivazione neutronica, l'analisi chimica per via umida, la spettrografia ottica.

I *metodi mineralogici* comprendono l'esame al microscopio binoculare o al microscopio polarizzatore e la diffrattometria.

È opinione comune che i metodi chimici siano più efficaci per lo studio delle ceramiche fini e quelli minero-petrografici per l'indagine sulle ceramiche più grossolane, come ceramiche comuni e anfore. In molti casi, poter contare su entrambi i metodi consente di raggiungere risultati più efficaci.

Un progetto di ricerca che comprenda anche analisi chimiche dovrà contare su un budget economico più cospicuo, dal momento che, per motivi di ordine statistico, è necessario analizzare un numero abbastanza alto di campioni.

Per ciò che concerne la scelta di una tecnica piuttosto che un'altra, le opinioni degli specialisti sono spesso discordi; caso per caso vanno valutati vantaggi e svantaggi, costi e benefici.

Per i metodi detti geochimici, è necessario disporre, per ogni esemplare, dell'analisi di 8-10 costituenti chimici, anche se non sempre è utile misurare più di 20 elementi, poiché tale numero offre già uno spettro ampio delle caratterizzazioni di un'officina. Per i problemi di determinazione d'origine, gli elementi in traccia offrono un aiuto indispensabile, anche se molto spesso sono gli elementi maggiori a giocare un ruolo fondamentale.

Altro criterio importante da tener presente organizzando un progetto è la possibile esistenza di dati di laboratorio relativi alla classe o al gruppo ceramico che si intende studiare; in tal caso utilizzare lo stesso metodo può semplificare il lavoro. Spesso, però, anche l'utilizzo dello stesso metodo in laboratori diversi implica alcune difficoltà di confronto dei dati: infatti, è auspicabile che in futuro si producano dati standardizzati e riproducibili. È indispensabile, inoltre, una taratura degli strumenti – il discorso vale soprattutto per le analisi chimiche – e che i risultati si basino sul confronto con prove standard-internazionali. Ciò comporta l'eliminazione di errori sistematici e che i risultati siano esatti solo in modo relativo al metodo utilizzato; in tal modo analisi condotte in diversi laboratori sono confrontabili, entro un certo margine di errore.

Analisi chimiche. Nell'ambito dei metodi chimici esistono numerose tecniche analitiche utilizzate per caratterizzare gli oggetti ceramici e per determinarne l'origine. Tra esse si ricorderanno, a titolo di esempio, quelle usate più frequentemente e cioè la spettrografia ot-

tica, l'assorbimento atomico, la fluorescenza a raggi X e l'attivazione neutronica. Sono metodi particolarmente sensibili, grazie ai quali è possibile la misurazione e la quantificazione degli elementi presenti nell'argilla, sia degli elementi maggiori – cioè quelli presenti in concentrazioni forti e misurabili in percentuale – sia di quelli minori e in traccia, presenti in concentrazioni deboli (e per questo misurati in parti per milione o *ppm*). Tali «tracce» possono essere utilizzate per distinguere tra loro singoli reperti o gruppi di manufatti ceramici e per avere notizie importanti relative all'origine.

Si tratta per lo più di metodi distruttivi che comportano il prelievo di un campione la cui entità è variabile, ma che si aggira solitamente intorno a 1 o 2 g (se si usa l'attivazione neutronica la quantità necessaria è inferiore).

È possibile che alcuni metodi siano sensibili a fenomeni di alterazione subiti dall'oggetto durante la sua permanenza sotto terra; tali fenomeni sono però già stati studiati e presentano quindi un margine di errore controllabile.

Nell'ambito delle analisi chimiche, i diversi metodi analitici esistenti non consentono di dosare tutti gli elementi chimici con la stessa efficacia. La fluorescenza a raggi X ben si presta all'analisi delle costituenti maggiori della ceramica, mentre possono esserci problemi nella misurazione di alcuni elementi in traccia. L'attivazione neutronica, al contrario, è molto efficace per il dosaggio delle tracce, ma non consente l'analisi di alcuni elementi maggiori come la silice, fondamentale nello studio della tecnologia di fabbricazione delle ceramiche. I dati ottenuti con le due tecniche, infine, sono solo parzialmente confrontabili.

