

## 6 TERRA SIGILLATA ITÀLICA

### 6.1 *Estat de la qüestió arqueològica*

Els primers estudis arqueològics sobre la *sigillata* itàlica es remunten a finals segle XIX i van ser portats a terme per Dragendorff (1895) a partir de les excavacions realitzades a la ciutat d'Arezzo per Gamurrini, qui localitzà una àrea repleta d'oficines de ceramistes. A Dragendorff li devem el primer estudi sistemàtic, el propi nom de *terra sigillata* amb el que coneixem la producció, així com les primeres aportacions per intentar establir una cronologia. Tot això s'anirà precisant durant el segle XX a partir dels treballs realitzats, sobretot, en els camps militars del *limes* germànic (Loeschke 1909, Albrecht 1938, 1942, Oxé 1943, Fingerlin 1986, Ettlenger, 1983, 1985, Ettlenger *et al.* 1990), en diversos centres de recepció (Goudineau 1968, Ettlenger *et al.* 1990), així com en els centres productors descoberts fins els nostres dies. També ha estat d'importància cabdal per al coneixement de l'estructura i funcionament dels tallers, l'estudi sobre les marques de ceramista iniciat per Oxé i Comfort (1968) i recentment revisat i publicat, parcialment en format informatitzat, per Kenrick (Oxé, Comfort i Kenrick 2000).

#### 6.1.1 **Arezzo**

Fou, sens dubte, una de les primeres ciutats de la Península Itàlica on es va desenvolupar una indústria important, amb una gran concentració de ceramistes que van distribuir els seus productes a gran escala per tota la Mediterrània. D'acord amb les dades aportades per les excavacions de Gamurrini i les obtingudes del taller d'*Ateivs*, localitzat a mitjans segle passat (Maetzke 1959, Scarpellini i Zamarchi 1995), sembla que Arezzo és el taller productor de *sigillata* itàlica més antic que es coneix, iniciant la seva activitat a partir de meitat segle I a.e. Les formes arcaïques, la major part de formes llises, hereves de la tradició del vernís negre, i aquelles que presenten el llavi penjant, que formarien el que es coneix com a servei Ia de Haltern, així com les marques en disposició radial, també considerades de l'etapa inicial de la producció, sembla que només haurien estat produïdes en aquest centre (Ettlenger *et al.* 1990). Pel que fa al final del taller, se sap que en època de Tiberi s'inicia una davallada de les exportacions a tota la Mediterrània, coincidint amb la distribució a gran escala de la *sigillata* sud-gàl·lica.

### 6.1.2 Pisa

Situada, com Arezzo, a la zona d'Etrúria, però estratègicament més a prop de la costa, és l'altra gran ciutat productora de *sigillata* de la Península Itàlica. De moment s'han descobert quatre tallers, tres dels quals van fabricar *sigillates*: el de *via San Zeno*, el més antic, que iniciaria la seva producció com a sucursal del taller d'*Ateivs* d'Arezzo (Kenrick 1997) durant els últims decennis del segle I a.e. i perduraria fins els anys 20-30 d.e.; el de *via Santo Stefano*, que presenta una datació de finals d'August a finals del segle I d.e. i que produiria no només *sigillata* itàlica sinó també el que coneixem com a tardo-itàliques; i, finalment, el d'*Isola di Migliarino*, que iniciaria la seva producció al temps que *via San Zeno*, però que continuaria produint també tardo-itàliques fins a principis del segle II d.e. (Menchelli 1995, 1997, Menchelli *et al.* 2001). L'exportació dels productes de les oficines ateianes cap a la Península Ibèrica estaria relacionada amb el comerç que existiria entre aquesta i el nord d'Etrúria. Així ho demostra, d'una banda la troballa de diversos vaixells localitzats a la mar Tirrena carregats de productes agraris procedents de la Península Ibèrica que tornarien carregats de *sigillata* fabricada a Pisa per a la seva comercialització; i, d'una altra les nombroses marques de ceramistes relacionats amb les oficines ateianes documentades a diversos jaciments de la costa i també de l'interior de la Península Ibèrica (Menchelli 2004).

### 6.1.3 Puzzoli

Situat a la Campània, seria l'últim gran centre productor conegut de la Península Itàlica. En aquesta ciutat van aparèixer gran quantitat de motlles, per a la producció de *sigillata* decorada, i fragments de vaixel·la, però cal recordar que fins el moment encara no s'ha localitzat cap forn. Aquest taller tindria els seus inicis als voltants de l'any 10 a.e. (Pucci 1985) i en època de Tiberi s'hi instal·laria una oficina del ceramista *N. Naevivs Hilarvs*, que prèviament hauria obert un taller a l'illa de Cuma (Soricelli 1982). Sembla que la producció del possible taller de Puzzoli estaria relacionada principalment amb la producció de copes, de les quals, les formes més freqüents es corresponen a la Consp.22 i Consp.31. Tot i això, s'hi ha documentat altres formes relacionades amb el repertori aretí, tot i que no s'ha documentat cap peça corresponent al servei I de Haltern (Soricelli 2004). També es proposa una producció tardo-putelana, relacionada amb formes decorades, que hauria estat operativa des dels anys 30/40 fins els anys 60/70, d'acord amb les troballes efectuades a Pompeia. Tot i que tampoc no s'ha trobat cap

taller, la composició química d'algunes d'aquestes peces més tardanes manifesten una gran similitud amb les signades per *N. Naevivs Hilarvs* (Soricelli 2004).

#### 6.1.4 Altres

L'avenç de les investigacions en la Península Itàlica durant els últims anys, ha posat de relleu que la producció de *sigillata* va ser un fenomen que es va estendre ràpidament a tot el territori, amb la instal·lació de diversos centres, alguns dels quals podrien estar relacionats amb Arezzo, a part de la pròpia Pisa, bé com a sucursals, bé per l'establiment en aquests altres centres d'algun dels seus ceramistes. Així, a Etrúria, a prop d'Arezzo, s'han localitzat els petits tallers de *Cincelli* i *Torrta di Siena*, aquest últim relacionat amb la producció del ceramista (*C. Vmbricivs*) *Cordvs*, on es van localitzar dues estructures relacionades amb forns de producció per a *sigillates* (Pucci 1990). A l'àrea del Laci s'han localitzat els tallers de *Prima Porta*, *Scoppieto* i *Vasanello*. Del primer es tenen poques dades encara avui dia. *Scoppieto* es troba situat a la ribera esquerra del Tiber i s'han trobat rebuigs de forn del taller de *Plotidivs Zosimvs* i *L. Plo(tidivs) Por(phyrivs?)* que produïren *sigillata* llisa amb segells *in p.p.* entre els anys 50 i 75 d.e (Nicoletta 2000, 2003, Olcese 2003, 2004). *Vasanello* es troba situat al nord de Roma i està relacionat amb la producció d'*Ancharivs*, que es trobaria actiu en època d'August. Es van localitzar diverses estructures i rebuigs de forns a més de *sigillata* pròpiament dita (Olcese 2003, 2004). També ha estat proposada la hipòtesi d'una producció relacionada amb una possible sucursal d'Arezzo en la zona propera a Roma, així com d'una producció urbana pròpiament dita. De moment, però no s'ha pogut confirmar cap dels dos punts i cal avançar en les investigacions per a obtenir resultats més concluent (Olcese 2003, 2004). Finalment, a la zona de la Campània destaca especialment *Cales*, del qual cal subratllar l'oficina de *M. Lollivs*, amb els seus dos treballadors, *Lvcrio* i *Philom( )*. El seu període d'activitat és difícil d'establir, però possiblement estaria actiu en època de Tiberi d'acord amb la documentació de marques *in p.p.* (Soricelli 2004). D'altra banda, cal descartar la producció de *sigillata* del ceramista *Sex Annivs*, a la ciutat d'Òstia proposada per Martín (1997) ja que les anàlisis arqueomètriques mostren una clara pertinença a Arezzo del que havia estat considerat com a possible rebuig de forn (Picon 2004). Tot i així, cal destacar que el propi Martín ja apunta la possibilitat que la deformació i unió de diverses peces pugui ser el resultat d'un foc en un magatzem i no necessàriament el resultat d'un defecte de cocción.

La *sigillata* itàlica també va ser produïda fora de la Península Itàlica. A la Gàl·lia han estat identificades produccions d'*Ateivs* a Lió -taller de La Mulette- i a La Graufesenque. En el primer cas, la documentació de diversos motlles i un gran nombre de marques de ceramista, moltes relacionades amb *Ateivs*, fa pensar que efectivament va existir una oficina d'aquest ceramista a Lió (Lasfargues i Vertet 1976, Picon i Garmier 1974, Kenrick 1997, Desbat 2001). La intenció de situar-se a Lió seria la d'estar més proper a la zona del *limes* germànic, on es van distribuir la major part dels seus productes. No és probable que aquest taller distribuís els seus productes cap a la Mediterrània.

A la Graufesenque, després d'una primera etapa en què es produïrien les primeres *sigillates* amb una tecnologia diferent d'aquella utilitzada pels ceramistes itàlics, aquest centre fabricaria, a partir del canvi d'era, veritable *sigillata* amb formes, gran part de les decoracions i marques que recorden les dels tallers d'Arezzo. Algunes marques incorporen mencions específiques a Arezzo, cosa que ha estat interpretada com que les peces són de tipus aretí i no pas com a produïdes a Arezzo. D'altra banda també es va recuperar un dipòsit amb marques d'*Ateivs* de producció local (Hoffmann i Picon 1993, Hoffmann 1995).

Pel que fa a la Península Ibèrica, tenim constància de dos produccions de *sigillata* itàlica relacionades amb establiments militars. Una d'elles es troba a Herrera del Pisuerga, a la província de Palència, per *L. Terentius*, ceramista de la *III Macedonia Legio* (Pérez 1989). El repertori documentat és extremadament reduït. Bàsicament es correspon amb les formes Consp.12 i Consp.14, el que porta a pensar que el seu període de fabricació seria també molt curt i se situaria a l'entorn dels anys 20-10 a.e. L'altra, estaria relacionada amb la *legio VI victrix* establerta a León i signada pel ceramista *C. Licinivs Maximvs* (Morillo i García-Marcos 2001). El seu repertori correspon bàsicament a formes llises i estaria relacionat principalment amb la fabricació de copes Consp.31 i Consp.33. El seu període de fabricació correspondria a època tardo-augustal i primers anys de Tiberi.

## **6.2 Estat de la qüestió arqueomètric. Estudis de provenença**

### **6.2.1 Arezzo**

Els estudis arqueomètrics sobre centres productors dins la Península Itàlica han estat centrats, principalment, en Arezzo. Aquest taller fou caracteritzat per primera

vegada a partir de mostres trobades a Bolsena utilitzant la Fluorescència de Raigs X (FRX) pels elements majors i l'Emissió d'Espectroscòpia Òptica (OES) i la Activació Neutrònica (AN) pels elements traça (Picon *et al.* 1971). L'any 1975 són analitzades per primer cop mostres procedents del propi jaciment d'Arezzo conjuntament amb mostres d'altres tallers, entre elles algunes del taller de La Muette. Les mostres que havien estat prèviament analitzades per FRX per l'obtenció dels elements majors, s'analitzen ara per AN pels majors i traça. D'aquesta manera es comprova que els resultats d'ambdues tècniques són comparables i es defineix el grup de referència (GR) d'Arezzo a partir d'aquestes mostres que ara sí són del propi jaciment. També s'estableix arqueomètricament que un dels ceramistes més importants d'Arezzo, *Ateivs*, tenia una sucursal a Lió, ja que les mostres analitzades amb aquesta marca presenten una composició compatible amb el GR de La Muette (Widemann *et al.* 1975). Recentment, el GR d'Arezzo s'ha tornat a publicar després de les anàlisis realitzades a diversos laboratoris (Schneider i Hoffman 1990). Els tallers de Cincelli i Torrita di Siena, a prop d'Arezzo, també han estat caracteritzats per FRX (Lasfargues i Picon 1982 – Cincelli, elements majors –; Schneider i Hoffman 1990 – Cincelli, elements majors i traces –; Mascione *et al.* 1994 – Torrita di Siena, elements majors i traces). Les anàlisis també van permetre atribuir la provenença de dos motlles trobats a Torrita di Siena a Arezzo.

### 6.2.2 Pisa

El taller de Pisa, inicialment considerat com a centre secundari, va ser caracteritzat per primera vegada per FRX, cosa que va provar que els seus productes havien estat àmpliament distribuïts a la Gàl·lia i a Germània (Lasfargues i Picon 1982; Picon *et al.* 1972/73, Desbat i Picon 1992, Desbat *et al.* 2000). Actualment s'han caracteritzat per FRX i per Microscòpia Òptica (MO) els tres centres productors de *sigillata* localitzats a Pisa, cosa que ha demostrat que aquests van utilitzar argiles diferents per a les seves produccions (Menchelli *et al.* 2001). Els resultats han permès establir que la major part de la *sigillata* itàlica d'*Ateivs* trobada a la Gàl·lia pertany al taller pisà més antic, al de via *San Zeno*. Pel que fa al taller de via *Santo Stefano*, s'ha demostrat que tant la *sigillata* alt-imperial com la tardo-itàlica varen ser fabricades amb les mateixes argiles. Finalment, s'ha demostrat que les argiles utilitzades al taller de *Santo Stefano* i les de *Isola di Migliarino* presenten una composició química molt similar i difereixen, molt subtilment, en els valors lleugerament més elevats en TiO<sub>2</sub>,

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO i Zn i més febles en CaO, K<sub>2</sub>O i MnO de les argiles d'*Isola di Migliarino* respecte a les de *Santo Stefano*.

### 6.2.3 Zona del Laci /Campània

De la producció de *sigillata* dels tres tallers de la zona del Laci localitzats fins ara, *Prima Porta*, *Scoppieto* i *Vasanello*, només aquest últim compta amb un estudi arqueomètric ampli del qual s'han analitzat *sigillata* pròpiament dita, motlles i rebuigs de forn per mitjà de la FRX (Olcese 2003, 2004). Malgrat tot, en l'anomenat estudi arqueomètric d'Olcese, amb col·laboració amb Picon (2003, 2004), realitzat sobre individus amb marques de ceramista documentats a la ciutat de Roma, s'inclouen individus que provindrien de *Scoppieto* i d'altres tallers, probablement situats a la mateixa zona, encara desconeguts arqueològicament. Aquestes investigacions han permès proposar la hipòtesi d'una producció relacionada amb una possible sucursal d'Arezzo en la zona propera a Roma. En aquest sentit, cal destacar la documentació de diverses peces amb un mateix nom de ceramista que han proporcionat composicions químiques diferents. També ha estat proposada una producció urbana a la pròpia Roma, tot i que per aquest punt no ha pogut, de moment, ser confirmat analíticament i d'acord amb les anàlisis arqueomètriques, *Vasanello* es perfila com el proveïdor més destacat de la ciutat, tot i que n'hi van haver d'altres i cal avançar en les investigacions per a poder extreure conclusions més definitives.

Finalment, pel que fa a la zona concreta de la Campània, *sigillata* procedent de *Cales* i *Puzzoli* també ha estat analitzada per FRX (Picon 1994). Els resultats de la *sigillata* d'aquest últim jaciment no presenta l'homogeneïtat d'un únic grup que és el que s'espera quan s'analitza un taller, sinó que els materials analitzats es dividien en dos grups, un dels quals presentava una composició més propera a les produccions de la zona de Laci que a la pròpia Campània, tot i que les composicions d'ambdues zones són similars. Per aquest motiu Picon va deixar en quarantena la consideració definitiva de *Puzzoli* com a centre productor fins que no s'analitzin els motlles recuperats a les excavacions antigues. Malgrat això, està clar que hi ha una producció de *sigillata* itàlica homogènia relacionada amb aquesta zona (Laci-Campània) que es diferencia arqueomètricament de manera clara d'Arezzo i Pisa. Relacionat també amb aquesta àrea, cal destacar l'estudi fet a partir de l'anàlisi per MO d'una sèrie de motlles del ceramista *N. Naevivs Hilarivs* recuperats a l'illa de *Cumas* (Williams 1982). Tot i que en un principi s'havia suggerit que *Cumas* es tractaria d'una sucursal d'aquest ceramista

que s'havia adscrit al possible centre de Puzzoli, en aquest treball es proposa com a més versemblant la hipòtesi que *N. Naevius Hilarivs* s'hauria instal·lat primer a Cumas i durant els inicis del regnat de Tiberi s'hauria traslladat a Puzzoli, on hauria continuat la seva activitat fins a finals de l'època clàudia (Soricelli 1982).

Malgrat els progressos que s'han fet a la Península Itàlica durant els últims anys, on l'arqueometria s'ha anat imposant cada vegada més com a tècnica imprescindible per l'estudi de la producció de *sigillata*, el nombre de tallers descoberts en aquest territori és escàs. Recordem, per exemple, que l'àrea Padana ha estat proposada com l'àrea de provenença de diverses produccions, sense que de moment s'hagi localitzat ni un sol taller. Tot i així, les investigacions arqueomètriques portades a terme per Picon (1995) sobre la *sigillata* procedent de diversos centres de consum d'aquesta zona (Bolònia, Rimini i Magdalensberg, a Àustria) permeten inferir que, només en aquesta àrea, podrien existir com a mínim, una dotzena de tallers. A més, la identificació d'altres exemplars procedents d'Itàlia i de la Gàl·lia que no concorden amb la composició química de cap taller conegut arqueològicament, indicarien, d'acord amb el mateix autor, que el nombre de tallers productors de *sigillata* a la Península Itàlica, no seria inferior a 20 o 30, però la majoria resten encara desconeguts.

#### **6.2.4 La Muette**

Pel que fa a l'àrea de la Gàl·lia, a Lió, els treballs arqueomètrics portats a terme sobre el material procedent del taller de La Muette han permès establir el seu GR i observar que aquest centre utilitza al principi argiles altament calcàries per canviar posteriorment a argiles calcàries, moment que coincidiria amb l'etapa de màxima difusió del taller (Picon i Vichy 1974). Els treballs analítics realitzats amb motlles procedents de La Muette van provar que alguns d'ells estaven relacionats amb el GR d'Arezzo, demostrant l'existència de la transferència de motlles entre aquests dos centres (Picon i Lasfargues 1974, Picon 1994). Les marques dels ceramistes de La Muette també han estat extensivament estudiades per FRX (Picon 1976). Per tal de contrastar els resultats analítics de diverses tècniques arqueomètriques, l'AN també ha estat aplicada a la ceràmica d'aquest centre (Widemann *et al.* 1975).

### 6.2.5 La Graufesenque

Pel que fa a La Graufesenque, es van recuperar diverses peces d'un dipòsit d'*Ateivs* que han estat confirmades com a produccions locals gràcies a les anàlisis arqueomètriques (Picon citat a Williams 1978, Picon 1995).

### 6.2.6 Herrera del Pisuerga

Pel que fa a la *sigillata* itàlica produïda a la Península Ibèrica per *L. Terentius*, l'autor comenta que ha estat analitzada per diverses tècniques; malgrat aquest fet, en el moment de fer la publicació l'autor només disposa dels resultats de DRX que són els que es troben en el seu estudi (Pérez 1989).

La major part dels estudis de provenença en centres de consum han estat portats a terme per Picon a partir de l'aplicació de la FRX amb la finalitat d'analitzar individus de *sigillata* itàlica trobats a la Península Itàlica (Mirti *et al.* 1991 - per AAS i ICP -, Picon 1994), a la Gàl·lia (Picon *et al.* 1972/73, Picon i Garmier 1974, Desbat i Picon 1992) i a Germània, especialment al *limes* germànic (Picon 1974a, Lasfargues i Picon 1982, Ettlínger 1983). Aquestes investigacions han posat de manifest que una part considerable de la *sigillata* itàlica recuperada a la Gàl·lia provindria de Pisa i no d'Arezzo com s'havia assumit tradicionalment. Malgrat això, la *sigillata* d'Arezzo també es va comercialitzar en aquest territori i els estudis arqueomètrics han demostrat que el àrea del Laci-Campània i el taller de La Graufesenque també varen estar involucrats en aquest comerç. En el cas del *limes* germànic, la major part de la *sigillata* itàlica provenia de Lió i només una petita part va arribar de Pisa i d'Arezzo. És de destacar, que la producció d'*Ateivs* recuperada al jaciment de Haltern provindria majoritàriament de les sucursals que tindria aquest ceramista a Pisa i Lió, i no d'Arezzo.

Les anàlisis arqueomètriques a centres de consum a la Península Ibèrica es troben encara en un estadi inicial. En un intent precoç, *sigillata* provinent d'Arezzo fou caracteritzada a *Conimbriga* (anàlisis per M.T. Seixas publicats a Delgado, 1975 - per XRF, XRD i OM -). A *Celsa* es van identificar productes d'Arezzo, Puzzoli i Nàpols (Castillo *et al.* 1991 - per AAS, ICP i Espectroscòpia Mössbauer (MS) -) i d'aquests mateixos centres més Luna i Pisa en un estudi recent utilitant l'AAS i l'ICP (Beltran *et al.* 1998). Els resultats preliminars, a partir de l'aplicació de la FRX, de l'estudi que presentem en aquest treball sobre *Baetulo*, revel·laven la presència a la ciutat de, com a mínim, *sigillata* itàlica de quatre centres de producció diferents: Arezzo, possible Pisa,



àrea del Laci-Campània i un altre taller no identificat (Madrid 1999). Finalment, s'han portat a terme algunes anàlisis amb materials recuperats al nord d'Àfrica. *Sigillata* itàlica d'Arezzo fou caracteritzada a *Volubilis* i Sala (anàlisis realitzats per F. Crouzel i M.P. Béziat, publicats a Boubé 1965 – per mitjà de la MO -).