Spettrografia ottica d'emissione (Oes, *optical emission spectrometry*). La ceramica, ridotta in polvere o in soluzione, viene sottoposta a eccitazione elettrica continua. Gli atomi della ceramica vengono eccitati e, tornando al loro stato di normalità, emettono radiazioni, la cui lunghezza d'onda è caratteristica degli elementi chimici presenti nel campione (analisi qualitativa) e la cui intensità dipende dal numero degli atomi dell'elemento corrispondente contenuto nella ceramica (analisi quantitativa). Il metodo è stato ormai sostituito da un altro più recente, la spettrometria a emissione di plasma con accoppiamento induttivo (Icps, *inductively coupled plasma emission spectrometry*), che si basa sullo stesso principio.

Assorbimento atomico (Aas, *atomic absorpion spectrometry*). Il principio di questo metodo, che consente l'analisi quantitativa di sostanze inorganiche, in modo particolare metalli non ferrosi (rame e bronzo, per esempio), vetri, invetriature e rocce, è simile a quello del precedente e si basa sulla misurazione dell'energia della luce.

Fluorescenza a raggi X (Xrf, *X ray fluorescence*). Si tratta di uno dei metodi più utilizzati per gli studi di determinazione d'origine. Sono necessari almeno uno o due grammi di materiale (ma possono essere sottoposti ad analisi anche quantità minori). La sorgente di eccitazione è costituita da un fascio di raggi X, emesso da un tubo a raggi X che va a colpire un campione opportunamente preparato e ridotto a una perla vitrea. I raggi X primari colpiscono il campione e gli elementi in esso contenuti emettono una radiazione X secondaria (fluorescenza), la cui lunghezza d'onda viene analizzata allo scopo di individuare quali siano gli elementi contenuti (analisi qualitativa). All'analisi di tipo qualitativo viene affiancata un'analisi quantitativa, tramite la misurazione dell'intensità della fluorescenza dei diversi elementi. Si tratta di un metodo efficace, che consente la misurazione di molti elementi (ca. 24), ma che necessita di procedure preparatorie piuttosto laboriose.

Attivazione neutronica (Naa, *neutron activation analysis*). Il campione viene irraggiato da un fascio di neutroni prodotti in un reattore nucleare; gli elementi contenuti nel campione diventano instabili ed emettono energia assorbita sotto forma di raggi gamma. Il detettore, analizzando l'energia emessa, individua gli elementi presenti (analisi qualitativa); la misurazione delle loro quantità avviene confrontando l'intensità con campioni standard. Il metodo è molto potente e rapido e necessita di quantità ridotte di materiale (0,1 g ca.). Ha però alcuni inconvenienti, in primo luogo la necessità di disporre di un reattore nucleare; inoltre non consente la misurazione di alcuni elementi chimici principali, importanti nello studio delle ceramiche archeologiche.

Elaborazione dei dati. I dati dell'analisi chimica, in virtù del carattere quantitativo, si prestano alla rielaborazione tramite procedimenti statistici. Sono dunque indicati quando si tratti di creare gruppi di ceramiche aventi le stesse caratteristiche composizionali, oppure per mettere a confronto gruppi di materiali, o per provare o meno l'appartenenza di un campione a un gruppo già costituito. Una volta eseguite le analisi, individuati e misurati gli elementi, l'elaborazione dei dati ottenuti può avvenire tramite rappresentazione grafica. Per le determinazioni d'origine i dati vengono rielaborati statisticamente grazie a diversi metodi, tra cui ricordiamo i diagrammi correlanti, la *cluster analysis* e i calcoli di distanza (⇨ QUANTITATIVA, ARCHEOLOGIA). A prescindere dalle rappresentazioni grafiche, che aiutano la visualizzazione dei risultati, lo studio delle composizioni chimiche, del loro significato geochimico e delle correlazioni tra elementi resta una fase fondamentale del lavoro d'interpretazione.