### **6.3 Descripció de les produccions de sigillata itàlica identificades a partir de les dades químiques**

#### **6.3.1 terra sigillata itàlica dels tallers d'Arezzo i Pisa. Problemes de solapament.**

Respecte a aquests dos centres, Arezzo i Pisa, cal tenir en compte, tal i com destaca Picon (1994), els problemes de solapament que es produeixen en els seus grups de referència. Això dificulta de manera important la seva diferenciació i només en condicions òptimes (un nombre elevat de mostres de cada taller, sense presència de mostres de cap altre centre i sense que hi hagi mostres que presentin contaminacions o alteracions) fa possible la diferenciació arqueomètrica d'ambdós tallers. Les principals diferències entre les produccions aretines i pisanes dels tres tallers caracteritzats es troben en els continguts en  $K_2O$ , més baixos en Arezzo, i en  $MgO$ , més alts per la producció aretina (Menchelli *et al.* 2001, Delécaut *et al.* 2004)).

D'acord amb els criteris de validació, les probabilitats a *priori* ens suggerien per *Baetulo* que, si bé Arezzo havia de ser un dels principals exportadors de *sigillata* cap a la ciutat, Pisa també deuria haver fet arribar els seus productes. Donat que és absolutament impossible distingir aquestes dues vaixelles a ull nu, i que, a més, les formes que fabrica Pisa també són fabricades per Arezzo, les evidències arqueològiques en les que ens basàvem eren les següents: d'una banda la marca *S.M.P.* de l'Ic BDT023, analitzada arqueomètricament en aquest estudi i que, arqueològicament, es correspondria amb *Sex Mvrrivs Pisanvs*, documentada en un en el context *PJ6* d'època clàudia sobre una copa Consp.32.5. D'una altra la marca *EV[]* que es troba sobre un fragment del qual no s'ha pogut identificar la forma i que, arqueològicament, correspondria a *Evhodvs*, documentada en el context *FL54* d'època de Tiberi. Lamentablement, no ha donat prou pes per a la seva anàlisi. Tots dos es troben documentats en el taller d'*Isola di Migliarino* de Pisa (Menchelli 1995).

Cal, d'altra banda, indicar que el primer estudi d'associació de patrons que ens va permetre associar gran part de les mostres contrastades amb Arezzo, es va realitzar amb una mostra de 56 Ic de *sigillata* itàlica procedents de *Baetulo*. L'estudi que

presentem consta d'un total de 125 Ic classificats arqueològicament com a *sigillata* itàlica, que inclouen, a més d'Ic procedents de *Baetulo*, Ic procedents dels jaciments d'*Emporiae* i *Tarraco* (Taula 1, Annex 6). Així doncs, vam iniciar el treball estadístic d'aquest grup de manera unitària amb la finalitat de comprovar si tots els Ic que s'integraven pertanyien realment a una única producció, o si bé era possible distingir entre Arezzo i Pisa.

Malgra tot, com hem vist en el tractament estadístic general de les nostres dades, si bé el grup LC, associat amb la producció de la zona del Laci-Campània es diferencia clarament del que seria Arezzo, l'agrupació que hem anomenat AP incorpora també l'Ic BDT023 (Figura 40). Tot i així, aquest individu s'ajunta de manera residual a la dreta de l'agrupació junt amb d'altres individus a una distància ultramètrica que és el doble del punt en el que es produeix la fusió de la majoria d'individus d'aquest grup. A més, cal destacar que presenta un dels valors en MgO més baixos de totes les mostres que formen part d'aquesta agrupació i un dels valors més alts en K<sub>2</sub>O de tota l'agrupació, essent, precisament les diferències d'aquests dos components les que diferencien principalment Pisa d'Arezzo. Així doncs, l'estudi estadístic realitzat a continuació, només amb aquells Ic susceptibles de ser bé d'Arezzo, bé de Pisa, sense, en principi, la presència de mostres de cap altre taller, ens hauria de permetre, d'acord amb Picon, diferenciar, en cas que realment hi fossin, els Ic que pertanyien a Pisa, d'aquells Ic que pertanyien a Arezzo.

Així, el treball estadístic es va realitzar amb els 107 Ic que es troben integrats en l'URCP AP, 77 de *Baetulo* (BDT003, BDT004, BDT005, BDT006, BDT007, BDT008, BDT009, BDT011, BDT013, BDT014, BDT015, BDT016, BDT017, BDT018, BDT019, BDT020, BDT021, BDT023, BDT047, BDT048, BDT049, BDT050, BDT051, BDT052, BDT053, BDT054, BDT055, BDT056, BDT057, BDT058, BDT060, BDT061, BDT062, BDT063, BDT064, BDT066, BDT067, BDT068, BDT071, BDT072, BDT073, BDT074, BDT075, BDT076, BDT083, BDT084, BDT086, BDT088, BDT089, BDT091, BDT092, BDT093, BDT094, BDT105, BDT114, BDT115, BDT116, BDT117, BDT119, BDT121, BDT123, BDT124, BDT125, BDT127, BDT133, BDT134, BDT135, BDT136, BDT137, BDT138, BDT139, BDT140, BDT142, BDT143, BDT147, BDT151 i BDT226), 22 d'*Emporiae* (EMP001, EMP002, EMP003, EMP004, EMP005, EMP006, EMP007, EMP008, EMP009, EMP010, EMP011, EMP012, EMP013, EMP014, EMP015, EMP016, EMP017, EMP018, EMP019, EMP020, EMP045 i EMP046) i 8 de *Tarraco* (TAR001, TAR002, TAR003, TAR005, TAR006, TAR008, TAR011 i TAR012).

La seva matriu de variació composicional (Taula 35, Annex 6) presenta una variació total de 0.388245, valor que supera lleugerament els límits del que es considera una mostra monogenètica (Buxeda i Kilikoglou 2003). Tot i així, s'observa que aquest valor elevat ve proporcionat bàsicament pels vectors columna  $\tau_{i\text{ Pb}}$ ,  $\tau_{i\text{ P2O5}}$ , en els quals la variació total representa menys del 10% del seu valor  $\tau_i$  en l'estructura de covariància ( $vt/\tau_i < 0.1$ ) per al primer i menys del 30% ( $vt/\tau_i < 0.3$ ) per al segon. Si repetim la matriu de variació composicional sense tenir en compte aquests dos components (Taula 36, Annex 6), la variació baixa fins a 0.160295, i un cop corregida per minimitzar l'efecte d'haver eliminat dos dels components de la matriu (Buxeda i Kilikoglou 2003), la variació total és de 0.174708, valor que es troba clarament dins dels límits del que es considera una mostra monogenètica i que mostra fins a quin punt és greu el solapament entre Arezzo i Pisa. El valor més baix de les columnes  $\tau_i$  en la primera matriu es correspon amb el  $x_{\text{Ni}}$ , representant la variació total de l'estructura de covariància el 89.14% del seu valor ( $vt/\tau_i = 0.891492$ ). En la segona matriu aquest valor més baix correspon al  $x_{\text{SiO}_2}$  representant la variació total de l'estructura el 85.03% del seu valor ( $vt/\tau_i = 0.850339$ ). Considerarem el Ni com a divisor per a la transformació en logaritmes de raons per a la realització de l'AA utilitzant la distància euclidiana al quadrat i el procés aglomeratiu del centroid sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (com a Fe total),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , MnO,  $\text{TiO}_2$ , MgO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Zr, Y, Ce, Ga, V i Cr. És a dir, sense considerar els components  $\text{P}_2\text{O}_5$  i Pb i tampoc el CaO ja que, com s'observa a la matriu de variació, la variació total representa menys del 40% del valor del component  $x_{\text{CaO}}$  ( $vt/\tau_i < 0.4$ ), ni l'Sr, correlacionat amb el CaO, ni, finalment, el Cu ja que alguns Ic presenten contaminacions d'aquest element observant-se valors molt més elevats que la resta.

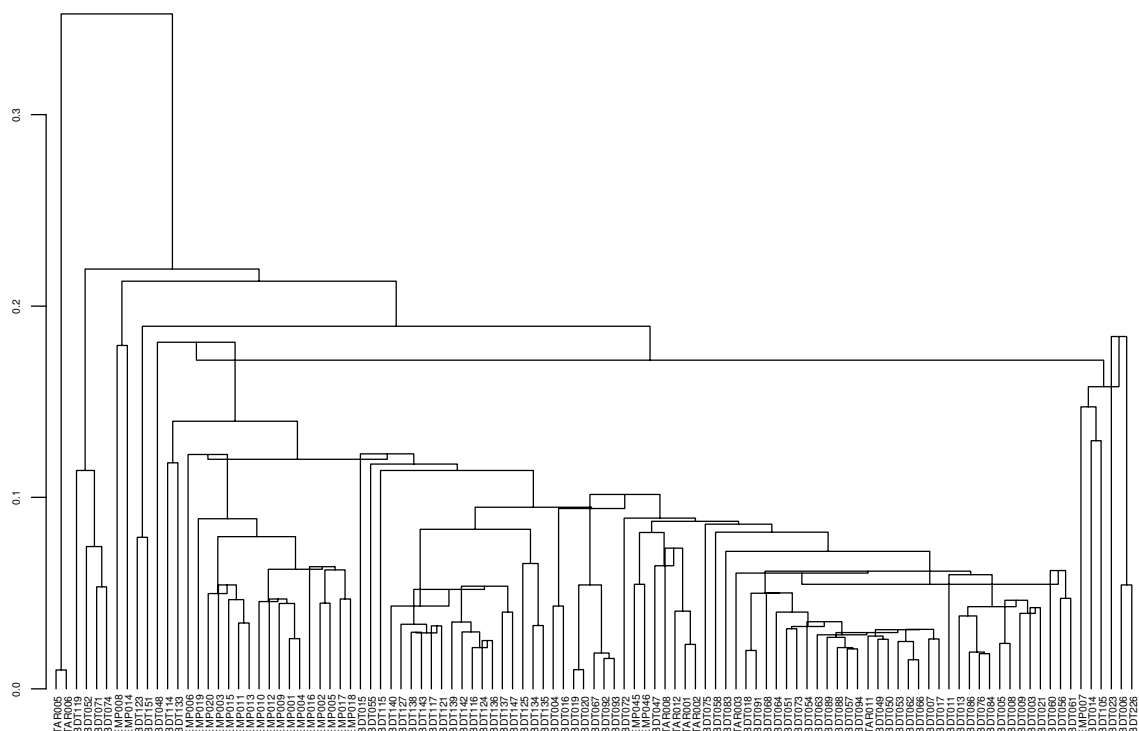


Figura 83. URCP AP. Dendrograma resultant de l'anàlisi d'agrupament utilitzant la distància euclidiana al quadrat i el procés aglomeratiu del centroide sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (com a Fe total),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , MnO,  $\text{TiO}_2$ , MgO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Ce, Ga, V i Cr transformada en logaritmes de raons utilitzant el Ni com a divisor.

A la figura 83 es pot veure com la penúltima fusió, que integra tots els Ic menys dos, es produeix a poc una distància ultramètrica de poc més de 0.2, distància molt curta i que mostra una gran homogeneïtat. Malgrat tot, a la dreta del dendrograma es pot observar un petit grup de mostres entre les quals es troba la mostra BDT023 que s'ajunten al gran subgrup que tenen a la seva esquerra de manera marginal. Tot i que no formen un grup homogeni, cal destacar que les mostres EMP007, BDT014 i BDT105 presenten junt amb la mostra BDT023 uns dels valors més baixos en MgO i uns dels valors més alts en  $\text{K}_2\text{O}$  de tots els Ic d'aquest grup. Les mostres BDT006 i BDT226 amb les quals s'acaba agrupant l'Ic BDT023, això sí, a una distància ultramètrica molt elevada, presenten uns valors en MgO i  $\text{K}_2\text{O}$  d'acord amb la majoria. A l'esquerra del gràfic s'observa també la unió de dos mostres, TAR005 i TAR006, que es fusionen entre elles a una distància ultramètrica inapreciable, mostrant una gran similitud. La seva fusió és l'última del dendrograma i es produeix a una distància ultramètrica molt elevada amb la resta de mostres, indicant diferències respecte del gran subgrup que tenen a la seva dreta i grans diferències amb el subgrup de la dreta, tot i el seus valors també molt baixos en MgO. S'observa també a l'esquerra del dendrograma un grup d'Ic

que formen diferents subgrups que es fusionen entre ells a distàncies molt elevades indicant poca similitud composicional, i que s'acaben fusionant amb el gran subgrup de la seva esquerra de manera marginal (BDT119, BDT052, BDT071 i BDT074, d'una banda; EMP008 i EMP014, d'una altra; i, per últim, BDT123 i BDT151).

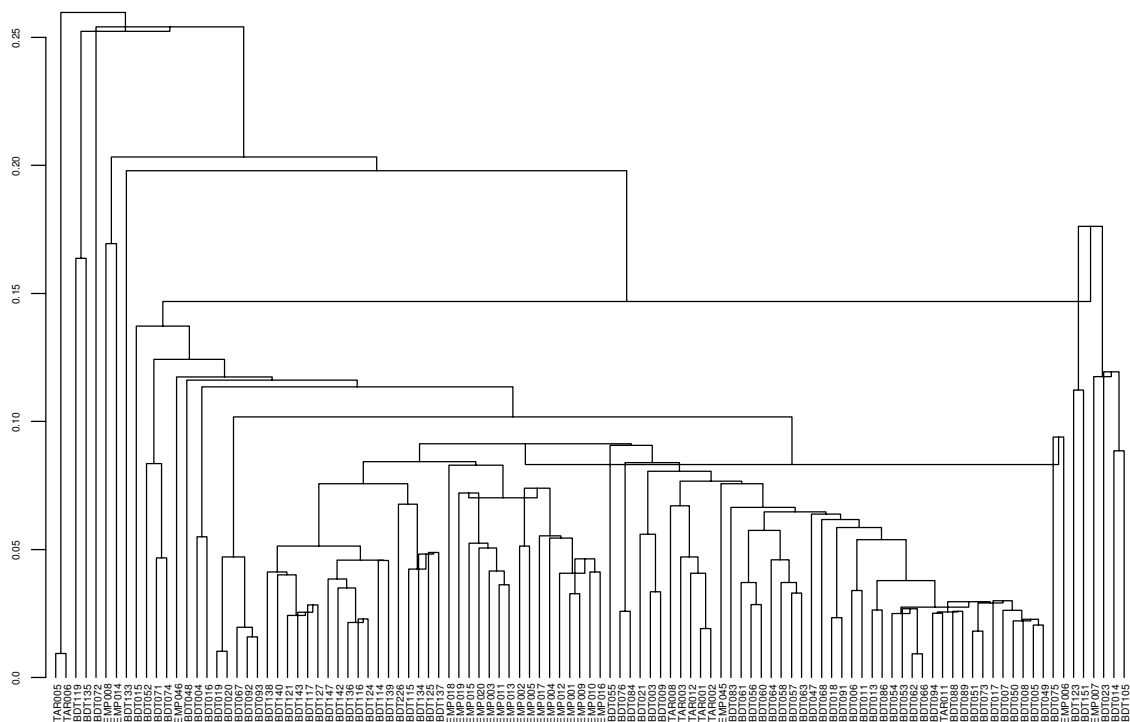


Figura 84. Dendrograma resultant de l'anàlisi d'agrupament utilitzant la distància euclidiana al quadrat i el procés aglomeratiu del centroid sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (com a Fe total),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , MnO,  $\text{TiO}_2$ , MgO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Ce, Ga, V, Ni i Cr transformada en logaritmes de raons centrats.

Si repetim l'AA (Figura 84), però utilitzem com a divisor la mitjana geomètrica de tots els elements i sense considerar els mateixos components que l'anterior, s'observa com la distància a la que es realitza l'última fusió és de 0.25, més curta que en el dendrograma anterior. A la dreta del gràfic, s'observa com a les mostres BDT014, BDT023, BDT105 i EMP007 s'afegeixen ara dues més, BDT123 i BDT151, que en el gràfic anterior quedaven fusionades, formant un petit subgrup, de manera marginal amb el gran subgrup de la seva dreta, i que són, juntament amb les altres quatre, de les mostres que presenten els valors més alts en  $\text{K}_2\text{O}$  de tots els Ic inclosos en l'URCP AP. Els valors en MgO de la mostra BDT151 són, juntament amb les altres quatre, dels més baixos de tot el grup AP, mentre que els valors en MgO de la mostra BDT123 són més alts. Pel que fa a aquelles mostres que també es fusionaven de manera marginal amb el gran subgrup central, s'observa que la TAR005 i TAR006 tornen a fusionar-se en últim

lloc a una distància ultramètrica que és quasi el doble de la distància a la que es produeix l'última fusió en el gran subgrup de la seva dreta. La mostra BDT119 torna a fusionar-se de manera marginal a una distància elevada amb el gran subgrup central, després de la seva fusió ara amb l'Ic BDT135 a una distància també elevada que indica poca similitud entre elles. La resta de mostres que abans formaven un petit subgrup amb aquesta (BDT052, BDT071 i BDT074) queden ara integrades en el gran subgrup central. Els Ic EMP008 i EMP014 tornen a fusionar-se entre ells a una distància molt elevada i també, com en el cas anterior, es fusionen amb el gran subgrup central de manera marginal. Per acabar, l'Ic BDT133 queda ara fora del gran subgrup central fusionant-se amb aquest de manera marginal.

Si observem ara els diagrames bivariants de la Figura 85, s'observa com en el gràfic dels  $\ln(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{mg})$ - $\ln(\text{MgO}/\text{mg})$  (Figura 85, dalt), que mostra una clara correlació positiva entre els dos components per a la majoria dels Ic, la mostra BDT123 s'integra, tot i que de manera marginal, en el núvol que formen el gran gruix de l'agrupació AP, mentre que els 5 restants queden clarament separats situant-se a la dreta del gràfic. S'observa, a més una posició marginal dels Ic TAR005 i TAR006 (part inferior central del gràfic), BDT119 (part superior esquerra del gràfic) i BDT052, BDT071 i BDT074 (part superior central del gràfic). En el segon diagrama  $\ln(\text{TiO}_2/\text{mg})$ - $\ln(\text{K}_2\text{O}/\text{mg})$  (Figura 85, baix) s'observa una major dispersió de tots els Ic, mostrant una manca de correlació entre els dos components utilitzats. En aquest cas, els 6 Ic queden separats de la resta situant-se en la part superior del gràfic. D'altra banda, l'Ic BDT119 torna a tenir una posició marginal (part superior esquerra del gràfic), els Ic BDT071 i BDT074 també se situen de manera marginal (part superior esquerra del gràfic) i l'Ic BDT052, que ara se situa de manera marginal junt amb l'Ic BDT019 (part superior central del gràfic). A la part dreta central el gràfic queda situat de manera marginal l'Ic BDT133, que també ho feia en el segon dendrograma.

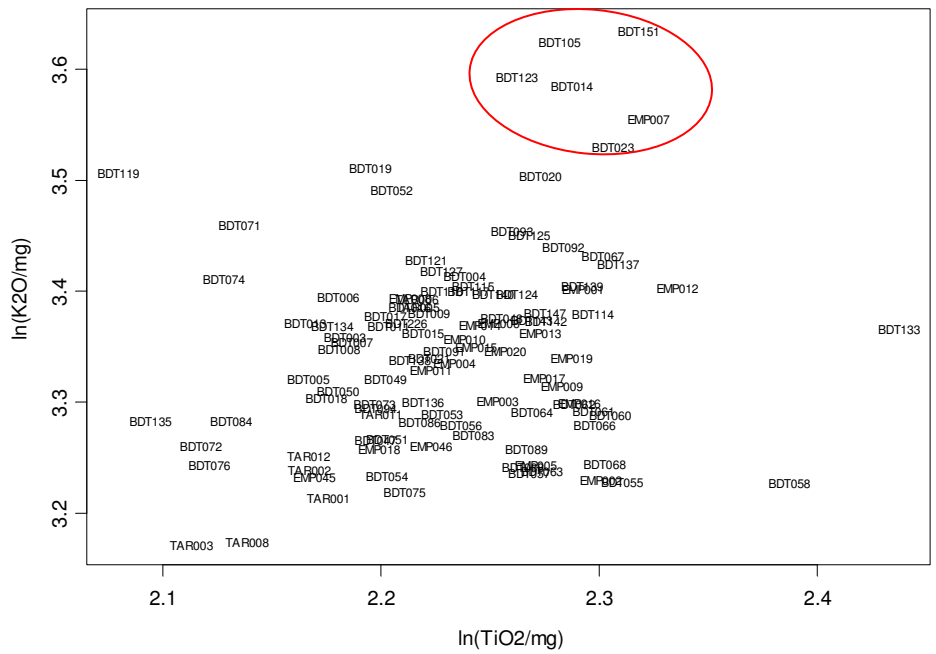
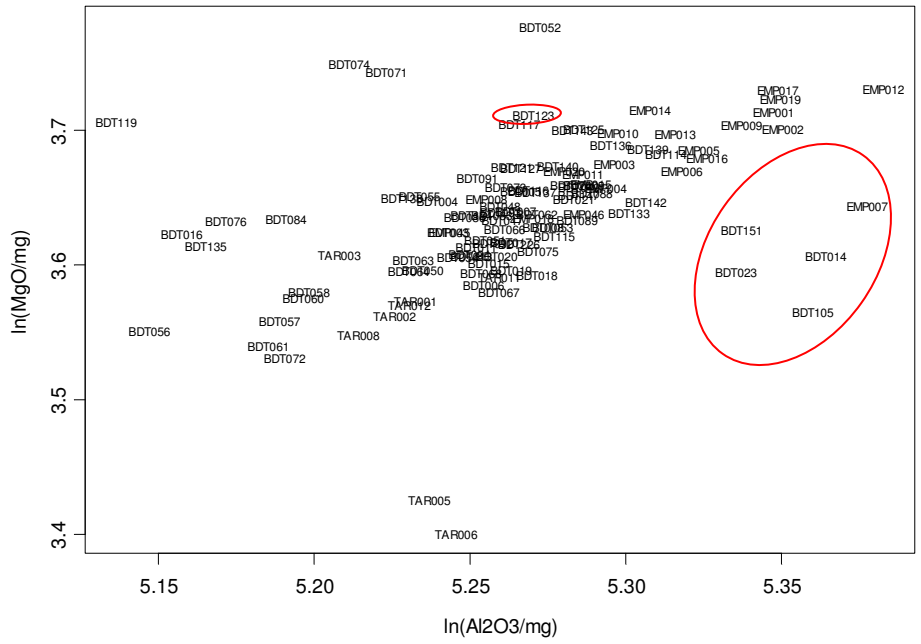


Figura 85. Diagrames bivariants. Dalt:  $\ln(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{mg})$ - $\ln(\text{MgO}/\text{mg})$ . Baix:  $\ln(\text{TiO}_2/\text{mg})$ - $\text{K}_2\text{O}/\text{mg}$ .

L'últim diagrama,  $\ln(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{mg})-\ln(\text{Cr}/\text{mg})$  (Figura 86), mostra un panorama similar al primer. S'observa una clara correlació positiva entre els dos components utilitzats i, de nou, la mostra BDT123 queda integrada, també de manera marginal, en el núvol format per el gran gruix de mostres de l'agrupacio AP, mentre que els 5 Ic tornen a quedar separats de la resta a la dreta del gràfic. L'Ic BDT119 apareix de nou situat de manera marginal a la part esquerra central del gràfic, així com els Ic TAR005 i TAR006 que també apareixen situats de manera marginal a la part central inferior del gràfic.

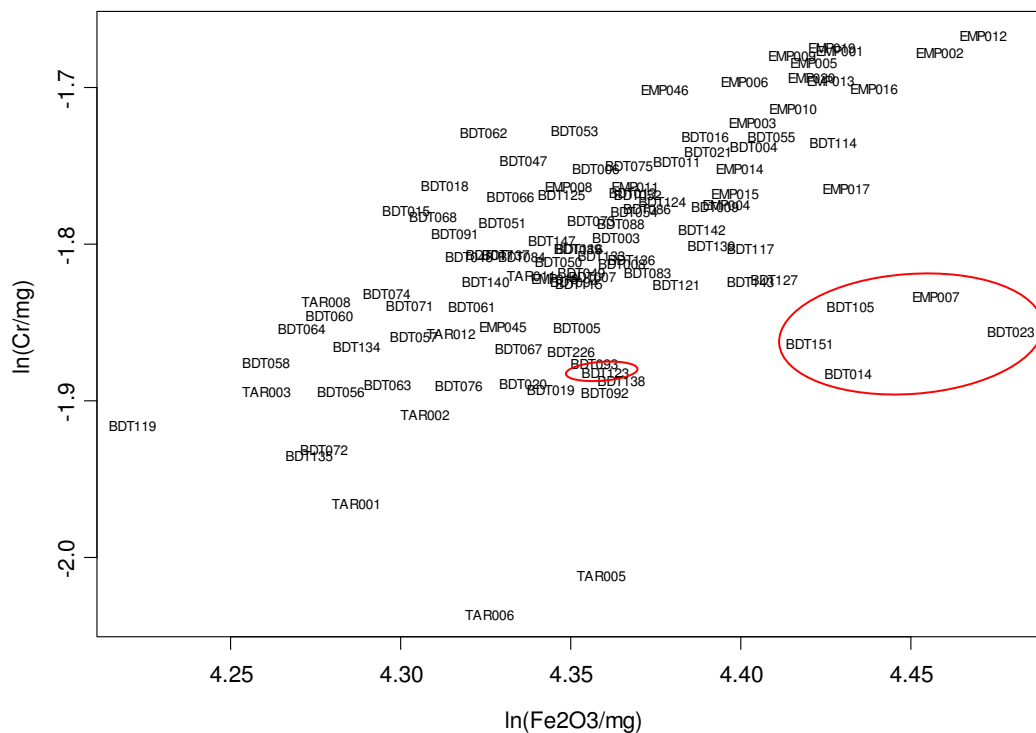
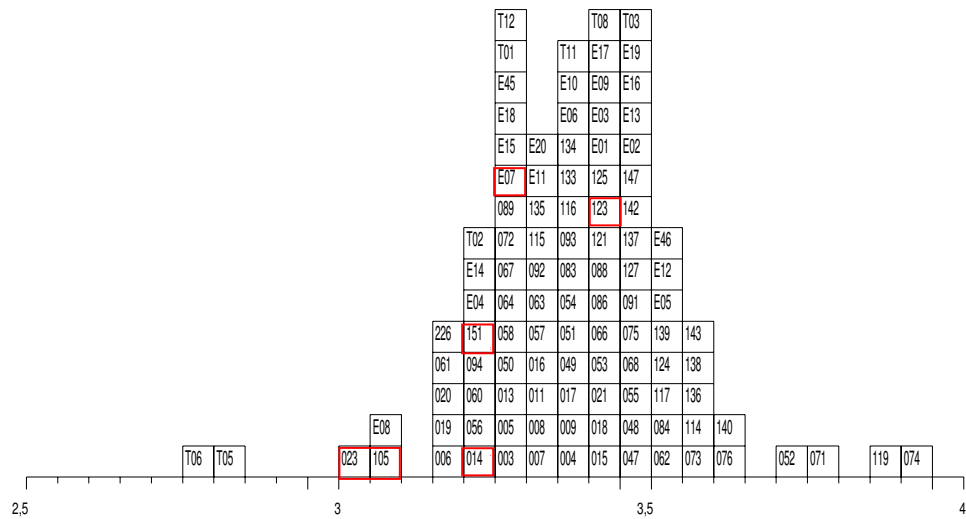


Figura 86. Diagrama bivariant. Dalt:  $\ln(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{mg})-\ln(\text{Cr}/\text{mg})$

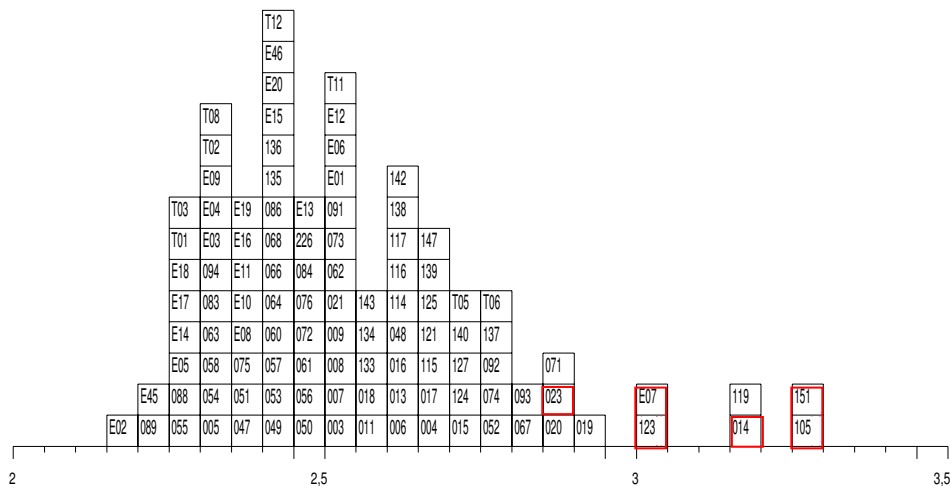
Finalment, en la Figura 87, corresponent als histogrames dels  $\ln(\text{MgO}/\text{mg})$  (Figura 87, dalt) i dels  $\ln(\text{K}_2\text{O}/\text{mg})$  (Figura 87, baix), s'observa com a excepció de l'Ic BDT123 que se situa entre els valors mitjans alts en gràfic superior corresponent als  $\ln(\text{MgO}/\text{mg})$ , els Ic BDT014, BDT023, BDT105, BDT151 i EMP007 presenten valors baixos. Al mateix temps, en el gràfic inferior corresponent als  $\ln(\text{K}_2\text{O}/\text{mg})$ , tots 6 Ic queden clarament situats a la dreta presentant valors alts. Així doncs, d'acord amb el treball



estadístic realitzat, les similituds que mostren aquests Ic i les seves diferències respecte a la majoria d'Ic de l'agrupació AP, ens permeten pensar que podria tractar-se de dues produccions diferents.



AP  $\ln(\text{MgO}/\text{mg})$



AP  $\ln(\text{K}_2\text{O}/\text{mg})$

Figura 87. URCP AP. Dalt: histograma dels  $\ln(\text{MgO}/\text{mg})$ . Baix: histograma dels  $\ln(\text{K}_2\text{O}/\text{mg})$

Hem volgut complementar l'anàlisi estadística d'aquest cas concret amb una anàlisi discriminant quadràtica dels dos grups que permeti concloure si realment es tracta o no de dos grups diferenciats. Prèviament a aquest pas, hem procedit al càlcul de

distàncies de Mahalanobis al centroide del grup d'Arezzo dels individus que durant el tractament estadístic anterior han mostrat certa marginalitat respecte a aquest per a testar la possibilitat de que hi pertanyin realment i, també, amb l'objectiu d'aconseguir una millor definició del grup d'Arezzo a través del càlcul iteratiu de distàncies de Mahalanobis, fins a obtenir un grup estable on tots els individus que hi formin part es pugui considerar que realment hi pertanyen. Hauria estat ideal poder realitzar aquest càlcul també per al grup de Pisa, però el baix nombre d'individus que el componen impedeix la seva realització. Així doncs, aquest càlcul s'ha realitzat considerant com a Arezzo, d'entrada 94 individus, és a dir tots aquells que hem definit en el grup AP excepte els marginals (BDT123, BDT133, BDT135, EMP008, EMP014, TAR005 i TAR006) i aquells que podrien formar el grup de Pisa (BDT014, BDT023, BDT105, BDT151 i EMP007). Es procedeix al càlcul de les distàncies de Mahalanobis al centroide del grup d'Arezzo segons

$$D^2 = (\mathbf{y} - \boldsymbol{\mu})' \boldsymbol{\Sigma}^{-1} (\mathbf{y} - \boldsymbol{\mu}),$$

on  $\mathbf{y}$  és el vector de logaritmes de raons definit anteriorment,  $\boldsymbol{\mu}$  és el vector de mitjanes de logaritmes de raons del grup d'Arezzo i  $\boldsymbol{\Sigma}^{-1}$  és la inversa de la matriu de covariàncies de logaritmes de raons d'aquest grup. La significació d'aquesta distància pot ésser valorada mitjançant el càlcul de la  $T^2$  de Hotelling (Davis 1986) segons

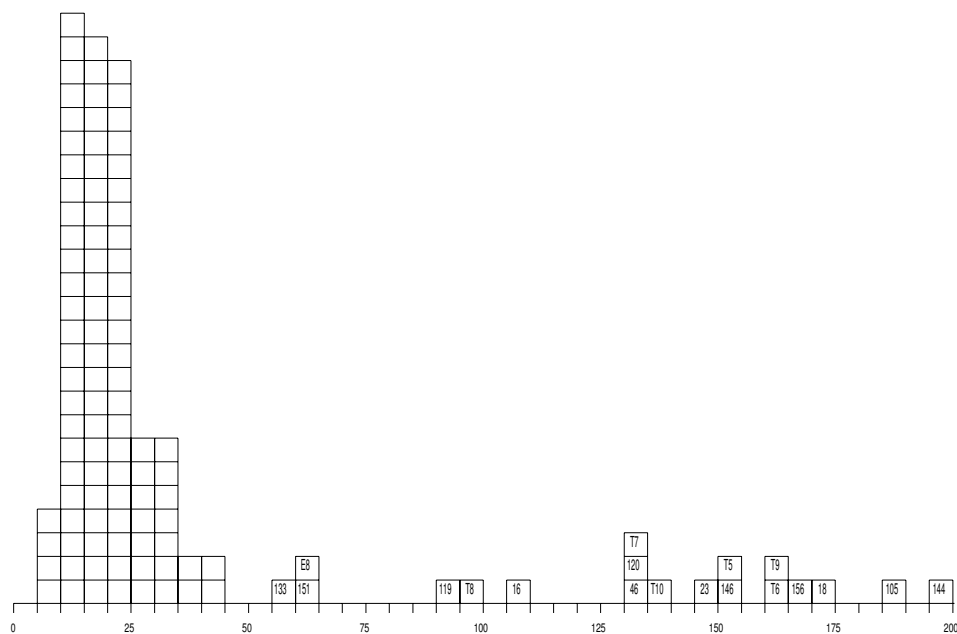
$$T^2 = \frac{n_a n_b}{n_a + n_b} D^2,$$

on  $n_a$  correspon al nombre d'individus considerats en  $\mathbf{y}$  i  $n_b$  correspon al nombre d'individus considerats en el grup emprat. Aquest valor es transforma després en un test F d'igualtat multivariant segons

$$F = \left( \frac{n_a + n_b - s - 1}{(n_a + n_b - 2)s} \right) T^2,$$

on  $s$  és el nombre de variables emprades en el càlcul de  $D^2$ , amb  $s$  i  $(n_a + n_b - s - 1)$  graus de llibertat. En la Figura 88 es pot observar l'histograma de les distàncies de Mahalanobis resultant amb la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (com a Fe total), MnO,  $\text{TiO}_2$ , MgO, CaO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Ni i Cr emprant l' $\text{Al}_2\text{O}_3$  com a divisor en la transformació en logaritmes de raons. Aquest histograma és el resultat després del

segon cycle de càlculs de distàncies de Mahalanobis i es pot considerar ja com a estable, amb Arezzo formant un grup compacte. A partir d'una distància de 45, la probabilitat, calculada amb la  $T^2$  de Hotelling, de pertanyer al grup és ja menor del 5% i, per tant, els individus situats més enllà d'aquesta distància es consideren no pertanyents al grup d'Arezzo. Els individus més propers però clarament separats del grup BDT133, EMP008 i BDT151, aquest últim considerat de Pisa, es troben a una distància entre 55 i 65 i presenten una probabilitat de 0.8%, 0.2% i 0.4% respectivament de pertanyer a Arezzo, amb la qual cosa s'ha de considerar que no hi pertanyen. A partir d'una distància de 85, la probabilitat de pertanyer a Arezzo és propera a 0, amb el que queda clar que tots els individus situats més enllà d'aquesta distància no s'han de considerar del grup. En aquesta situació es troben els individus marginals BDT119, TAR005 i TAR006 i també els individus BDT016, BDT018, i TAR008. També presenten una probabilitat prop de 0 la resta d'individus considerats com a Pisa BDT023 i BDT105, situats en el gràfic a una distància entre 140 i 150 el primer i entre 185 i 190 el segon, i BDT014, i EMP007, aquests últims a una distància més enllà de 200, per la qual cosa no surten al gràfic. D'altra banda, queden definitivament incorporats al grup d'Arezzo els individus BDT123, BDT135 i EMP014.

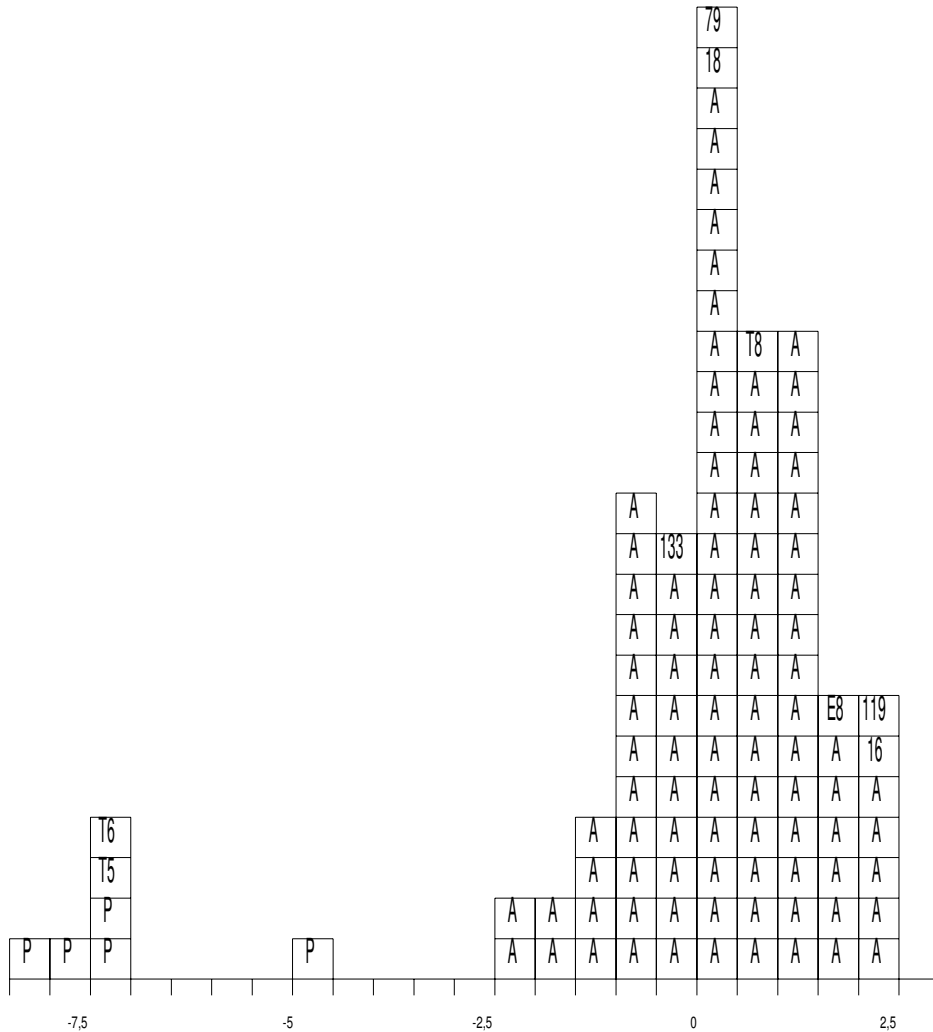


Arezzo Dist. Mah.

Figura 88. Histograma de les distàncies de Mahalanobis al centroid del grup d'Arezzo (en blanc, individus del grup d'Arezzo). Amb el seu número i la sigla E els individus d'Emporiae marginals contrastats. Amb el seu número i la sigla T els individus de Tarraco marginals contrastats. Amb el seu número sense sigla el individu de Baetulo marginal contrastats

Un cop ben definit el grup d'Arezzo, compost per 94 Ic (BDT003, BDT004, BDT005, BDT006, BDT007, BDT008, BDT009, BDT011, BDT013, BDT015, BDT017, BDT019, BDT020, BDT021, BDT047, BDT048, BDT049, BDT050, BDT051, BDT052, BDT053, BDT054, BDT055, BDT056, BDT057, BDT058, BDT060, BDT061, BDT062, BDT063, BDT064, BDT066, BDT067, BDT068, BDT071, BDT072, BDT073, BDT074, BDT075, BDT076, BDT083, BDT084, BDT086, BDT088, BDT089, BDT091, BDT092, BDT093, BDT094, BDT114, BDT115, BDT116, BDT117, BDT121, BDT123, BDT124, BDT125, BDT127, BDT134, BDT135, BDT136, BDT137, BDT138, BDT139, BDT140, BDT142, BDT143, BDT147, BDT226, EMP001, EMP002, EMP003, EMP004, EMP005, EMP006, EMP009, EMP010, EMP011, EMP012, EMP013, EMP014, EMP015, EMP016, EMP017, EMP018, EMP019, EMP020, EMP045, EMP046, TAR001, TAR002, TAR003, TAR011 i TAR012) procedim a l'anàlisi discriminant quadràtica d'aquest i Pisa (BDT014, BDT023, BDT105, BDT151 i EMP007), definint, a més, un tercer grup compost per aquelles mostres que no han quedat classificades dins d'Arezzo a partir del càlcul de distàncies de Mahalanobis (BDT016, BDT018, BDT119, BDT133, EMP008, TAR005, TAR006 i TAR008) i també de l'Ic BDT079 que no ha estat tingut en compte en el tractament estadístic previ al càlcul de distàncies de Mahalanobis ja que presenta un valor en Zn molt més alt que la resta del grup. Cal, però, destacar que al realitzar un càlcul de distàncies de Mahalanobis d'aquest individu respecte al centroid de d'Arezzo, sense considerar el Zn, aquest individu presenta una distància respecte a Arezzo de 18.46, el que significa una probabilitat del 72,76% de pertinença al grup. Per aquest motiu l'hem inclòs també en el grup de mostres a classificar a partir de l'anàlisi discriminant.

L'anàlisi discriminant quadràtica està realitzada sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (com a Fe total),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , MnO,  $\text{TiO}_2$ , MgO, CaO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr transformats en logaritmes de raons centrats. En aquest cas, s'han identificat les variables transformades del  $\text{K}_2\text{O}$ , MgO,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Cr, CaO, Ba,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i MnO com les variables amb un major poder discriminant. L'anàlisi de la variància mostra un valor de la distribució F de 30.21 entre els dos grups d'Arezzo i Pisa el que suposa per 8 i 90 graus de llibertat, que les diferències químiques entre ambdós grups són altament significatives per sobre del valor 2.74 que correspon a un 99% de confiança (Taula 37, Annex 6). Aquest resultat mostra que aquestes diferències es corresponen amb l'existència de dos grups de composicions químiques diferents. En aquest cas, una única variable canònica representa el 100% de la dispersió i els seus resultats es poden representar en un histograma (Figura 89).