Gruppi di riferimento e banche dati. Per le analisi chimiche è fondamentale il ragionamento e la «filosofia» che sta alla base di questo tipo d'indagine, teorizzato in più riprese da M. Picon e messo in pratica nei lavori di alcuni studiosi. Si è già detto che, per determinare l'origine di una ceramica in laboratorio, le caratteristiche composizionali vengono confrontate con quelle di ceramiche di origine conosciuta. Per questo tipo di ricerche è quindi fondamentale l'utilizzo di «gruppi di riferimento», cioè di un numero statisticamente sufficiente di campioni ceramici appartenenti a vasellame prodotto in un determinato luogo, che è stato analizzato e di cui si conosce la composizione. Esistono diversi gruppi di riferimento: quelli più sicuri e utili sono costituiti da ceramica proveniente da fornace, in modo particolare scarti. Ceramiche definite dal punto di vista archeologico o prodotte con certezza da un'officina o da più officine di una regione possono essere gruppi di riferimento. I metodi geochimici consentono di utilizzare come gruppi di riferimento argille o ceramiche di epoca diversa da quella delle ceramiche di cui si cerca l'origine. In mancanza di gruppi di riferimento sicuri (scarti di fornace), l'indagine effettuata su ceramiche rinvenute in siti di consumo segue percorsi più complessi. Le argille hanno, come si è detto, spesso composizioni banali e in luoghi anche molto distanti tra loro si possono incontrare argille di analoga composizione. Oppure in una stessa zona possono esistere argille diverse, magari impiegate contemporaneamente nell'ambito di una stessa officina.

L'attribuzione di una ceramica a una zona precisa avviene tenendo conto di più dati, archeologici e storici, composizionali, geologici, mineralogici e petrografici. Si tratta quindi di una ricerca complessa e articolata, che unisce i dati di diverse discipline e comporta conoscenze in campi diversi del sapere. Affinché un laboratorio possa condurre ricerche relative alla determinazione d'origine delle ceramiche, è necessario che possieda un numero sufficiente di gruppi di riferimento, ordinati di solito in banche dati.

Analisi mineralogiche. La ceramica è fatta di argilla e l'argilla spesso contiene inclusioni – minerali o frammenti di roccia – che sono elementi determinanti ai fini della caratterizzazione. Se l'analisi macroscopica degli impasti ceramici consente di raccogliere una prima serie di informazioni relative alla materia prima utilizzata, è solo grazie al microscopio, utilizzato per studiare frammenti ceramici opportunamente preparati, che si ottengono ingrandimenti efficaci utili per individuare e classificare i minerali. In sostanza, l'analisi mineralogica consiste nell'individuare le inclusioni, come per esempio i minerali, i frammenti di roccia e i microfossili e, grazie a essi, ricostruire l'ambiente geologico del sito produttore.

I metodi mineralogici comprendono principalmente l'esame al microscopio (binoculare o polarizzatore) e l'analisi diffrattometrica; danno talora informazioni che non è possibile ottenere con i metodi geochimici, soprattutto quando le inclusioni di un impasto ceramico sono caratterizzanti e danno indicazioni precise sull'area di origine della ceramica. Spesso, però, le inclusioni sono di tipo piuttosto comune e non sono utili per circoscrivere con sicurezza l'area di produzione. Inoltre, allo stato attuale della ricerca, mentre per le analisi chimiche esistono alcuni tentativi di teorizzazione e sistematizzazione dei dati, mancano – tranne rare eccezioni – esperienze analoghe per ricerche condotte con i metodi mineralogici.

Le *analisi al microscopio*, dalle più semplici alle più complesse, sono di grande utilità per le informazioni sull'argilla utilizzata, per individuare e distinguere i minerali ma anche per collegare le ceramiche a precise realtà geologiche.