### VC1-Arezzo/Pisa

Figura 89. Projecció dels Ic i dels centroides de les dues agrupacions en l'eix de la VC1. A: Arezzo, P: Pisa. Amb el seu número i la sigla E, individus d'*Emporiae* dubtosos classificats a partir de l'AD. Amb el seu número i la sigla T, individus de *Tarraco* dubtosos classificats a partir de l'AD. Amb el seu número i sense sigla, individus de *Baetulo* dubtosos classificats a partir de l'AD

En aquest histograma s'observa clarament la separació d'ambdós grups, amb els Ic del grup d'Arezzo a la dreta i els Ic del grup de Pisa a l'esquerra. La major part dels individus classificats en un o altre grup es poden considerar ben classificats i pertanyents al grup en què han quedat integrats (Taula 38, Annex 6). L'Ic BDT079 presenta una distància molt elevada respecte a Pisa i curta respecte a Arezzo, cosa que ens podria estar indicant que potser els valors elevats del Zn corresponen amb una contaminació. Tot i així, sense més dades, no es pot considerar que estigui a Arezzo. Pel que fa a la resta d'individus (BDT016, BDT018, BDT119, BDT133, EMP008, TAR005, TAR006 i TAR008), les seves distàncies respecte a Pisa són molt elevades i per a la majoria també ho són respecte a Arezzo, confirmant el que ens indicava el càlcul de distàncies de

Mahalanobis. Només els Ic BDT018 i l'Ic BDT133 presenten distàncies més curtes. Tot i així, no es pot considerar que estiguin a Arezzo. La mostra BDT151 per la seva banda, tot i quedar plenament incorporada en el grup de Pisa, tal i com l'havíem classificat prèviament, presenta la distància més alta respecte al grup, quedant, per tant, situada marginalment en l'histograma (aproximadament a -5). Observant les dades composicionals d'aquest Ic respecte a la resta d'Ic de Pisa, constatem un valor lleugerament més baix en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i en Zr i lleugerament més alt en Ba. Les diferències no són excessivament grans, però la similitud que presenten els pocs Ic restants que formen aquest grup provoquen aquesta distància més elevada. Així doncs, considerem aquest Ic ben classificat i pertanyent a Pisa. Els Ic TAR005 i TAR006 presenten una distància molt elevada respecte a Arezzo amb el que s'ha de descartar la seva pertinença en aquest taller. En l'histograma es pot veure com s'incorporen clarament al grup de Pisa degut, especialment, al seu baix valor en MgO. Tot i així, la distància d'aquests individus respecte a Pisa és alta, per la qual cosa cal ser prudents a l'hora d'interpretar aquestes mostres com de Pisa. Les diferències composicionals principals respecte a Pisa es troben en els seus valors més alts en  $\text{Na}_2\text{O}$  i Zr, i més baixos en  $\text{K}_2\text{O}$ . Recordem que una de les principals diferències de Pisa respecte a Arezzo és justament un valor més elevat en  $\text{K}_2\text{O}$  del primer respecte al segon. El valor de  $\text{K}_2\text{O}$  que presenten aquests dos individus ja és més alt que la mitjana del grup d'Arezzo, però també és més baix que els individus que hem considerat com de Pisa. Tot i així, el fet de comptar amb tan poques mostres fa difícil interpretar si aquest valor formaria part de la variabilitat que presenta Pisa. Malgrat aquestes diferències, aquests dos Ic presenten grans semblances amb el grup de Pisa, per la qual cosa els integrarem en el grup de Pisa per a tractar les dades del grup estadísticament i comprovar si realment podrien formar part d'una mateixa URCP.

#### 6.3.1.1 L'anàlisi química per AN. Resultats.

Com ja hem explicat en el capítol 3.1.2, el motiu principal per a l'aplicació d'aquesta tècnica era la dificultat que observàvem per a discriminar analíticament els tallers de *sigillata* itàlica d'Arezzo i Pisa degut, en gran part, als problemes de solapament en els seus patrons composicionals que presenten ambdós tallers. Així, varem analitzar 60 Ic de *sigillata* itàlica i, com també hem explicat en el capítol corresponent, varem afegir a la mostra 20 Ic de produccions *a priori* indeterminades, amb la finalitat de comprovar si podrien ser compatibles amb produccions de *sigillata* caracteritzades per AN i de les que podria no haver-hi resultats per FRX.

El tractament estadístic es va realitzar unint, en un sol fitxer, les dades procedents de la FRX (Taula 8, Annex 6) i AN (Taula 39, Annex 6). Per als elements comuns Na<sub>2</sub>O, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Rb i Zr es van seleccionar les concentracions determinades per FRX, mentre que per al Ce, Th i Cr foren utilitzades les concentracions determinades per AN. Cal subratllar que es van descartar diversos elements: As i Sb degut a la seva gran variabilitat, Tb, Mo i Sn degut al baix comptatge estadístic, i Co, Ta i W degut a que l'ús del molí de carbur de tungsté que s'utilitza per a triturar i homogeneïtzat els individus comporta el perill de contaminacions d'aquests elements. No es van tenir en compte ni el P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ni el Pb ja que sempre comporten un gran perill de contaminacions.

En la Taula 40 (Annex 6) es pot veure la MVC dels 80 Ic analitzats per AN amb una variació total (vt) de 1.483366, valor alt i esperat donat que sabem que treballem amb una mostra poligenètica (Buxeda i Kilikoglou 2003). A partir dels valors  $\tau_i$  ( $i=1,\dots,D$ ) les matrius de covariàncies de logaritmes de raons que presenten uns valors més alts en les diagonals, i per tant uns valors més alts en les seves traces, són les que utilitzen com a divisor els components  $x_{Ni}$  ( $\tau_{Ni}=8.422421$ ),  $x_{Cr}$  ( $\tau_{Cr}=6.442906$ ),  $x_{CaO}$  ( $\tau_{CaO}=5.823814$ ),  $x_{Na_2O}$  ( $\tau_{Na_2O}=4.520515$ ),  $x_{MgO}$  ( $\tau_{MgO}=3.902192$ ),  $x_{Cs}$  ( $\tau_{Cs}=3.757834$ ),  $x_{Cu}$  ( $\tau_{Cu}=3.225944$ ),  $x_{Th}$  ( $\tau_{Th}=3.119631$ ),  $x_U$  ( $\tau_U=3.050751$ ) i  $x_{Sc}$  ( $\tau_{Sc}=3.017190$ ). En tots ells, la variació total de l'estructura de covariància representa menys del 50% del seu valor  $\tau_i$  ( $vt/\tau_i < 0.5$ ). D'altra banda, les traces amb valors més baixos són les que utilitzen com a divisors els components  $x_{Al_2O_3}$  ( $\tau_{Al_2O_3}=1.562397$ ),  $x_{SiO_2}$  ( $\tau_{SiO_2}=1.575125$ ),  $x_Y$  ( $\tau_Y=1.635347$ ),  $x_{Eu}$  ( $\tau_{Eu}=1.659914$ ),  $x_{Lu}$  ( $\tau_{Lu}=1.680452$ ),  $x_{Sm}$  ( $\tau_{Sm}=1.719216$ ),  $x_{Rb}$  ( $\tau_{Rb}=1.740453$ ),  $x_{TiO_2}$  ( $\tau_{TiO_2}=1.924279$ ),  $x_{Fe_2O_3}$  ( $\tau_{Fe_2O_3}=1.981121$ ),  $x_V$  ( $\tau_V=1.989716$ ) i  $x_{Ce}$  ( $\tau_{Ce}=1.994107$ ). Per a tots aquests valors  $\tau_i$  la variació total de l'estructura de covariància representa més del 70% del seu valor ( $vt/\tau_i > 0.7$ ) i arriba al seu límit per a la traça de la matriu amb  $x_{Al_2O_3}$  com a divisor, en què la variació total representa el 94.94% del seu valor ( $vt/\tau_i=0.949417$ ).

Així doncs, considerem l'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> com l'element més adequat per a utilitzar-lo com a divisor en la transformació a logaritmes de raons per a la realització del l'anàlisi d'agrupament (AA), utilitzant la distància euclidiana al quadrat i el procés aglomeratiu del centroide sobre la subcomposició Sm, Lu, La, Ce, Cr, Hf, Cs, Sc, Eu, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (com a Fe total), MnO, TiO<sub>2</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ga, V, Zn i

Ni transformada en logaritmes de raons emprant l'  $\text{Al}_2\text{O}_3$  com a divisor, sense considerar els components U, Th ni Cu.

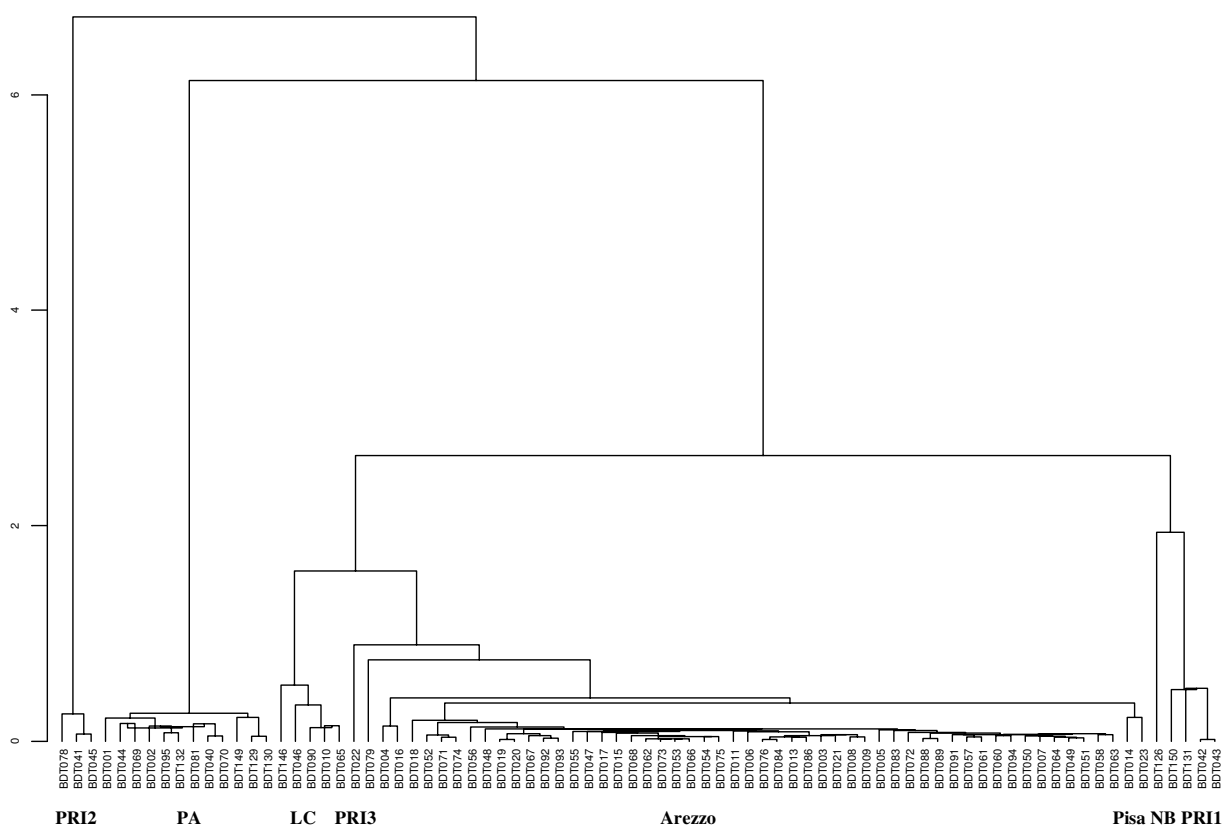


Figura 90. Dendrograma resultant de l'anàlisi d'agrupament utilitzant la distància euclidiana al quadrat i el procés aglomeratiu del centroide sobre la subcomposició Sm, Lu, La, Ce, Cr, Hf, Cs, Sc, Eu,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (com a Fe total), MnO,  $\text{TiO}_2$ , MgO, CaO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ga, V, Zn i Ni, transformada en logaritmes de raons emprant l'  $\text{Al}_2\text{O}_3$  com a divisor

En la Figura 90 es pot observar el resultat de l'AA. Així a l'esquerra s'observa una primera agrupació composta per 3 Ic que es corresponen amb el que hem definit com a **PRI2**. A continuació hi ha un grup de 12 Ic que es correspon amb la nostra URCP **PA**, i que s'associa amb la *sigillata* itàlica Producció A. El següent grup, compost per 5 Ic es correspon amb la nostra agrupació **LC**, associada amb la *sigillata* de la zona del Laci-Campània. Seguint el dendrograma a la dreta, s'observa l'Ic BDT022 que no s'ajuntaria de manera clara amb cap agrupació i que, s'uneix al gran grup que té a la seva dreta a una distància ultramètrica que és més doble des del punt on es realitza l'última fusió d'aquesta gran agrupació. Aquest individu forma part de la nostra URCP **PRI3**. A continuació hi ha l'Ic BDT079 que també s'acabarà fusionant amb el gran grup de la dreta i que ja hem comentat durant el tractament estadístic anterior. Els dos Ic que té a la seva dreta s'ajunten ja a una distància molt curta amb el gran grup de la dreta. Un d'ells, l'Ic BDT016 ja ha estat comentat durant el tractament estadístic anterior. Seguint a



la dreta s'observa un gran grup compost per 49 Ic que es correspon plenament amb el que hem definit com a **Arezzo** i que es fusiona a una distància ultramètrica extremadament curta, mostrant la seva homogeneïtat. Les dues mostres que hi ha a la dreta del grup d'Arezzo es corresponen amb el que hem definit com a grup de **Pisa**, confirmant que es tracta d'individus diferents d'Arezzo. A continuació s'observa l'Ic BDT126 que es fusiona a una distància molt elevada amb el grup que tanca el dendrograma. Aquest individu forma part de la URCP **NB** que hem associat a les produccions de la zona narbonesa. Finalment, les quatre mostres del final són les que hem definit com a URCP **PRI1**. Així doncs, l'ampliació d'elements determinats per AN ens permet confirmar els resultats obtinguts per FRX, agrupant les mateixes mostres dins les mateixes agrupacions.

Si repetim ara el tractament estadístic només amb els 53 Ic que considerem que pertanyen a Arezzo i Pisa, s'observa que la seva MVC (Taula 41, Annex 6) presenta una variació total de 0.128563, baixa i dins dels límits del que es considera una mostra monogenètica (Buxeda i Kilikoglou 2003). En aquest cas, l'Sc destaca com a element més estable per al qual la variació total representa més del 80% del seu valor  $\tau_i$  ( $v/\tau_i > 0.8$ ). Així doncs, utilitzarem aquest element per a la transformació de les dades en logaritmes de raons per a la realització del l'anàlisi d'agrupament (AA), utilitzant la distància euclidiana al quadrat i el procés aglomeratiu del centroides sobre la subcomposició Sm, Lu, La, Ce, Cr, Hf, Cs, Eu, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (com a Fe total), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, TiO<sub>2</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ga, V, Zn i Ni, transformada en logaritmes de raons emprant l'Sc com a divisor, sense considerar els components U, Th ni Cu.

En la Figura 91 es pot observar el resultat de l'AA. La distància ultramètrica a la que es produeix l'última fusió és de poc més de 0.3 a causa de la fusió elevada a que les dues mostres de l'extrem esquerre s'uneixen finalment al grup d'Arezzo. Una d'elles és l'Ic BDT016, la qual no es trobaria realment en el grup d'Arezzo d'acord amb el tractament estadístic anterior. Així doncs, sense tenir en compte aquesta última unió, el grup d'Arezzo es fusiona a poc més de 0.2, una distància clarament curta que confirma, un cop més, la gran homogeneïtat composicional del grup. A la seva dreta, clarament separades del grup d'Arezzo, es troben de nou les mateixes dues mostres que en el dendrograma anterior es fusionaven juntes i que formen part del que hem definit com a grup de Pisa (BDT014 i BDT023). Aquestes s'acabaran unint a Arezzo a una distància de

0.3, que no es pot considerar gaire elevada i que confirma les similituds composicionals que mostren els patrons d'aquests dos centres.

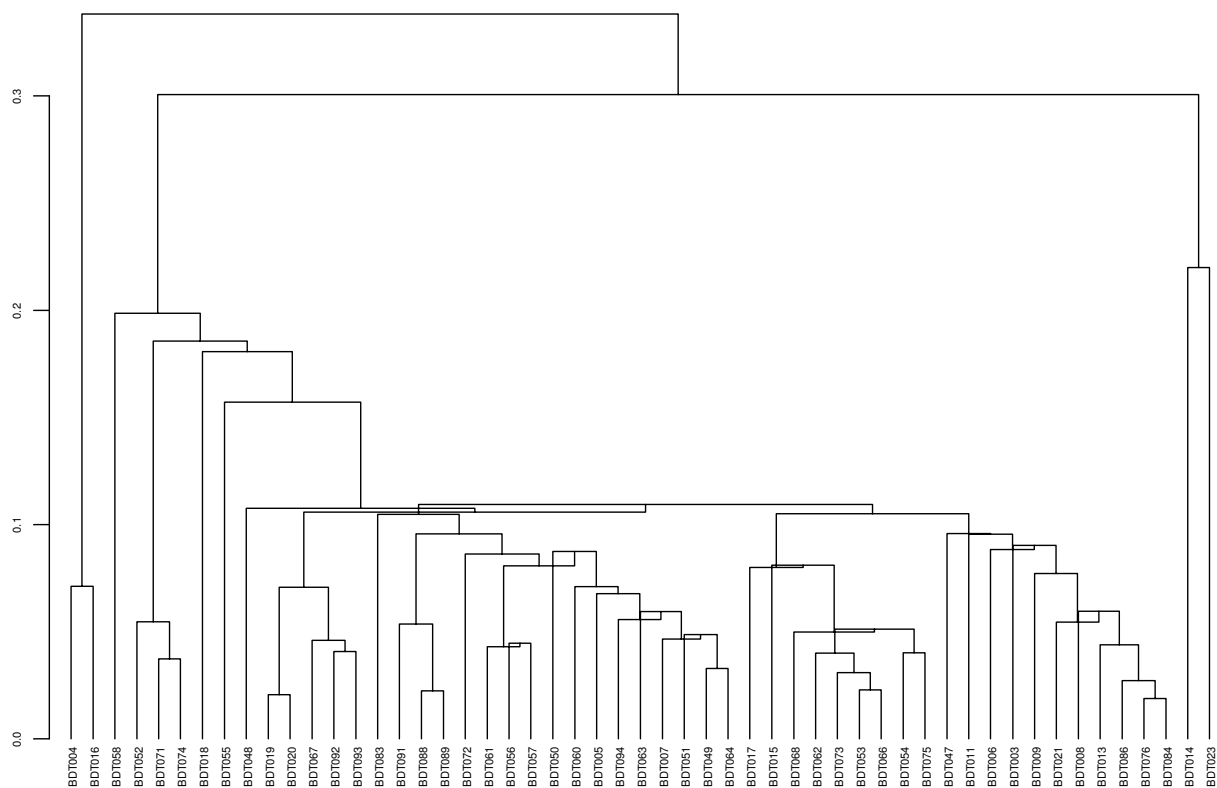


Figura 91. Dendrograma resultant de l'anàlisi d'agrupament utilitzant la distància euclidiana al quadrat i el procés aglomeratiu del centroide sobre la subcomposició Sm, Lu, La, Ce, Cr Hf, Cs, Eu, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (com a Fe total), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, TiO<sub>2</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ga, V, Zn i Ni transformada en logaritmes de raons emprant l'Sc com a divisor

A mode de conclusió, cal dir que, la combinació d'ambdues tècniques, FRX i AN, confirma els resultats obtinguts per FRX i en el cas concret d'Arezzo i Pisa permet una millor separació d'ambdós grups, que no es pot atribuir a cap element en concret sinó a la combinació de tots ells.

## 6.3.2 Arezzo

### 6.3.2.1 Característiques químiques

Així doncs, el grup d'Arezzo queda format per 94 Ic, 69 de *Baetulo* (BDT003, BDT004, BDT005, BDT006, BDT007, BDT008, BDT009, BDT011, BDT013, BDT015, BDT017, BDT019, BDT020, BDT021, BDT047, BDT048, BDT049, BDT050, BDT051, BDT052, BDT053, BDT054, BDT055, BDT056, BDT057, BDT058, BDT060, BDT061, BDT062, BDT063, BDT064, BDT066, BDT067, BDT068, BDT071, BDT072, BDT073, BDT074, BDT075, BDT076, BDT083, BDT084, BDT086, BDT088, BDT089, BDT091, BDT092, BDT093, BDT094, BDT114, BDT115, BDT116, BDT117, BDT121, BDT123, BDT124, BDT125, BDT127, BDT134, BDT135, BDT136,

BDT137, BDT138, BDT139, BDT140, BDT142, BDT143, BDT147, BDT226), 20 d'*Emporiae* (EMP001, EMP002, EMP003, EMP004, EMP005, EMP006, EMP009, EMP010, EMP011, EMP012, EMP013, EMP014, EMP015, EMP016, EMP017, EMP018, EMP019, EMP020, EMP045, EMP046) i 5 de *Tarraco* (TAR001, TAR002, TAR003, TAR011 i TAR012).

La seva matriu de variació composicional (Taula 42, Annex 6) presenta una variació total de 0.349753, sobrepasant lleugerament els límits dels que es considera una mostra monogenètica (Buxeda i Kilikoglou 2003). Tot i així, s'observa que aquest valor elevat ve proporcionat bàsicament pels vectors columna  $\tau_i$  P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,  $\tau_i$  CaO,  $\tau_i$  Pb,  $\tau_i$  Sr i  $\tau_i$  Cu, en els quals la variació total de l'estructura de covariància representa menys del 30% del seu valor  $\tau_i$  per al primer, ( $vt/\tau_i < 0.3$ ), menys del 40% del seu valor  $\tau_i$  per al segon, ( $vt/\tau_i < 0.4$ ), menys del 10% del seu valor  $\tau_i$  per al tercer, ( $vt/\tau_i < 0.1$ ), i menys del 60% per al quart i el cinquè ( $vt/\tau_i < 0.6$ ). La resta de valors es presenten baixos i la variació total representa, en tots ells, més del 50% de l'estructura de covariància i en la majoria més del 70%, el que mostra una gran homogeneïtat del grup. Si repetim la matriu de variació composicional sense tenir en compte aquests components, la variació total és ara de 0.086187 (Taula 43, Annex 6) i un cop corregida per minimitzar l'efecte d'haver eliminat cinc dels components de la matriu (Buxeda i Kilikoglou 2003), la variació total és de 0.108857, que es pot considerar molt baixa i corresponent a una mostra monogenètica. Utilitzarem la transformació en logaritmes centrats per a la realització de l'AA utilitzant la distància euclidiana al quadrat i el procés aglomeratiu del centroide sobre la subcomposició: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (com a Fe total), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, TiO<sub>2</sub>, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr. És a dir, sense considerar els components P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO, Pb, Sr ni Cu.

Així, a la Figura 92 s'observa com l'última fusió es produeix a una distància ultramètrica de poc més de 0.25. Això és degut bàsicament a 3 Ic, ja que el gruix de les mostres es fusiona a menys de 0.15. Aquestes mostres són les BDT123, BDT135 i EMP014 les quals ja han estat comentades durant el tractament estadístic. Així doncs els 94 I<sub>c</sub> estudiats poden considerar-se com a pertanyents a una única agrupació, que en aquest cas és compatible amb el taller d'Arezzo. Es tractaria d'una producció calcària i les seves característiques químiques més destacades són els seus valors alts en MnO, MgO, Na<sub>2</sub>O i Ni (Taula 44, Annex 6).

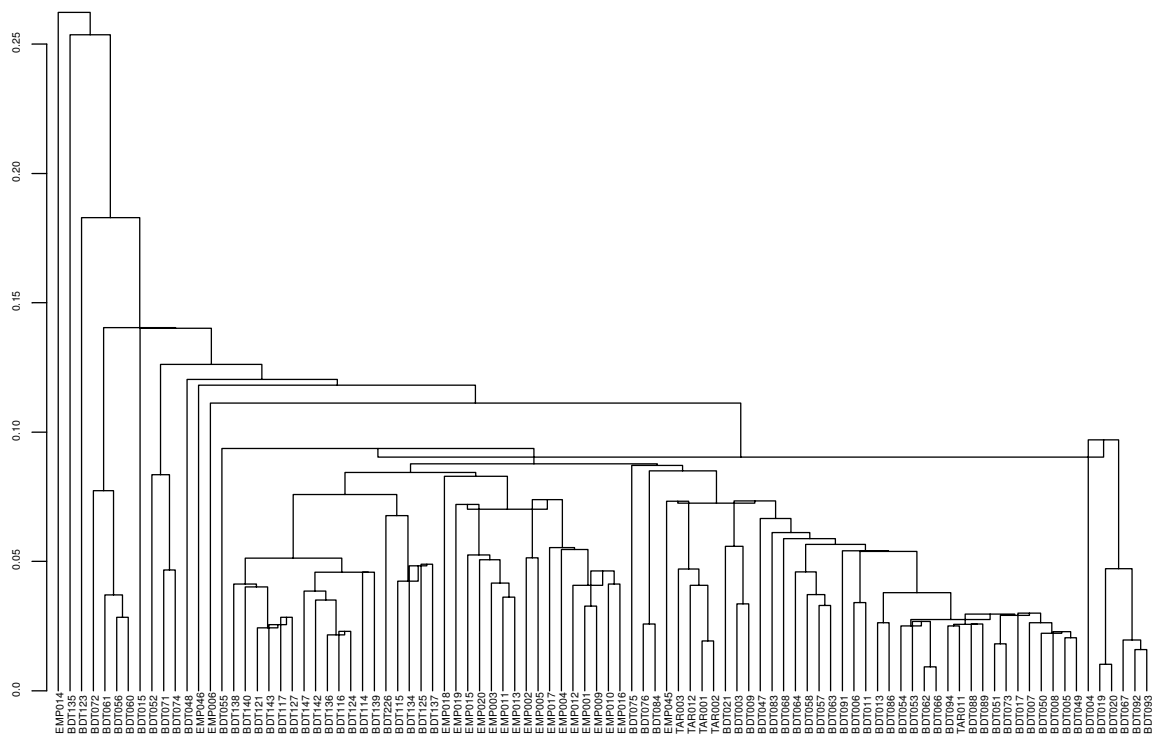


Figura 92. Dendrograma resultant de l'anàlisi d'agrupament utilitzant la distància euclidiana al quadrat i el procés aglomeratiu del centroide sobre la subcomposició Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (com a Fe total), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, TiO<sub>2</sub>, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Ce, Ga, V, Ni i Cr transformada en logaritmes de raons centrats.

### 6.3.2.2 Característiques tecnològiques

L'estudi dels difractogrames dels 94 Ic que hem considerat com a grup homogeni associat amb el taller d'Arezzo ens han permès diferenciar diverses fàbriques d'acord amb les fases minerals identificades.

La primera fàbrica està formada per un sol Ic, BDT048. El seu difractograma (Figura 93, dalt) mostra el quarz com a fase principal. S'observen pics destacats de feldspats alcalins i els tres pics més importants de fil·losilicats d'illita-muscovita. Hi ha calcita, piroxens i una mica de gehlenita. L'hematites també és present amb un pic petit. La plagiòclasi és gairebé inapreciable. Cal destacar un pic a 7.5Å (11.78°2θ) que no hem pogut identificar.

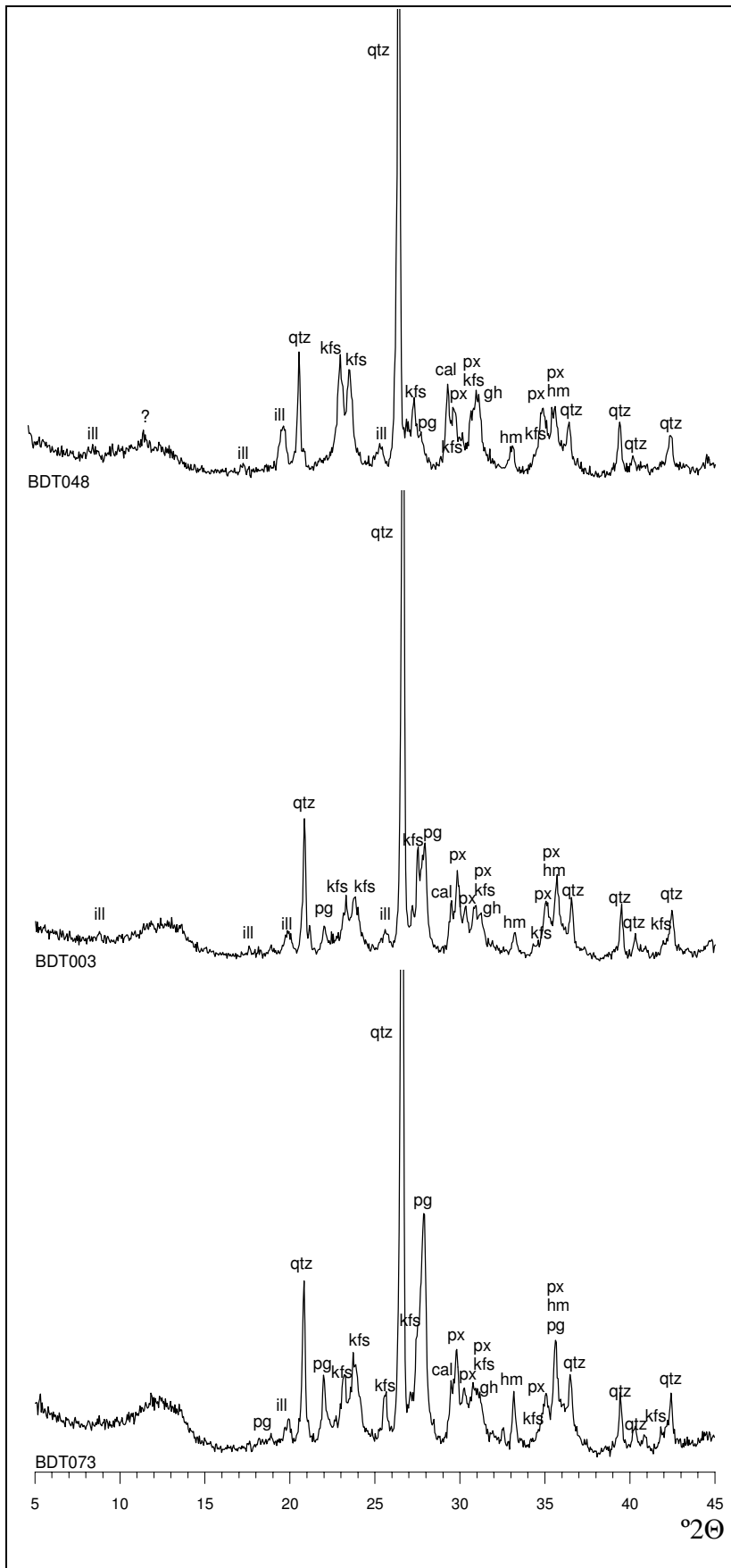


Figura 93. Arezzo. Dalt: diffractograma de l'Ic BDT048 corresponent a la Fàbrica 1. Mig: diffractograma de l'Ic BDT003 corresponent a la Fàbrica 2. Baix: diffractograma de l'Ic BDT073 corresponent a la Fàbrica 3. ill: illita-muscovita, qtz: quars; pg: plagiòclasi, cal: calcita, kfs: feldspat alcalí, px: piroxè, hm: hematites, gh: gehlenita

La segona fàbrica està formada per 26 Ic (BDT003, BDT004, BDT007, BDT013, BDT050, BDT052, BDT056, BDT057, BDT060, BDT061, BDT071, BDT072, BDT074, BDT076, BDT084, BDT086, BDT091, BDT094, BDT127, BDT137, EMP004, EMP010, EMP012, EMP013, EMP014 i EMP015). Respecte a la fàbrica anterior, s'observen pics més petits de calcita i gehlenita, aquesta última és dubtosa en l'Ic BDT050. La plagiòclasi és ara clara. No s'observa el pic de 7.5 Å (Figura 93, mig).

La tercera fàbrica està formada per 13 Ic (BDT006, BDT015, BDT017, BDT058, BDT062, BDT068, BDT073, BDT139, EMP001, EMP006, EMP009, EMP016 i EMP020). Els seus difractogrames mostren, respecte a la fàbrica anterior, una reducció dels pics de fil·losilicats d'illita-muscovita, dels quals ja no s'observen els de 10 i 4.5 Å, conservant-se només el de 5 Å. S'observa un augment de la plagiòclasi i de l'hematites (Figura 93, baix).

La quarta fàbrica està formada per 9 Ic (BDT117, BDT121, BDT134, BDT135 BDT138, EMP003, EMP018, EMP045 i EMP046). En els difractogrames corresponents a aquests individus ja no s'observen pics de fil·losilicats d'illita-muscovita. Augmenta la plagiòclasi i els piroxens. En la majoria de mostres que formen aquest grup, la gehlenita ha desaparegut o com s'observa en la Figura 93 (Continuació, dalt) es redueix considerablement. Les mostres BDT138 i EMP046 no presenten calcita.

L'última fàbrica, la més nombrosa, està formada per 45 Ic (BDT005, BDT008, BDT009, BDT011, BDT019, BDT020, BDT021, BDT047, BDT049, BDT051, BDT053, BDT054, BDT055, BDT063, BDT064, BDT066, BDT067, BDT075, BDT083, BDT088, BDT089, BDT092, BDT093, BDT114, BDT115, BDT116, BDT123, BDT124, BDT125, BDT136, BDT140, BDT142, BDT143, BDT147, BDT226, EMP002, EMP005, EMP011, EMP017, EMP019, TAR001, TAR002, TAR003, TAR011 i TAR012). La principal diferència respecte a la fàbrica anterior és un augment de la plagiòclasi i dels piroxens a l'hora que ja no s'observa la presència de gehlenita (Figura 93, continuació, baix).

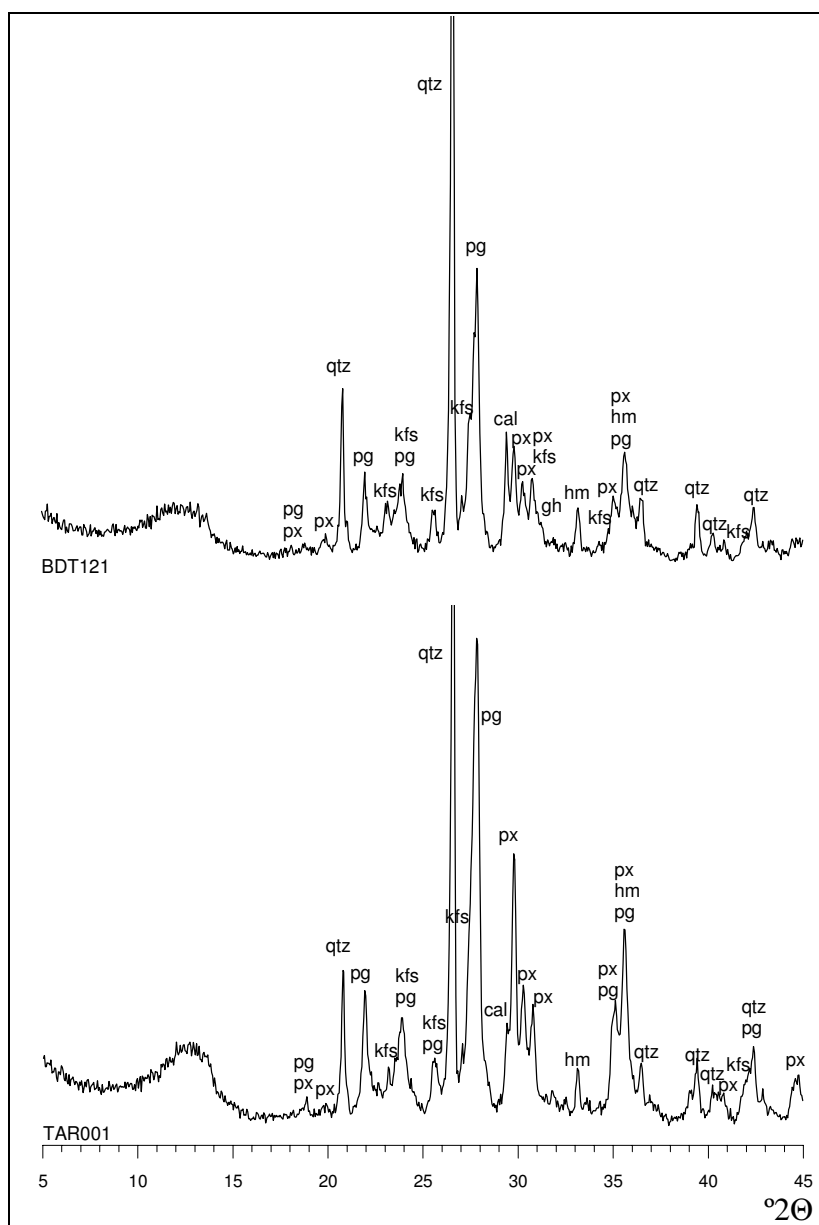


Figura 93 (Continuació). Arezzo. Dalt: difractograma de l'Ic BDT121 corresponent a la Fàbrica 4. Baix: difractograma de l'Ic TAR001 corresponent a la Fàbrica 5. px: piroxè, pg: plagiòclasi, qtz: quars, kfs: feldspat alcalí, cal: calcita, hm: hematites, gh: gehlenita

Resumint, en les dues primeres fàbriques, la presència de fil·losilcats, que encara mostren els seus tres pics principals, ens permeten estimar una TCE en el rang de 850-950°C. Per a la tercera fàbrica, en la qual ja només s'observa el pic de 5 Å, la TCE podria estimar-se al voltant dels 950-1000°C. Mentre que per les dues últimes fàbriques, on els fil·losilcats han desaparegut totalment, la TCE podria estimar-se en el rang 1000-1050°C per a la Fàbrica 4 i superior als 1050°C per a la Fàbrica 5.

A partir dels resultats obtinguts de la caracterització mineralògica, es van realitzar observacions sobre fractura fresca per MER de l'Ic BDT048, corresponent a la Fàbrica 1, l'Ic BDT068, corresponent a la Fàbrica 3, i de l'Ic EMP019, corresponent a la

Fàbrica 5, per estudiar-ne la microestructura i l'estadi de sinterització, cosa que també ens permetria corroborar la TCE estimada a partir de la DRX.

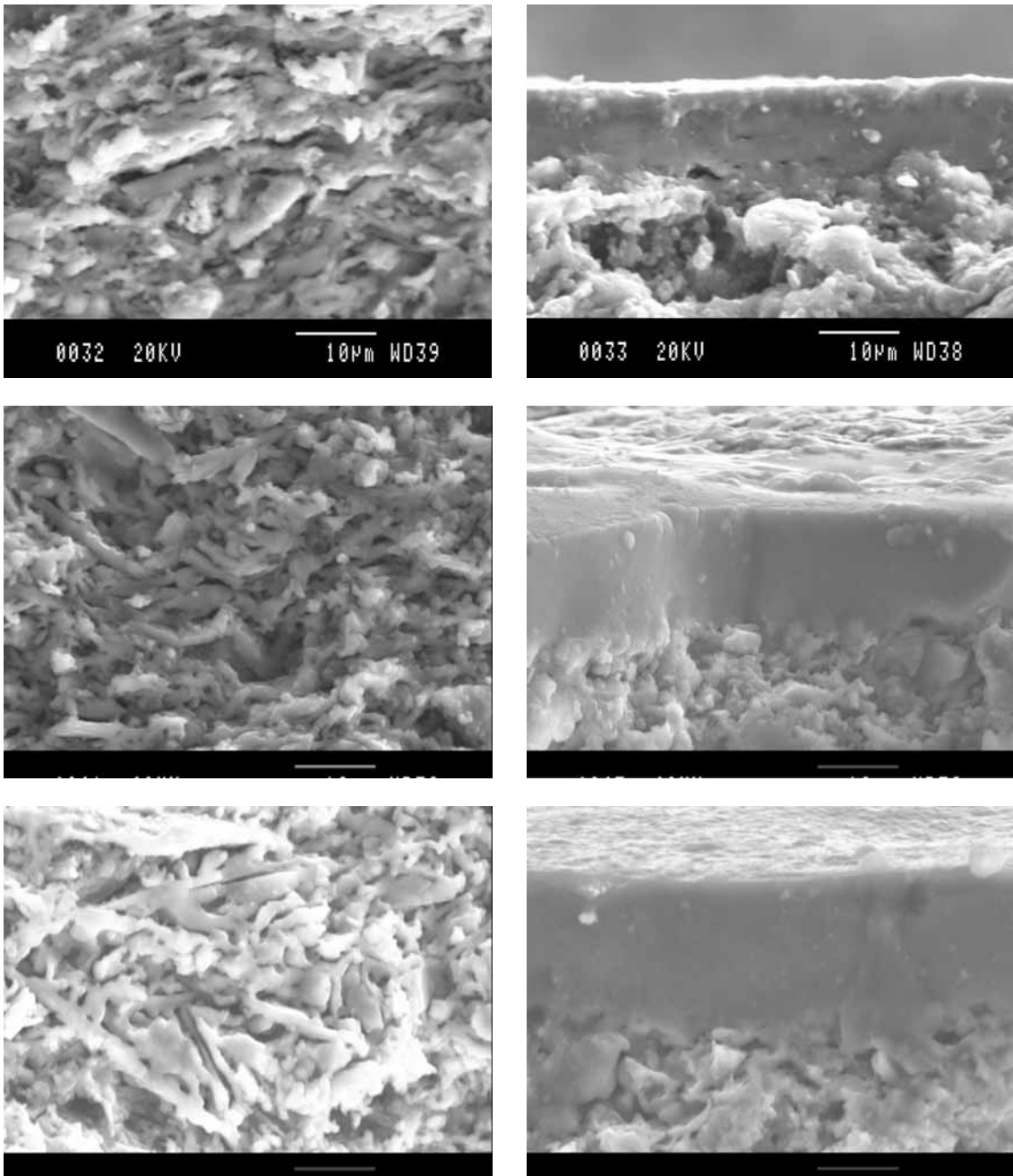


Figura 94. Arezzo. Microfotografies de MER a 2000X. Mida de les imatges: 60x45 µm. Dalt, esquerra: matriu de l'Ic BDT048, de la Fàbrica 1, mostrant un estadi de vitrificació inicial/continuada. Dalt, dreta: vernís de l'Ic BDT048, mostrant un estadi de vitrificació inicial/continuada. Mig esquerra: matriu de l'Ic BDT068 de la Fàbrica 3, mostrant un estadi de vitrificació continuada. Mig, dreta: vernís de l'Ic BDT068 mostrant un estadi de vitrificació total. Baix, esquerra: matriu de l'Ic EMP019 de la Fàbrica 5 mostrant un estadi de vitrificació continuada avançada. Baix, dreta: vernís de l'Ic EMP019 mostrant un estadi de vitrificació total

A la Figura 94 es poden veure els resultats de l'estudi per MER. Així, la matriu de l'Ic BDT048 corresponent a la Fàbrica 1 (Figura 94, dalt, esquerra) presenta un



aspecte laminar clar, amb algunes zones que ja mostren superfícies suaus degut a la fusió de les làmines d'argila, trobant-se, per tant, en un estadi de vitrificació inicial/continuada. Aquestes observacions concorden amb la TCE estimada per DRX per als individus d'aquesta fàbrica que situàvem en el rang 850-950°C (Maniatis i Tite 1978/79). Quant al vernís d'aquest individu (Figura 94, dalt, dreta), té un gruix d'uns 10 µm i mostra una superfície en general llisa en la qual s'observen, de manera aïllada, algunes petites inclusions que encara no s'han acabat de fondre i també alguns porcs allargats que indiquen que el procés de fusió de les làmines que formen el vernís encara no ha finalitzat del tot. Malgrat això, es pot considerar que el vernís es troba en un estadi de vitrificació continuada, essent ja pràcticament impermeable i la seva adherència a la matriu és bona. Pel que fa a l'Ic BDT068 corresponent a la Fàbrica 3, la seva matriu (Figura 94, mig, esquerra) presenta, respecte a la Fàbrica 1, un augment de superfícies suaus amb nombrosos colls de fusió entre les làmines d'argila, característiques que ens indiquen que es troba en un estadi de vitrificació continuada que estaria d'acord amb la TCE estimada per DRX per als individus d'aquesta Fàbrica situada al voltant de 950-1000°C. El vernís d'aquest individu (Figura 94, mig, dreta) té un gruix d'uns 15 µm i presenta una bona adherència a la matriu, mostrant una superfície uniforme i suau, sense porositat, que es correspon amb un estadi de vitrificació total. Per acabar, a la matriu de l'Ic EMP019 (Figura 94, baix, esquerra), corresponent a la Fàbrica 5, s'observa un augment del gruix de les superfícies suaus respecte a la fàbrica anterior, indicant la fusió en aquestes àrees de nombroses làmines d'argila. Això correspondria a un estadi de vitrificació continuada avançada que es correspon amb un rang de temperatura entre 1050-1150°C i que corrobora la TCE estimada per DRX. El vernís (Figura 94, baix, dreta), per la seva banda, té un gruix d'uns 20 µm i mostra una bona adherència a la matriu. Presenta un estadi de vitrificació total amb inicis de fusió amb la matriu degut, probablement, a l'alta temperatura assolida durant la cocció i a la menor mida de gra dels minerals que el composarien en origen.