Per l'analisi mineralogica al microscopio polarizzatore viene prelevato un frammento dal campione; ridotto a uno spessore di 30 micron ca., il frammento viene inglobato tra due vetrini. La sezione sottile così ottenuta viene studiata al microscopio.

L'analisi di tipo mineralogico consente di avere informazioni sulla *massa di fondo* e sul *degrassante*, cioè le inclusioni non plastiche contenute nell'argilla (degrassante naturale) oppure aggiunto intenzionalmente (degrassante aggiunto). Di grande importanza è stabilire le associazioni di minerali, oltre che individuare i frammenti di roccia.

Il principio alla base degli studi mineralogici è quello che i minerali sono indicatori delle rocce che li compongono. L'individuazione dei minerali può dunque facilitare la delimitazione dell'area d'origine della materia prima.

Sulla base dei minerali e delle rocce osservate al microscopio l'analista propone all'archeologo alcune aree di possibile origine. Il primo passo consiste nello stabilire se l'argilla utilizzata sia compatibile con la situazione geolitologica della zona di rinvenimento. L'analisi al microscopio polarizzatore su sezione sottile si accompagna di solito allo studio della geologia e della mineralogia delle regioni interessate dalla ricerca; l'operazione è facilitata dall'esistenza di carte geologiche e di studi specifici.

Particolarmente utili nello studio delle ceramiche a impasto grossolano, le analisi mineralogiche sono poco sensibili ai fenomeni di alterazione. Un ulteriore vantaggio è costituito dal loro costo relativamente ridotto rispetto ad altri metodi analitici.

Il carattere delle analisi di tipo mineralogico è soprattutto qualitativo, a meno che lo studio al microscopio polarizzatore comprenda anche l'analisi modale, che consente un'analisi quantitativa attraverso il *point-counter* delle inclusioni.

I metodi mineralogici non sono particolarmente indicati per la formazione di gruppi, né per il confronto tra gruppi di ceramiche.

Un problema può essere causato anche dal fatto che i minerali possono subire modificazioni con la cottura (il fenomeno viene studiato tramite la diffrattometria).

L'analisi dei minerali pesanti. Tale tipo di analisi consente l'identificazione di minerali pesanti (come la tormalina e lo zircone), separandoli dal resto dell'argilla, grazie a una centrifuga e a reagenti chimici. Studiati al microscopio, tali minerali possono aiutare a collegare il manufatto a una particolare area geografica d'origine.

Diffrattometria (Xrd, *diffraction analysis*). È un'importante tecnica analitica che integra le ricerche mineralogiche e petrografiche. È utilizzata per lo studio delle componenti della ceramica (ma anche di pigmenti e materiali inorganici). Grazie a questa tecnica è possibile individuare le trasformazioni nelle fasi minerali che si manifestano a diverse temperature. La Xrd è molto utile per studiare tecniche pittoriche ed è stata d'aiuto, per esempio, per chiarire i quesiti relativi alla tecnologia di fabbricazione dei vasi attici a figure nere e a figure rosse.

Vetro. La determinazione d'origine del vetro presenta molti problemi dovuti al fatto che tale sostanza si ottiene da una serie di materie prime differenti (sabbia e fondenti), che possono essere originarie di zone diverse e che vengono miscelate secondo ricette complesse, con quantità variabile degli ingredienti; tra le materie prime utilizzate per fare il vetro, è la sabbia che può permettere di arrivare a individuare l'origine.

Per le analisi del vetro sono stati usati metodi differenti: Icps (spettrografia di emissione a plasma con accoppiamento induttivo), l'attivazione neutronica, l'assorbimento atomico, la microsonda, Pixe/Pige (emissione di raggi X e gamma indotta da protoni, senza prelievo di materiale). Grazie a molte di tali tecniche è possibile la formazione di gruppi basati sulle diverse materie prime e sui loro rapporti variabili.