Els test de resistència a la ruptura que es va realitzar amb els maons elaborats a partir dels Ic BDT006, corresponent a la Fàbrica 3, i BDT066, corresponent a la Fàbrica 5 (Figura 95). El primer mostra una resistència mitjana de 15.823 MPa, mentre que el segon mostra una resistència mitjana de 26.223 MPa. En el punt on es produí el trencament es va observar una petita esquerda en un dels maonets corresponent a l'individu BDT006, motiu pel qual aquest maó es va trencar abans que l'altre elaborat a

partir del mateix individu. També es va observar una petita esquerda en el maó de l'individu BDT066, però la fractura va ser quasi recta. En aquest cas, les diferències observades en la resistència a la ruptura dels Ic estudiats coincideixen amb la TCE estimada, és a dir una resistència més baixa per l'Ic de la Fàbrica 3, per a la qual hem avaluat una TCE al voltant de 950-1000°C, a partir de l'estudi per DRX i de les observacions fetes per MER, i una resistència més alta per l'Ic de la Fàbrica 5, per a la qual la TCE se situa al voltant dels 1050°C i que, d'acord les observacions realitzades per MER, mostra una matriu més compacta. Tot i aquestes diferències, es pot considerar que totes dues fàbriques són de bona qualitat, mostren una matriu compacta que proporciona una bona resistència a la ruptura i presenten un vernís vitrificat que impermeabilitzaria la peça de manera adequada. El cas de la Fàbrica 1, que presenta una baixa TCE s'hauria de considerar com a poc freqüent, donat que només es troba representada per un sol individu (BDT048) dels 94 que componen aquesta agrupació. Tot i així, un punt important a destacar d'aquest estudi tecnològic és la variació de TCE que presenta la producció d'Arezzo, i que, exceptuant la Fàbrica 1, encara s'identifiquen 4 fàbriques que correspondrien a TCE diferents. Aquestes diferències no comporten, en cap cas, ceràmica de baixa qualitat, atès que la Fàbrica 1 és el que podríem considerar com a més baixa qualitat de la producció, i ja hem vist que es correspondria amb una ceràmica de qualitat acceptable. És interessant observar, com veurem més endavant, que aquesta variació en la temperatura assolida durant la cocció, es dona per aquelles tipologies més antigues i per a les arcaïques, mentre que tots els individus corresponents a les considerades produccions clàssiques i coetanàies, s'inclouen, sense excepció, en la Fàbrica 5, és a dir, aquella en què la TCE s'estima  $\geq 1050^{\circ}\text{C}$ . És a dir, que aquestes diferències podrien estar relacionades amb una evolució i millor domini de la tecnologia per part dels ceramistes d'Arezzo a partir dels últims anys del segle I a.e., els quals, malgrat produir des dels inicis *sigillata* que es pot considerar de bona qualitat, tindrien, al principi, un control menys precís de la temperatura de cocció.

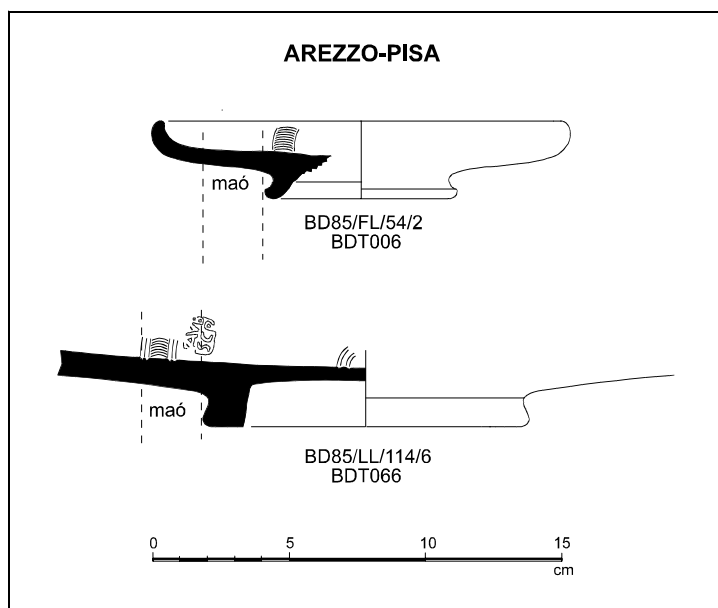


Figura 95. Arezzo. Ic BDT006 i BDT066 indicant la zona d'on s'han fet els maó per a la realització del test de resistència a la ruptura

### 6.3.2.3 Contrast dels resultats procedents de la caracterització arqueomètrica amb els de la classificació macroscòpica prèvia

Tots els Ic procedents de *Baetulo*, que formen part d'aquesta agrupació, havien estat classificats, prèviament a la seva caracterització arqueomètrica, com a *sigillata* itàlica excepte els Ic BDT114 i BDT147 que s'havien classificat com a *sigillata* sud-gàl·lica. En el cas dels Ic procedents d'*Emporiae* i *Tarraco*, que formen part d'aquesta agrupació, tots ells havien estat classificats com a *sigillata* itàlica. Volem destacar el fet que els dos individus que es van confondre amb *sigillata* sud-gàl·lica es corresponen amb la Fàbrica 5, és a dir aquella per a la qual hem avaluat una TCE més elevada situant-se al voltant dels 1050°C. Un to més fosc dels individus conjuntament amb el fet que cap d'ells presenti tipologia identificable pot, com és evident, portar a confusions de classificació.

A nivell macroscòpic a ull nu (Figura 96), tots els individus mostren un aspecte similar no observant-se diferències a causa de la variació en la TCE esmentada. Així, la pasta presenta generalment un color beig, i, en algun cas, salmó molt clar. El vernís per la seva banda té un color vermell-marró, característic de les produccions de *sigillata* itàlica clàssica que pot variar lleugerament, presentant tonalitats més clares, que li donen un aspecte més ataronjat, o més fosques, amb el que pren un to més marró. Aquestes petites variacions de tonalitat podrien estar relacionades amb el gruix del vernís, el qual d'acord amb les observacions fetes per MER pot ser d'uns 10, 15 o 20

µm. Cal insistir en la bona qualitat de la vaixel·la i del vernís que presenta, generalment, un estat de conservació molt bó. Aquest fet concorda novament amb les observacions fetes per MER, on aquest presentava una bona adherència a la matriu i un estat de vitrificació òptims que proporcionaria una impermeabilització total de les peces. Aquestes característiques i una TCE per a la majoria de les fàbriques  $\geq 950^{\circ}\text{C}$ , ens permet inferir l'ús d'una tecnologia que implica l'utilització de forns de radiació i, per tant, un procés de cocció tipus C (oxidant-oxidant).



Figura 96. Arezzo. Dalt, esquerra: aspecte de l'Ic EMP010, corresponent a la Fàbrica 2, dalt, dreta: aspecte de l'Ic EMP006 corresponent a la Fàbrica 3, baix, esquerra: aspecte de l'Ic EMP018 corresponent a la Fàbrica 4, baix, dreta: aspecte de l'Ic BDT226 corresponent a la Fàbrica 5

#### 6.3.2.4 Estudi macroscòpic per lupa binocular

Finalment, el seu estudi per lupa binocular mostra una matriu llisa i compacta sense inclusions que concorda amb les observacions fetes per MER on s'observava una matriu homogènia amb un bon estat de vitrificació de les seves làmines d'argiles i que no presentava inclusions. Només de manera aïllada s'observa, per binocular, la presència d'algunes inclusions que podrien ser miques, en les mostres que componen les tres primeres fàbriques, és a dir aquelles que hem determinat com de més baixa

temperatura. El color de la matriu varia lleugerament del beig torrat per a les tres primeres fàbriques, beig clar per als individus de la Fàbrica 4 i salmó per a la Fàbrica 5.

### 6.3.3 Pisa

#### 6.3.3.1 Característiques químiques

D'acord amb l'anàlisi discriminant anterior considerem doncs que Pisa podria estar format per 7 Ic, (BDT014, BDT023, BDT105, BDT151, EMP007, TAR005 i TAR006). La seva matriu de variació composicional (Taula 45, Annex 6) presenta una variació total de 0.280286, valor que se situa en els límits dels que es considera una mostra monogenètica (Buxeda i Kilikoglou 2003). Aquest valor ve proporcionat, en gran part, per els vectors columna  $\tau_{i P_2O_5}$  i  $\tau_{i Pb}$ , per als quals la variació total de l'estructura de covariància representa menys del 10% del seu valor  $\tau_{.i}$  per al primer ( $vt/\tau_{.i} < 0.1$ ) i menys del 50% per al segon ( $vt/\tau_{.i} < 0.5$ ). Si repetim la matriu de variació composicional sense tenir en compte aquests dos components la variació total és ara de 0.132307 (Taula 46, Annex 6) i un cop corregida per minimitzar l'efecte d'haver eliminat cinc dels components de la matriu (Buxeda i Kilikoglou 2003), la variació total és de 0.144334, que es pot considerar baixa i dins dels límits corresponents a una mostra monogenètica. Com en el cas anterior, utilitzarem la transformació en logaritmes centrats per a la realització de l'AA utilitzant la distància euclidiana al quadrat i el procés aglomeratiu del centroid sobre la subcomposició:  $Fe_2O_3$  (com a Fe total),  $Al_2O_3$ , MnO,  $TiO_2$ , MgO,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $SiO_2$ , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr. És a dir, sense considerar els components  $P_2O_5$ , Pb, CaO, Sr i Cu, que són els que poden presentar variabilitat degut a contaminacions.

Així, a la Figura 97, s'observa com les mostres es divideixen clarament en dos grups. Un, format per els Ic TAR005 i TAR006, que s'uneixen a una distància ultramètrica ínfima, mostrant la seva homogeneïtat, i les mostres considerades com a grup de Pisa que s'uneixen a poc més de 0.15. El grup de l'esquerra s'acaba fusionant amb el grup de Pisa a una distància a 0.25. Considerant, doncs, els resultats observats en la matriu de variació composicional i els reflectits en l'AA, tot recordant que les distàncies d'aquests individus amb el grup de Pisa en l'anàlisi discriminant eren ja relativament altes (25.8 l'Ic TAR005 i 33.5 l'Ic TAR006), no es poden considerar com a pertanyents a la mateixa producció que els Ic del grup de la dreta. Podria tractar-se d'individus provinents d'un taller de Pisa diferent, donat que en aquest jaciment s'han localitzat tres tallers productors de *sigillata* amb composicions molt similars. Malgrat tot, no comptem amb

les dades i l'únic que es pot dir és que mostren una composició propera al grup que hem definit com a Pisa i de moment, s'han de considerar com a no classificades.

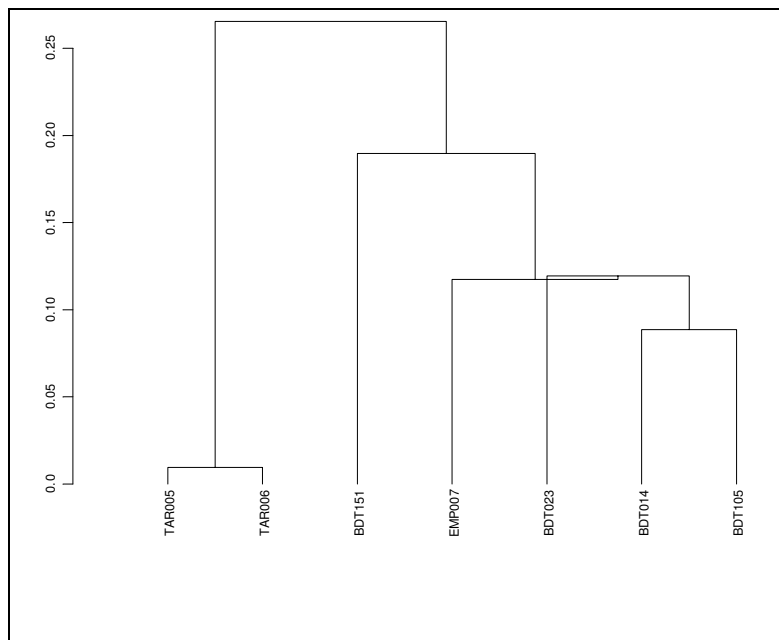


Figura 97. Dendrograma resultant de l'anàlisi d'agrupament utilitzant la distància euclidiana al quadrat i el procés aglomeratiu del centroide sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (com a Fe total),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , MnO,  $\text{TiO}_2$ , MgO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, transformada en logaritmes de raons centrats

Considerant, doncs, com a grup de Pisa només els Ic BDT014, BDT023, BDT105, BDT151 i EMP007, s'observa que la seva matriu de variació composicional mostra una variabilitat total de 0.127963, ja d'entrada molt baixa i dins dels límits del que es considera una mostra monogenètica (Taula 47, Annex 6). Tot i així, sense considerar el  $\text{P}_2\text{O}_5$  i el Pb, per als quals la variació total de l'estructura de covariància representa menys del 20% del seu valor  $\tau_i$ ; per al primer ( $vt/\tau_i < 0.2$ ) i menys del 60% per al segon ( $vt/\tau_i < 0.6$ ) la variabilitat total és ara de 0.099645 (Taula 48, Annex 6) i un cop corregida per minimitzar l'efecte d'haver eliminat cinc dels components de la matriu (Buxeda i Kilikoglou 2003), la variació total és de 0.108685. Realitzem de nou una AA utilitzant la distància euclidiana al quadrat i el procés aglomeratiu del centroide sobre la subcomposició:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (com a Fe total),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , MnO,  $\text{TiO}_2$ , MgO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Ce, Ga, V, Zn, Cu, Ni i Cr transformats en logaritmes de raons centrats. És a dir, sense considerar els components  $\text{P}_2\text{O}_5$ , CaO, Pb i Sr.

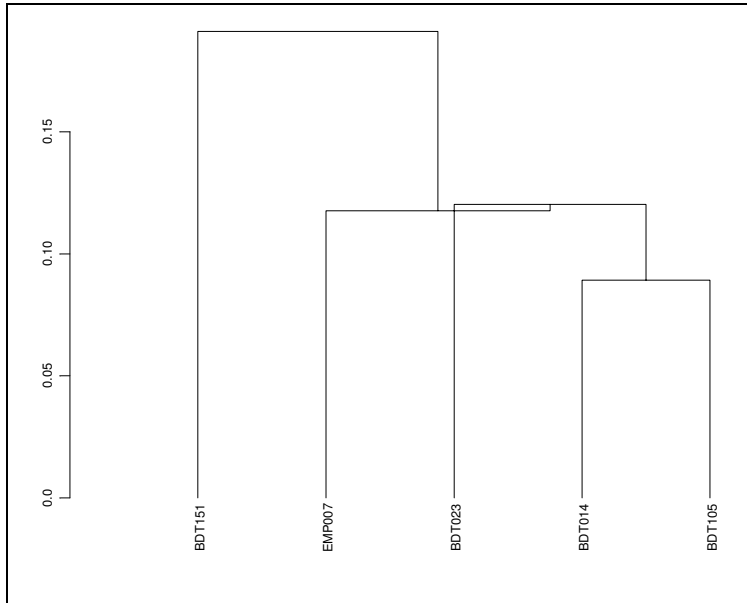


Figura 98. Dendrograma resultant de l'anàlisi d'agrupament utilitzant la distància euclidiana al quadrat i el procés aglomeratiu del centroide sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (com a Fe total),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , MnO,  $\text{TiO}_2$ , MgO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Ce, Ga, V, Zn, Cu, Ni i Cr. transformat en logaritmes de raons centrats

En la Figura 98 es pot veure ara com tots els Ic es fusionen a una distància ultramètrica de poc més de 0.10 excepte l'Ic BDT151, que ja hem comentat anteriorment, i que es fusiona a més de 0.15. Aquesta diferència respecte als altres Ic ve proporcionada, principalment, pel seu més alt valor en Ba, element que presenta una variabilitat alta també entre la resta d'individus d'aquesta agrupació. Si repetim el dendrograma sense considerar, doncs, aquest element, s'observa a la Figura 99 com tots els Ic es fusionen a una distància ultramètrica de 0.14. Considerem doncs que aquests 5 Ic són, amb les dades que disposem actualment, els únics que poden ser considerats del grup de Pisa. Es tractaria d'una producció calcària i les seves característiques químiques més destacades són els seus valors alts en MnO, MgO,  $\text{Na}_2\text{O}$  i Ni (Taula 49, Annex 6).

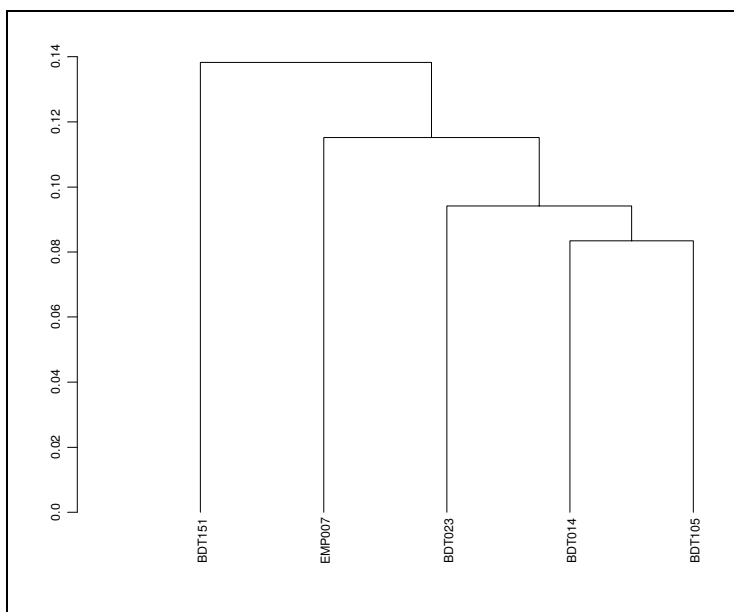


Figura 99. Dendrograma resultant de l'anàlisi d'agrupament utilitzant la distància euclidiana al quadrat i el procés aglomeratiu del centroide sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (com a Fe total),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , MnO,  $\text{TiO}_2$ , MgO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Rb, Nb, Zr, Y, Ce, Ga, V, Zn, Cu, Ni i Cr. transformat en logaritmes de raons centrats

### 6.3.3.2 *Característiques tecnològiques*

L'estudi dels difractogrames dels 5 Ic que formen aquesta agrupació mostren una gran similitud. Tot i així, hem diferenciat tres fàbriques malgrat que les diferències són mínimes.

La Fàbrica 1 estaria formada per un sol individu, BDT014. El seu difractograma (Figura 100, dalt) presenta el quarz com a fase principal. També presenten pics destacats la plagiòclasi els feldspats alcalins i els piroxens. S'observen dos dels tres pics principals dels fil·losilicats d'illita-muscovita. L'hematites és clara i podria tenir una mica de gehlenita. La calcita presenta un pic poc destacat.

La Fàbrica 2 estaria formada per 2 Ic (BDT023 i EMP007). S'observa (Figura 100, mig), respecte a l'anterior, la desaparició del pic de 10 Å dels fil·losilicats d'illita-muscovita. No s'observa la presència de calcita i continua essent dubtosa la presència de gehlenita.

La Fàbrica 3 estaria formada per els altres 2 Ic que formen aquesta agrupació (BDT105 i BDT151). Els fil·losilicats d'illita-muscovita han desaparegut totalment, i hi són absents la gehlenita i la calcita. Per contra, s'observa un augment clar de la plagiòclasi i els piroxens. L'hematites també sembla augmentar lleugerament (Figura 100, baix).



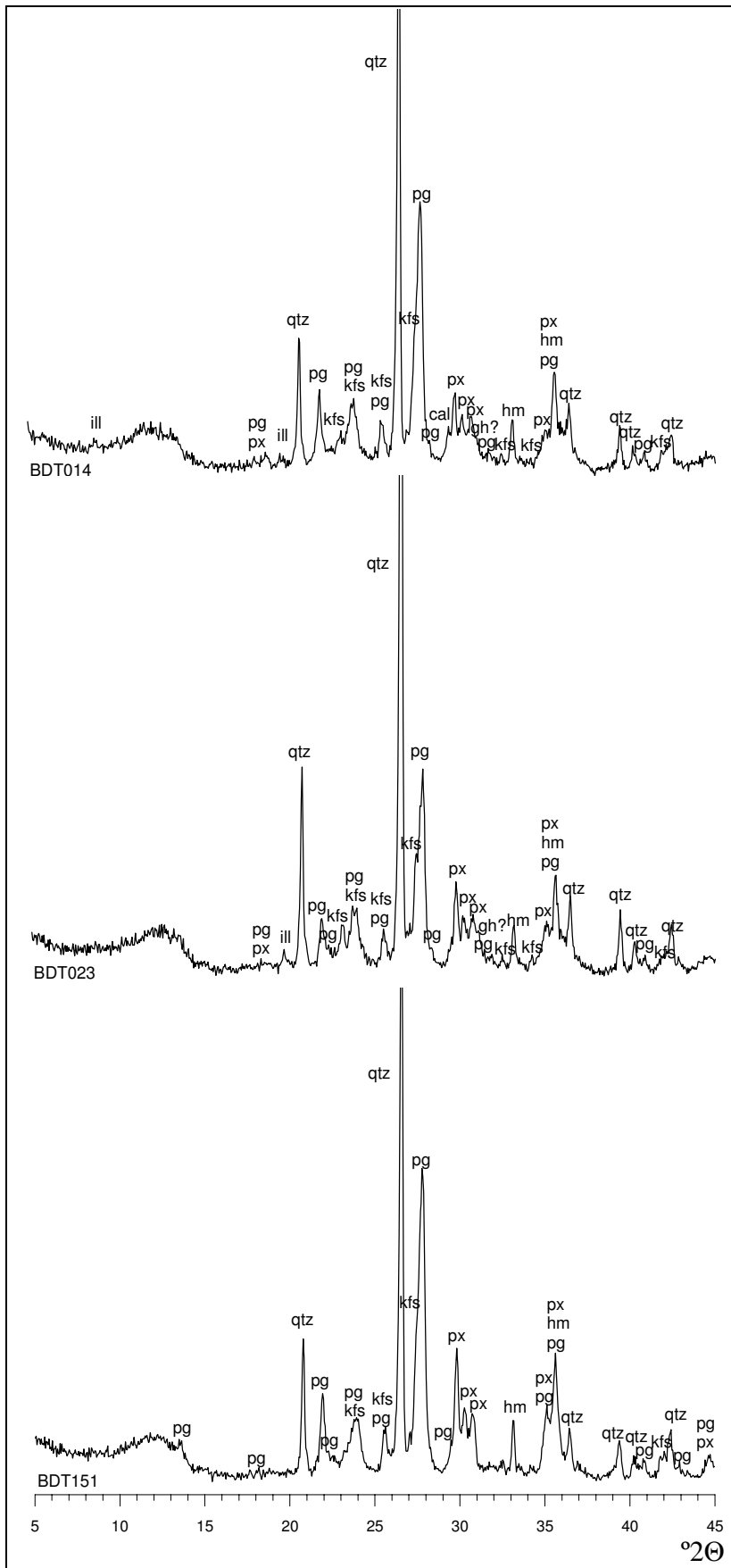


Figura 100. Pisa. Dalt: difractograma de l'Ic BDT014 corresponent a la Fàbrica 1. Mig: difractograma de l'Ic BDT023 corresponent a la Fàbrica 2. Baix: difractograma de l'Ic BDT151 corresponent a la Fàbrica 3. ill: illita-muscovita, qtz: quars; pg: plagiòclasi, kfs: feldspat alcalí, px: piroxè, hm: hematites, gh: gehlenita

D'acord amb aquestes observacions, la presència del pic de 10 Å de fil·losilicats d'illita muscovita en la Fàbrica 1, podria indicar una TCE en el rang de 850-950/1000°C. Mentre que la desaparició d'aquest pic en la Fàbrica 2 ens situa ja al voltant dels 950/1000°C. Per a la tercera fàbrica, en la que han desaparegut completament els fil·losilicats, la TCE es podria estimar ja per sobre dels 1000°C.

A partir d'aquests resultats es van realitzar observacions sobre fractura fresca per MER de l'Ic BDT023, corresponent a la Fàbrica 2, i de l'Ic BDT105, corresponent a la Fàbrica 3, per estudiar-ne la microestructura i l'estadi de sinterització. Així, la matriu de l'Ic BDT023 de la Fàbrica 2 (Figura 101, dalt, esquerra) presenta un aspecte laminar clar on s'observen àrees amb superfícies suaus que indiquen la fusió de les làmines d'argila que la componen. Algunes d'aquestes zones són més àmplies assenyalant la fusió de un nombre elevat d'aquestes làmines. Aquestes característiques ens indiquen que la matriu es correspon amb un estadi de vitrificació continuada (Maniatis i Tite 1978/79), el que ens corrobora la TCE estimada per DRX que situàvem a l'entorn dels 950-1000°C. El vernís (Figura 101, dalt, dreta) per la seva banda, té un gruix d'uns 10 µm i presenta un estat de vitrificació total, esent, per tant, impermeable. Pel que fa a l'Ic BDT105 corresponent a la Fàbrica 3, la seva matriu (Figura 101, baix, esquerra) mostra nombroses superfícies suaus àmplies indicant un estadi de vitrificació continuada avançada, que es correspon amb una TCE  $\geq 1050^\circ\text{C}$  (Maniatis i Tite 1978/79), fet que ens permet perfilar la TCE que havíem estimat  $>1000^\circ\text{C}$  d'acord amb l'estudi mineralògic per DRX i situar-la, per tant, en el rang 1050-1150°C. El vernís (Figura 101, baix, dreta) en aquest cas, té un gruix d'uns 20 µm i presenta un estadi de vitrificació total amb inici de fusió amb la matriu degut a la alta temperatura assolida durant el procés de cocció i a la menor mida de gra dels minerals que el composarien en origen.

Malgrat que per aquest cas no disposem de resultats del test de resistència a la ruptura, la matriu, compacta i sense inclusions, presenta per MER unes característiques similars a les observades per als individus de les fàbriques 3 i 5 d'Arezzo, que es corresponen amb els mateixos estadis de vitrificació i TCE. Això podria indicar unes propietats comunes que caldrà confirmar en el futur. Pel que fa al vernís, Pisa també presenta diferents gruixos, entre 10 i 20 µm, com hem vist a través de les observacions per MER i una adherència a la matriu i vitrificació òptima. Es tracta d'un vernís de bona qualitat, molt similar al d'Arezzo.

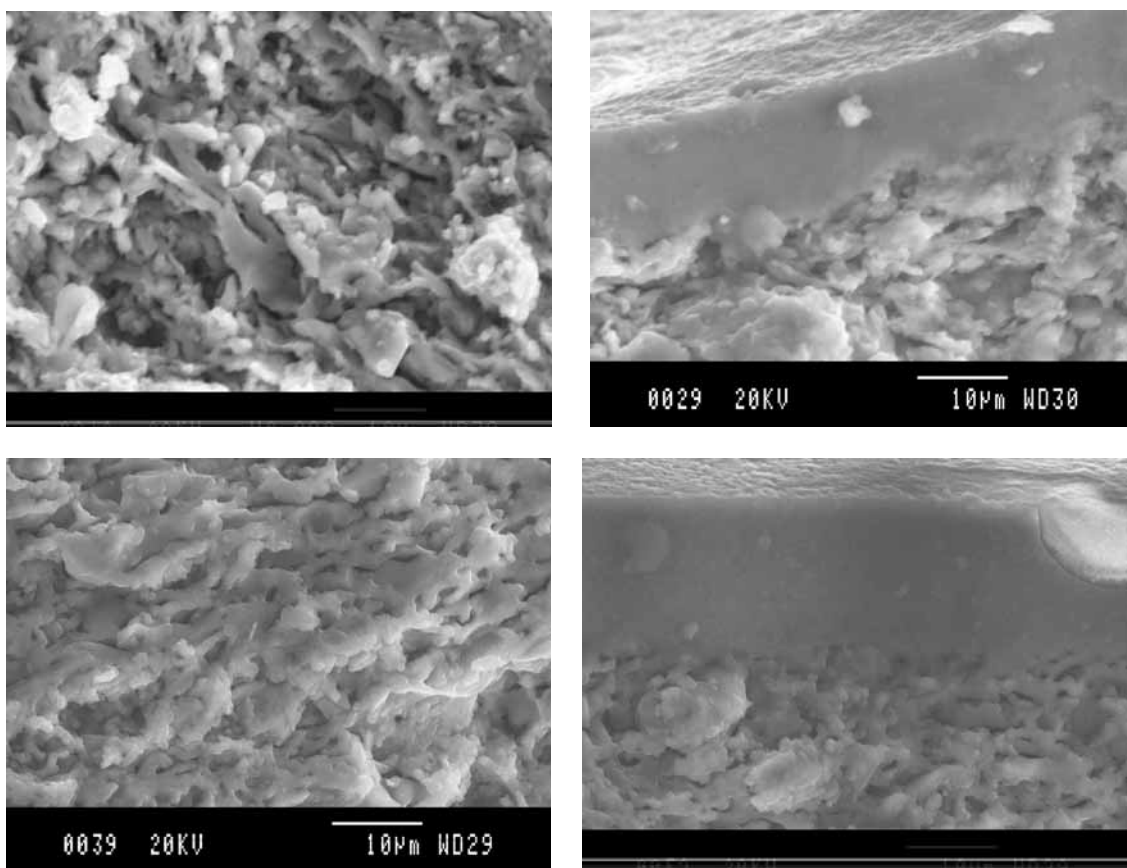


Figura 101. Pisa. Microfotografies de MER a 2000X. Mida de les imatges: 60x45 µm. Dalt, esquerra: matriu de l'Ic BDT023 de la Fàbrica 2, mostrant un estadi de vitrificació continuada. Dalt, dreta: vernís de l'Ic BDT023, mostrant un estadi de vitrificació total. Baix, esquerra: matriu de l'Ic BDT105 de la Fàbrica 3, mostrant un estadi de vitrificació continuada avançada. Mig, dreta: vernís de l'Ic BDT105 mostrant un estadi de vitrificació total

### 6.3.3.3 Contrast dels resultats procedents de la caracterització arqueomètrica amb els de la classificació macroscòpica prèvia

Dels Ic pertanyents a aquesta agrupació que procedeixen de *Baetulo*, 3 (BDT014, BDT023 i BDT123) s'havien classificat, prèviament a la seva caracterització arqueomètrica, com a *sigillata* itàlica, mentre que 2 (BDT105 i BDT151) havien estat classificats com a *sigillata* sud-gal·lica. Pel que fa a l'únic Ic que forma part d'aquesta agrupació procedent d'*Emporiae*, aquest havia estat classificat com a *sigillata* itàlica. És interessant destacar, que també en aquest cas, els dos individus mal classificats es corresponen amb  $TCE \geq 1050^{\circ}\text{C}$  i amb individus sense tipologies identificables.



Figura 102. Pisa. Esquerra: aspecte de l'Ic BDT014, corresponent a la Fàbrica 1, mig: aspecte de l'Ic EMP007, corresponent a la Fàbrica 2, dreta: aspecte de l'Ic BDT105, corresponent a la Fàbrica 3.

A nivell macroscòpic a ull nu (Figura 102), els individus de les tres fàbriques presenten un aspecte molt similar, amb una pasta beig, de vegades beig-torrat i un vernís vermell-marró, característic de les produccions de *sigillata* itàlica clàssiques, que algunes vegades pren una tonalitat més clara i ataronjada i d'altres lleugerament més fosca, tendint a marró. En aquest cas, aquells que presenten un tó més clar i ataronjat són els que es corresponen amb la fàbrica 2, essent per tant, els que estan cuits a més baixa temperatura (BDT014, BDT023 i EMP007). A més, en el cas de l'Ic BDT023 estaria relacionat amb el gruix del seu vernís, que com hem vist a través de les observacions per MER es troba al voltant dels 10  $\mu\text{m}$ . De la mateixa manera, els dos individus amb vernís més fosc són els que formen la Fàbrica 3 (BDT105 i BDT155), que es troben cuits a una temperatura més elevada. A més, també en aquest cas, el color més fosc del vernís de l'Ic BDT105 podria estar relacionat amb un gruix de 20  $\mu\text{m}$ , que és el doble que l'individu BDT023 d'acord amb les observacions fetes per MER. En definitiva, aquestes característiques i una TCE al voltant dels 950/1000°C o superior, ens permet inferir l'ús d'una tecnologia que implica l'utilització de forns de radiació i, per tant, un procés de cocció tipus C (oxidant-oxidant).

#### 6.3.3.4 *Estudi macroscòpic per lupa binocular*

Finalment, el seu estudi per lupa binocular mostra, per a tots els individus, una matriu compacta de color beig torrat amb molts punts blancs. No s'observen inclusions, només algunes, de manera aïllada, que podrien correspondre a miques. Aquestes observacions coincideixen amb les realitzades per MER que permetien contemplar una matriu força compacta i sense inclusions.

### 6.3.4 *terra sigillata* itàlica de l'àrea del Laci/Campània (possible Puzzoli)

La presència a *Baetulo* d'Ic relacionats amb el possible taller de Puzzoli era altament probable, donat que s'han documentat diverses marques de ceramistes relacionats, arqueològicament, amb aquesta producció (Tarrats 1975, Madrid 1997, 1999a, 1999b). Tot i així i degut a les dificultats ja explicades en el capítol 5.2.3 per a considerar Puzzoli com a veritable centre productor, utilitzarem la denominació d'àrea del Laci-Campània per a la *sigillata* d'aquesta zona.

#### 6.3.4.1 *Característiques químiques*

Es correspon a l'URCP LC i està formada per 13 individus, 10 de *Baetulo* (BDT010, BDT046, BDT065, BDT090, BDT118, BDT120, BDT144, BDT145, BDT146 i BDT156), 2 de *Tarraco* (TAR007 i TAR009) i 1 d'*Emporiae* (EMP038). Aquesta URCP ha estat associada amb la *sigillata* del que Picon anomena zona del Laci-Campània, relacionada amb el que tradicionalment coneixem com a Puzzoli, a partir d'un treball d'associació de patrons entre els nostres resultats i els resultats dels GR de *terra sigillata* existents en el banc de dades del Laboratoire de Céramologie de Lió i en el banc de dades del nostre equip, l'ERAUB.

La seva matriu de variació composicional (Taula 50, Annex 6) presenta una variació total de 0.206723, valor que concorda perfectament amb el que es considera una mostra monogenètica (Buxeda i Kilikoglou 2003). La majoria dels valors per a tots els vectors columnes  $\tau_i$  és baix, revelant una gran homogeneïtat de la mostra. Tot i així, s'observen alguns valors alts, proporcionats bàsicament pels vectors columna  $\tau_i$   $P_{2O5}$ ,  $\tau_i$   $P_b$  i  $\tau_i$   $Cu$ , en els quals la variació total de l'estructura de covariància representa menys del 20% del seu valor  $\tau_i$  ( $vt/\tau_i < 0.2$ ) per al primer, i menys del 40% del seu valor  $\tau_i$  ( $vt/\tau_i < 0.4$ ) per als altres dos. Si repetim la matriu de variació composicional sense tenir en compte aquests tres components (Taula 51, Annex 6) la variació baixa fins a 0.092056 i un cop corregida per minimitzar l'efecte d'haver eliminat tres dels components de la matriu (Buxeda i Kilikoglou 2003), la variació total és de 0.105206, que es pot considerar molt baixa i corresponent a una mostra monogenètica. El valor més baix de les columnes  $\tau_i$  en ambdues matrius es correspon amb el  $x_{Nb}$ , representant la variació total més del 90% de l'estructura de covariància ( $vt/\tau_i > 0.9$ ) en la primera matriu i més del 80% del seu valor ( $vt/\tau_i > 0.8$ ) en la segona matriu. Així doncs, considerem el Nb com l'element més adequat per a utilitzar-lo com a divisor en la

transformació a logaritmes de raons per a la realització de l'anàlisi d'agrupament (AA), utilitzant la distància euclidiana al quadrat i el procés aglomeratiu del centroide sobre la subcomposició Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (com a Fe total), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, TiO<sub>2</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, Ba, Rb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, és a dir, sense considerar els components P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Pb i Cu.

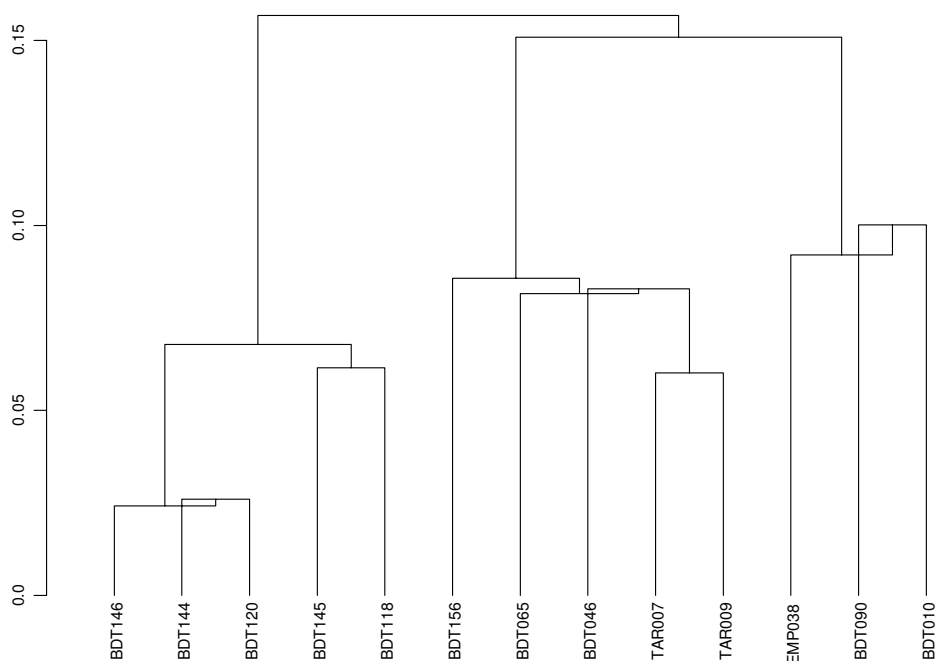


Figura 103. Dendrograma resultant de l'anàlisi d'agrupament utilitzant la distància euclidiana al quadrat i el procés aglomeratiu del centroide sobre la subcomposició Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (com a Fe total), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, TiO<sub>2</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, Ba, Rb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr transformada en logaritmes de raons utilitzant el Nb com a divisor

El resultat es pot veure a la Figura 103, en la que es pot apreciar com l'última fusió es produeix a una distància ultramètrica clarament curta, aproximadament 0.15. Podem, doncs, considerar que tots els Ic que hem englobat dins aquesta agrupació hi pertanyen realment i per tant formen part de la mateixa producció. Així doncs, podem dir que aquesta agrupació que hem associat amb la *terra sigillata* de la zona del Laci-Campània, possible taller de Puzzoli, és una producció calcària i la seva principal característica són els seus valors alts en MnO, Na<sub>2</sub>O i Ni (Taula 52, Annex 6).

#### 6.3.4.2 Característiques tecnològiques

Els difractograms dels individus corresponents a aquesta producció són força similars en la majoria de fases minerals identificades presents en tots ells. Tot i així,

hem diferenciat dues fàbriques d'acord amb la possible evolució de les fases minerals observades.