Ossidiana. Si tratta, come la ceramica, di un materiale di cui è possibile – almeno in teoria – determinare l'origine con un certo margine di sicurezza. L'ossidiana, infatti, è un vetro vulcanico che si trova solo in alcuni giacimenti, piuttosto rari. L'analisi degli elementi maggiori e delle tracce (in un primo tempo la spettrometria di emissione e in seguito l'attivazione neutronica) ben si presta per questo materiale che è composto da magma in cui la distribuzione delle tracce è piuttosto omogenea.

Metalli. Determinare in laboratorio l'origine dei metalli (⇨ ARCHEOMETALLURGIA) è attualmente un'operazione piuttosto complessa. In realtà, almeno in teoria, dovrebbe essere un caso di studio piuttosto favorevole, poiché i giacimenti metalliferi si distinguono uno dall'altro per enormi differenze composizionali e per una grande dispersione delle concentrazioni medie delle tracce, a differenza di quanto accade per i giacimenti di argilla che sono relativamente uniformi. A questo vantaggio corrisponde però una dispersione molto elevata di tali caratteristiche composizionali in una stessa regione. In più, la trasformazione del minerale in metallo modifica in modo ineguale le percentuali degli elementi in traccia.

I metalli, poi, in antico come oggi, furono riutilizzati. Mescolanze tra diversi tipi di metalli, provenienti da diverse miniere, erano piuttosto comuni, così come le leghe. Ciò rende molto complicato, se non del tutto impossibile, risalire all'origine. In sostanza, il percorso di studio applicato nelle determinazioni d'origine delle ceramiche – con il tentativo di costituzione di precisi gruppi di riferimento – non sempre è applicabile ai metalli, proprio per l'esistenza di mescolanze di metalli d'origine diversa. Infine, va ricordato che l'analisi di laboratorio dei metalli determina l'area d'origine del metallo, area che non corrisponde necessariamente al luogo di fabbricazione dell'oggetto finito. In molti casi, anzi, area d'origine del metallo e luogo di fabbricazione erano anche in antico lontani tra loro.

I metodi geochimici sono stati utilizzati raramente per determinare l'origine dei metalli. Dopo numerosi tentativi di studio in laboratorio, che hanno visto il trattamento tramite analisi spettrometrica di migliaia di campioni di rame e bronzo, provenienti in gran parte dall'Europa, e che hanno sollevato alcune critiche, attualmente per lo studio in laboratorio dei metalli viene adottata con successo l'analisi degli isotopi del piombo.

Analisi degli isotopi del piombo. Si tratta di un metodo analitico piuttosto recente, che ha dato risultati interessanti.

Per molte materie prime l'analisi isotopica è di poco aiuto, poiché diverse sorgenti hanno la stessa composizione isotopica. I minerali di piombo, formatisi in diverse ere geologiche, contengono i diversi isotopi del piombo in quantità molto variabile. Il piombo si trova in quasi tutti gli oggetti di metallo antichi; ma i rapporti isotopici del piombo non si modificano durante la fusione. Grazie ai metodi dell'analisi di massa è possibile individuare anche le minime tracce di piombo, che diventano dei marcatori molto importanti per risalire alla zona d'origine.

Naturalmente se un oggetto in metallo è stato riutilizzato o è costituito dalla mescolanza di più metalli, la sua determinazione d'origine diventa impossibile. Inoltre, secon-

do alcuni studiosi, i metodi di determinazione d'origine fondati sui rapporti isotopici hanno il difetto di utilizzare un numero troppo ridotto di variabili e, di conseguenza, hanno un campo d'applicazione necessariamente limitato alla soluzione di quesiti piuttosto semplici (per esempio, scegliere tra aree d'origine circoscritte), non potendo invece essere applicati a problemi complessi, che in realtà sono spesso prevalenti. Per poter valutare obiettivamente le potenzialità e i limiti di tale metodo, basti pensare alle difficoltà che esisterebbero se si volesse determinare l'origine di ceramiche archeologiche, basandosi su uno o su pochi elementi chimici, mentre attualmente se ne possono misurare circa 20.

Pietra. Solitamente le pietre utilizzate per la costruzione sono d'origine regionale e il loro studio può giovarsi dell'aiuto dei geologi specializzati operanti nella regione di rinvenimento; le pietre importate sono quindi individuabili con una certa facilità, anche perché si tratta solitamente di materiali, come il marmo, la cui qualità giustifica un trasporto a lungo raggio.

Il marmo è una pietra calcarea, formata principalmente da calcio e carbonati di calcio e magnesio. Fino a poco tempo fa i manufatti marmorei venivano classificati solo in base a criteri geologici (come, per esempio, la granulazione e la stratificazione), spesso insufficienti per i problemi relativi alla determinazione d'origine.

Per questa finalità vengono utilizzati oggi i rapporti isotopici carbonio-ossigeno. Le concentrazioni degli isotopi carbonio-ossigeno sono diverse in marmi di aree differenti e possono dare importanti informazioni relative all'origine. Ricerche compiute con questo metodo su marmi rinvenuti in area greca hanno, infatti, mostrato l'esistenza di più gruppi caratterizzati da diverse composizioni. Il problema maggiore del metodo è lo stesso che esiste per tutti i metodi basati sui rapporti isotopici, cioè il fatto che si basano su di un numero ridotto di elementi. Per l'individuazione dell'origine dei marmi è utile affiancare all'analisi isotopica anche analisi chimiche e analisi al microscopio su sezioni sottili.

Archeometria della ceramica. Problemi di metodo (*Rimini 1992*), a cura di S. Santoro Bianchi, Bologna 1993; *Ceramica romana e archeometria: lo stato degli studi* (*Montegufoni 1993*), a cura di G. Olcese, Firenze 1995; *Il contributo delle analisi archeometriche allo studio delle ceramiche grezze e comuni. Il rapporto forma/funzione/impasto* (*Bologna 1997*), a cura di S. Santoro Bianchi e B. Fabbri, Bologna 1997; N. Cuomo di Caprio, *La ceramica in archeologia. Antiche tecniche di lavorazione e moderni metodi di indagine*, Roma 1985; *Indagini archeometriche relative alla ceramica a vernice nera* (*Milano 1996*), a cura di P. Frontini e M.T. Grassi, Como 1998; T. Mannoni, *Analyses cristallographiques*, in «PACT», 10, 1984, pp. 215-21; T. Mannoni, A. Molinari (a cura di), *Scienze in archeologia* (*Pontignano 1988*), Firenze 1990; T. Mannoni, E. Giannichedda, *Archeologia della produzione*, Torino 1996; G. Olcese, M. Picon, *Ceramica in archeologia e in archeometria. Qualche riflessione metodologica sulle determinazioni di origine*, in «Archeologia medievale», XXII, 1995, pp. 429-32; M. Picon, *Problèmes de détermination de l'origine des céramiques*, in «PACT», 10, 1984, pp. 425-33; Id., *L'analyse par activation neutronique est-elle la meilleure méthode que l'on puisse employer pour déterminer l'origine des céramiques?*, in «Revue d'Archéometrie», 15, 1991, pp. 95-101; M. Picon, M. de Boüard, *Etude en laboratoire des céramiques archéologiques*, CNRS, Paris 1989; M. Picon, M.D. Nenna, M. Vichy, *L'atelier de verrier de Lyon du Ier siècle après J.-C. et l'origine des verres «romains»*, in «Revue d'Archéometrie», 21, 1997, pp. 81-87; G. Schneider, *Anwendung quantitativer Materialanalysen auf Herkunftsbestimmungen antiker Keramik*, in «Berliner Beiträge zur Archäometrie», 3, 1978, pp. 63-122.

GLORIA OLCESE

Diagnostica archeologica La denominazione di diagnostica archeologica comprende, in breve, tutte le procedure necessarie a un'indagine non distruttiva, o molto parzialmente distruttiva, di un sito archeologico. La diagnostica archeologica si colloca in una fase intermedia fra la RICOGNIZIONE ARCHEOLOGICA (⇨) e lo SCAVO (⇨) e si distingue dall'una per le maggiori capacità di predizione, dall'altro per l'inesistenza, o per lo scarso rilievo, dell'impatto distruttivo e per la minore incisività conoscitiva.

In aggiunta alla ricognizione archeologica, le procedure di diagnostica archeologica consentono di arricchire le informazioni relative agli insediamenti archeologici noti in superficie analizzando in maniera approfondita la distribuzione dei manufatti all'interno delle concentrazioni, esplorando l'estensione delle strutture sepolte e le loro articolazioni, valutando lo spessore, l'entità e il grado di conservazione della stratificazione archeologica sepolta.

In previsione di uno scavo, la diagnostica archeologica offre la possibilità di programmare l'intervento, di delineare la strategia dello scavo e di stabilire dove, come e quanto scavare. In situazioni limite, essa può anche fornire indicazioni che sconsigliano lo scavo stratigrafico vero e proprio. In mancanza di una procedura valida per tutti i luoghi e per tutti i siti, è consigliabile scegliere, di volta in volta, un insieme delle tecniche che meglio si adattano a questa o a quella situazione.

Si procederà adesso a una descrizione delle diverse procedure diagnostiche, elencandole in base al crescente impatto distruttivo e registrandone vantaggi e svantaggi.

Analisi di immagini remote. Nel merito vanno comprese tutte le operazioni di rilievo «remoto» di un sito che possono essere fatte grazie allo studio delle riprese fotografiche della superficie terrestre eseguite da palloni aerostatici, da aerei in volo oppure da satelliti orbitanti (⇨ TELERILEVAMENTO).

Immagini satellitari. Benché queste immagini siano più adatte, in archeologia, allo studio delle trasformazioni ambientali e delle infrastrutture realizzate dall'uomo nell'antichità, capita sempre più spesso di poterle usare per documentare siti archeologici particolarmente evidenti e consistenti: insediamenti fortificati di età protostorica, città antiche, talora anche castelli medievali. L'uso archeologico di queste immagini è assai promettente, per quanto agli inizi. Un sostanziale progresso nell'utilizzazione delle immagini satellitari è legato alla loro sempre più ampia diffusione (si possono ordinare e acquistare per mezzo di Internet). Relativamente complessa è, al momento, la loro elaborazione, che deve necessariamente essere filtrata attraverso computer e programmi specializzati nel trattamento e nel filtraggio delle immagini. L'unico ostacolo all'utilizzazione generalizzata di queste immagini è stato rappresentato, fino a oggi, dalla loro scarsa disponibilità.

Immagini aerofotografiche. Una prima utilizzazione delle fotografie aeree è di tipo tradizionale e consiste nell'esame di coppie di aerofotogrammi, magari provenienti da riprese di diverse epoche e con diverse caratteristiche (possibilmente anche a colori), attraverso un semplice stereoscopio analogico. In questo modo vengono individuate anomalie cromatiche oppure rilievi nella superficie del terreno che, non di rado, corrispondono a siti archeologici sepolti. In questo caso l'aerofotointerpretazione serve soprattutto a valutare l'estensione complessiva di un insediamento sepolto.

Un altro tipo di uso della fotografia aerea prevede la sua trasformazione in cartografia ausiliaria attraverso un fotorestitutore analogico. Nei casi, ormai rari, in cui la cartografia ufficiale di una zona sottoposta a ricognizione è troppo vecchia quanto a data di edizione e di aggiornamento, e impedisce di collocare con sufficiente precisione un ritrovamento, a causa della perdita dei punti di riferimento, è possibile, se ci si accontenta di raggiungere una localizzazione approssimativa, desumere una carta del luogo su base aerofotografica, che sarà comunque una carta con scala non conforme. In questo caso, si potranno rappresentare sulla nuova pianta tanto gli elementi individuati nella ricognizione (emergenti e non) quanto le eventuali anomalie rappresentate nella foto aerea. L'elabora-