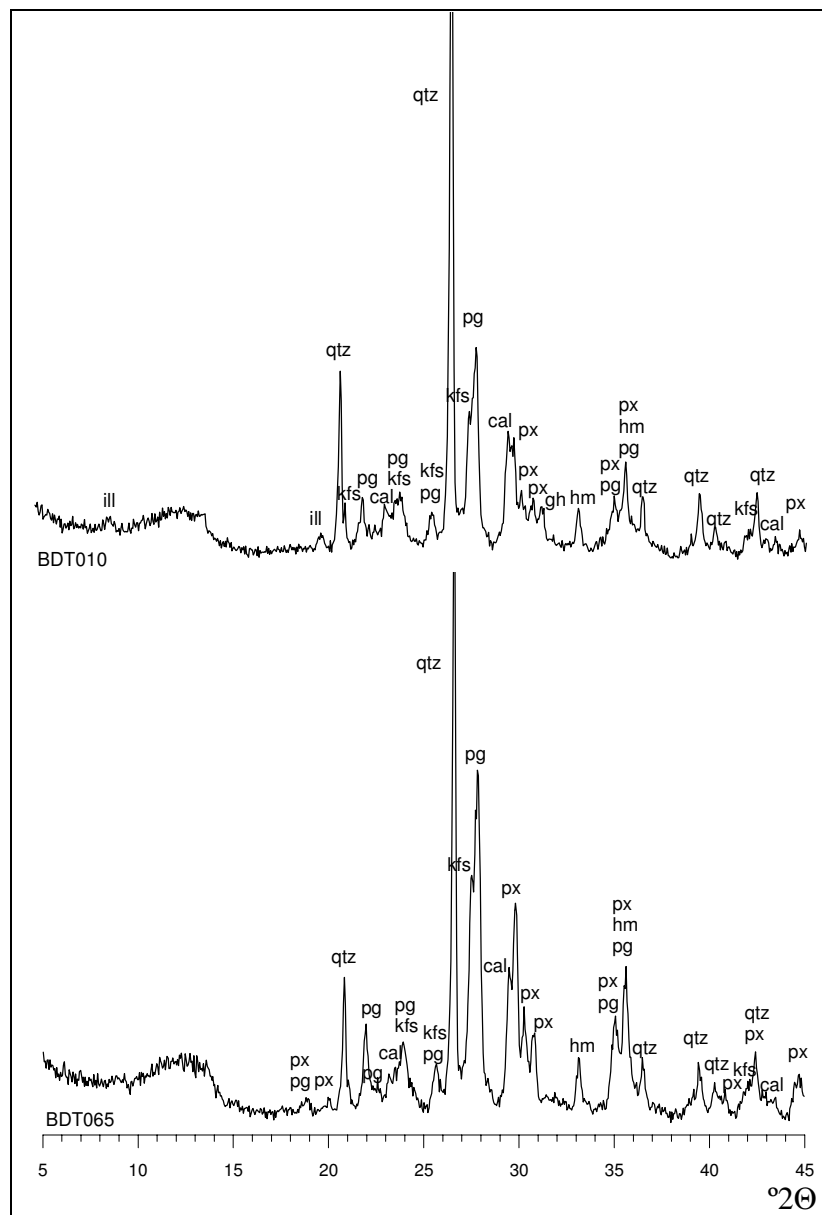


Figura 104. Dalt: difractograma de l'Ic BDT010 corresponent a la Fàbrica 1. Baix difractograma de l'Ic BDT065 corresponent a la Fàbrica 2. ill: illita-muscovita, qtz: quars; pg: plagiòclasi, cal: calcita, kfs: feldspat alcalí, px: piroxè, hm: hematites, gh: gehlenita

La primera fàbrica està formada per dos Ic, BDT010 i EMP038, que presenten com a fase principal el quars. Són presents dos dels pics més importants dels fil·losilicats d'illita-muscovita. S'observa també la presència de plagiòclasi, piroxens, un pic no molt destacat de gehlenita i hematites (Figura 104, dalt).

La segona fàbrica està formada pels 11 Ic restants (BDT046, BDT065, BDT090, BDT118, BDT120, BDT144, BDT145, BDT146, BDT156, TAR007 i TAR009). S'observa, respecte

a la fàbrica anterior, la desaparició dels fil·losilicats i de la gehlenita. Per contra, hi ha un augment de la plagiòclasi i dels piroxens (Figura 104, baix).

Així, la presència de fil·losilicats en la primera fàbrica ens permetria estimar una TCE en el rang de 850-950°C per als individus que la componen. La desaparició d'aquests en la segona fàbrica ens indicaria una TCE superior que es podria estimar ja per sobre dels 950/1000°C.

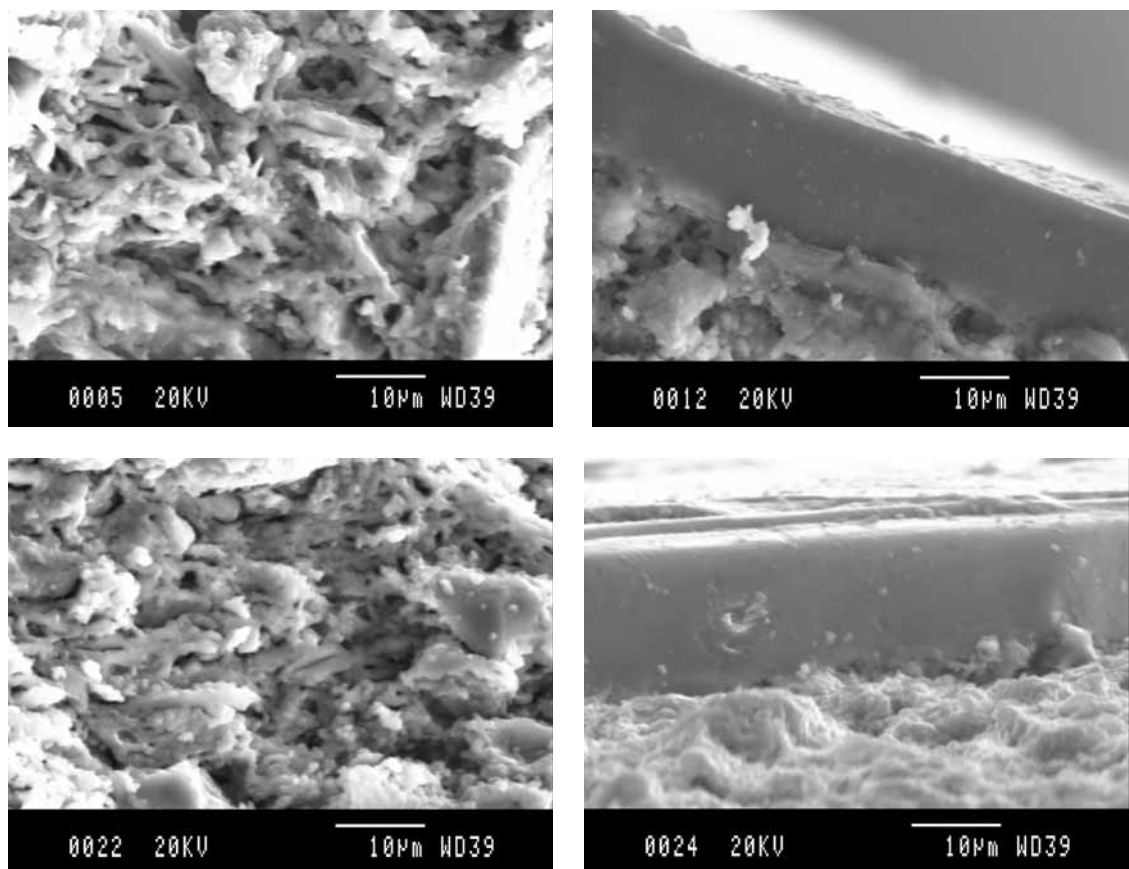


Figura 105. URCP LC. Microfotografies per MER. 2000X. Dalt, esquerra: matriu de l'Ic BDT010, de la Fàbrica 1, mostrant un estadi de vitrificació inicial/continuada. Dalt, dreta: vernís de l'Ic BDT010 mostrant un estadi de vitrificació total. Baix, esquerra: matriu de l'Ic BDT065, de la Fàbrica 2, mostrant un estadi de vitrificació continuada. Baix, dreta: vernís de l'Ic BDT065, mostrant un estadi de vitrificació total

A partir dels resultats obtinguts de la caracterització mineralògica, es van realitzar observacions sobre fractura fresca per MER de l'Ic BDT010, corresponent a la Fàbrica 1, i de l'Ic BDT065, corresponent a la Fàbrica 2, per estudiar-ne la microestructura i l'estadi de sinterització. Com es pot observar a la Figura 105, la matriu de l'Ic BDT010 presenta un aspecte laminar amb algunes zones suaus, no gaire àmplies que ens indiquen un estadi de vitrificació inicial/continuada (Maniatis i Tite 1978/79) que es correspondria amb la TCE estimada per DRX, en el rang de 850-950°C.



El seu vernís (Figura 105, dalt, dreta) té un gruix d'uns 10 µm i mostra una adherència a la matriu regular, exhibint zones de separació. D'altra banda, el seu estadi de vitrificació és total, comportant la impermeabilització de la peça. Pel que fa a l'Ic BDT065, la seva matriu (Figura 105, baix, esquerra) presenta una major fusió de les làmines d'argila amb més zones suaus i més àmplies, el que indica un estadi de vitrificació continuada (Maniatis i Tite 1979/78) que estaria d'acord amb la TCE estimada per DRX,  $\geq 950/1000^{\circ}\text{C}$ . El vernís (Figura 105, baix, dreta) per la seva banda, té un gruix d'un 10 µm i també presenta una adherència a la matriu regular, amb zones que mostren una línia de separació entre ambdues fases. El seu estadi és de vitrificació total, essent per tant impermeable.

El test de resistència a la ruptura que es va realitzar amb tres maons elaborats a partir de l'individu BDT065 de la Fàbrica 2 (Figura 106) mostra una resistència mitjana de 19.088 MPa (Taula 17, Annex 6). En el punt on es produí el trencament es va observar una petita esquerda en un dels maonets en la superfície en tensió i el recorregut de la fractura no va ser recte. Pels altres dos maons, no es van observar defectes i el recorregut de la seva fractura va ser recte. En aquest cas, el fet d'una resistència alta a la fractura coincideix amb una TCE alta, i coincidiria amb les observacions de la matriu fetes per MER on aquesta es mostra força compacta. Es tractaria doncs d'una vaixela de bona qualitat, amb una bona resistència i amb un vernís prim, ben vitrificat, que pot presentar problemes de desprendiments.

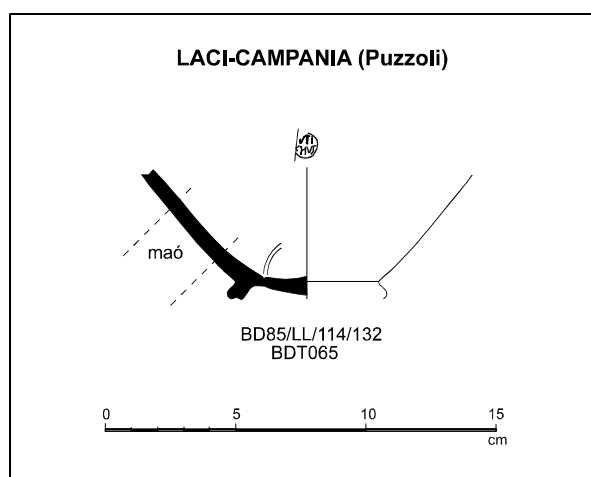


Figura 106. I<sub>C</sub> BDT065 indicant la zona d'on s'han fet els maons per a la realització del test de resistència a la ruptura.

### 6.3.4.3 Contrast dels resultats procedents de la caracterització arqueomètrica amb els de la classificació macroscòpica prèvia

Tots els individus corresponents a aquest grup de *Baetulo* havien estat classificats previament a la seva caracterització arqueomètrica com a *sigillata* itàlica, excepte l'individu BDT156 (Figura 107, mig) que s'havia classificat com a *sigillata* hispànica. En el cas d'*Emporiae*, l'únic individu procedent d'aquest jaciment que forma part d'aquesta producció, EMP038 (Figura 107, esquerra), havia estat classificat com a producció Roig Corall. A *Tarraco* els dos individus que formen part d'aquesta producció havien estat classificats com a *sigillata* itàlica. És interessant destacar el fet que l'Ic BDT156 classificat com a *sigillata* hispànica es correspon amb la Fàbrica 2, és a dir, la de més alta temperatura, mentre que l'Ic EMP038, classificat previament com a producció Roig Corall, es correspon justament amb la Fàbrica 1, és a dir, la que presenta una temperatura de cocció més baixa.

A nivell macroscòpic a ull nú la majoria dels individus presenten un aspecte similar, amb una pasta beig i un vernís vermell-marró típic de les produccions de *sigillata* itàlica clàssica. En el cas però de l'Ic EMP038, de la Fàbrica 1, el vernís presenta un aspecte més clar i és mat. A més, el seu estat de conservació és regular i es conserva parcialment. Aquest fet coincideix amb una adherència regular a la matriu tal i com ha estat observat per MER. En algun cas, com per exemple l'Ic BDT156, de la Fàbrica 2, la pasta tendeix a ser més ataronjada i el vernís lleugerament més vermellós (Figura 107, mig). En general, els individus presenten les característiques pròpies d'una *sigillata* itàlica (Figura 107, dreta). Així doncs ens trobaríem amb una vaixel·la cuita en la majoria de casos observats  $\geq 950/1000^{\circ}\text{C}$ , el que ens permet inferir l'ús d'una tecnologia que implica l'utilització de forns de radiació i, per tant, un procés de cocció tipus C (oxidant-oxidant).



Figura 107. URCP LC. Esquerra: aspecte de l'Ic EMP038 corresponent a la Fàbrica 1. Mig: aspecte de l'Ic BDT156 corresponent a la Fàbrica 2. Dreta: aspecte de l'Ic BDT146 corresponent a la Fàbrica 2

#### 6.3.4.4 *Estudi macroscòpic per lupa binocular*

Finalment, l'estudi amb lupa binocular ha permès observar que aquesta producció es caracteritza per una presència d'inclusions de mida petita ( $\pm 40 \mu\text{m}$ ) arrodonides, la majoria de color negre tot i que també se n'observen algunes de vermelloses. S'observa la presència d'inclusions de possibles miques, algunes molt transparents i d'altres de color marró. De manera aïllada, hi ha inclusions d'uns  $\pm 100 \mu\text{m}$  transparents de color blanc que podrien ser quars. També de manera aïllada, s'observen inclusions vermelloses que podrien ser òxids i que presenten una mida aproximada d'uns  $\pm 100 \mu\text{m}$ . La matriu apareix rugosa i vermella en les mostres per les que hem determinat una temperatura més baixa, poc porosa, amb pors arrodonits molt petits ( $\pm 40 \mu\text{m}$ ) i alguns allargats entre 100 i 150  $\mu\text{m}$ . En alguns d'aquests pors s'hi observen cristal·litzacions blanquinoses. La matriu, per les mostres de la Fàbrica 2, mostra un aspecte més compacte que la primera fàbrica i més blanquinos. Gairebé tots els pors presenten cristal·litzacions blanquinoses a l'interior.

#### 6.3.5 **Individus no classificats**

Comptem finalment amb 12 Ic que no han quedat classificats en cap dels grups definits per la *sigillata* itàlica. D'una banda els Ic BDT016, BDT018, BDT079, BDT119 BDT133, EMP008 i TAR008, els quals, malgrat presentar similituds amb el grup d'Arezzo, no han estat classificats finalment com a tals després del tractament estadístic. D'altra banda els Ic TAR005 i TAR006, els quals mostraven similituds amb el grup d'Arezzo, però sobretot amb el grup que hem definit com a Pisa. Finalment, el tractament estadístic, recomana no incloure'ls en cap dels dos grups. I, finalment, els Ic BDT122, TAR010 i TAR013, els quals no s'han fusionat mai amb cap grup mostrant des d'un bon principi la seva pertinença clara a altres produccions. Tecnològicament parlant, la majoria es poden adscriure a alguna de les fàbriques definides per Arezzo. Així, s'observa que els Ic BDT016 i BDT119 es corresponen amb el que hem definit com a Fàbrica 2, per a la qual hem estimat una TCE en el rang de 850-950/1000°C. Els Ic BDT018, BDT133 i TAR022 es corresponen amb el que hem definit com a Fàbrica 3 per a la qual hem estimat una TCE al voltant de 950/1000°C. Els Ic BDT079, BDT122 i TAR008 es correspondrien amb el que hem definit com a Fàbrica 4, per a la qual hem estimat una TCE al superior a 1000°C. Pel que fa als Ic EMP008 TAR005, TAR006 TAR010 i TAR013, aquests es correspondrien

amb el que hem definit com a Fàbrica 5 i la seva TCE es trobaria al voltant dels 1050°C. El seu aspecte, es pot considerar com a característic de la *sigillata* itàlica, la qual cosa, conjuntament amb les temperatures indicades, suggereixen l'ús d'una tecnologia complexa amb forns de radiació i un procés de cocció tipus C (oxidant-oxidant).

#### **6.4 Síntesi dels resultats de la caracterització arqueomètrica sobre les produccions de *sigillata* itàlica**

En conclusió, el més important a destacar de l'estudi arqueomètric sobre el que hem definit com a *sigillata* itàlica, és la identificació de diverses produccions, a partir d'individus que presenten unes característiques tan similars que fan, en principi, impossible distingir-los a ull nu. A més, la majoria no presenta marques ni tipologia identificable que permetin aproximar-nos als seus centres de provinença a partir de la seva anàlisi arqueològica. En aquest sentit, cal recordar que l'estudi arqueològic només hauria permès relacionar amb els seus centres productors un nombre ínfim d'individus tenint en compte les marques de ceramista, les quals, recordem, només representen entre un 5 i un 8% de tots els individus analitzats. Tot i així, algunes d'aquestes marques són il·legibles i per d'altres es proposen diversos centres de provinença, amb la qual cosa aquest número es veuria encara més reduït. L'estudi tipològic tampoc no permetria una adscripció clara als centres productors, donat que la gran majoria de formes documentades foren produïdes a diversos tallers i només un petit nombre, que es correspondria amb algunes de les tipologies més antigues s'haurien pogut associar, d'acord amb els coneixements que tenim fins ara, a Arezzo. D'altra banda, aquest estudi ha permès també identificar i classificar correctament com a *sigillates* itàliques, individus que a ull nu havien estat classificats dins altres categories, ja que no presentaven les característiques habituals d'una *sigillata* itàlica. Aquest fet, com hem pogut veure al llarg d'aquest capítol, es correspondria a unes característiques diferents assolides durant el procés de cocció, conjuntament amb el fet de no presentar en la majoria dels casos tipologia o forma identificable.

Així, hem identificat 3 URCPs diferenciades formades per més d'un individu, que han pogut ser relacionades amb els seus centres o zones de provinença amb un alt grau de probabilitat, més 12 individus no classificats en cap d'aquestes agrupacions, que formarien cadascun d'ells una URCP diferent i que correspondrien a tallers per als quals no tenim la seva caracterització arqueomètrica, i que fins i tot podrien ser encara desconeguts arqueològicament. Hem demostrat, a més, que a través d'un tractament

estadístic adequat de les dades procedents de l'anàlisi química, és possible diferenciar les produccions d'Arezzo i Pisa, les quals presenten importants solapaments en els seus grups de referència. Hem comprovat, tal i com destaca Picon, que aquestes dues produccions es diferencien, principalment, en els seus continguts en MgO i K<sub>2</sub>O.

Així, hem identificat una primera URCP associada amb la producció de *sigillata* d'Arezzo. Aquesta agrupació, químicament molt homogènia, estaria fabricada a partir d'argiles calcàries (CaO %, 10,88±1.60) i presenta valors alts alts en MnO, MgO, Na<sub>2</sub>O i Ni. L'estudi tecnològic ens indica l'ús de forns de radiació, amb un procés de cocció tipus C (oxidant-oxidant) per a la seva fabricació, a una TCE que, durant una primera etapa de producció pot presentar variacions entre 850-950°C i ≥1050°C, per establir-se a ≥1050°C a partir de finals del segle I a.e. Aquesta producció es caracteritza per presentar una pasta beig o salmó amb una bona resistència a la ruptura i un vernís, generalment vermell-marró, que varia entre els 10 i els 20 µm, amb una bona adherència a la matriu i que es troba sempre ben vitrificat. Es tractaria, doncs, d'una vaixela d'alta qualitat. La matriu, a través de binocular, presenta un color beig o salmó, és llisa, compacta i amb inclusions només de manera aïllada. Es troba documentada de manera majoritària respecte a la resta de produccions de *sigillata* itàlica identificades en aquest estudi, en els tres jaciments estudiats, *Baetulo*, *Emporiae* i *Tarraco*.

Hem identificat una URCP associada amb la producció de *sigillata* de Pisa. Aquesta agrupació, químicament molt homogènia, estaria fabricada a partir d'argiles calcàries (CaO %, 8.63±0.63) i presenta valors alts alts en MnO, MgO, Na<sub>2</sub>O i Ni. L'estudi tecnològic ens indica l'ús de forns de radiació, amb un procés de cocció tipus C (oxidant-oxidant) per a la seva fabricació, a una TCE que, presenta variacions que van dels 850-950°C als ≥1050°C, les quals en aquest cas és difícil assegurar que puguin estar relacionades amb una evolució o millora de la tecnologia per part dels ceramistes, degut al baix nombre d'individus analitzats. Aquesta producció es caracteritza per presentar una pasta beig o beig-torrat i un vernís, generalment vermell-marró, que, com en el cas d'Arezzo, també varia entre els 10 i els 20 µm, amb una bona adherència a la matriu i que es troba sempre ben vitrificat. El resultat seria una vaixela amb una qualitat similar a la d'Arezzo que, a la pràctica, les faria indiferenciables a ull nu. La matriu, a través de binocular, presenta un color beig o beig-torrat, és llisa, compacta, amb puntets blancs i amb inclusions només de manera aïllada. En aquest estudi, només l'hem documentat en els jaciments de *Baetulo* i *Emporiae*, i en tots dos casos el nombre d'individus és escàs

(4 a *Baetulo* i 1 a Empuries). Tot i això, cal recordar que dos individus de *Tarraco* (TAR005 i TAR006) que presenten grans similituds composicionals amb la nostra agrupació i que finalment no han estat adscrits a aquest centre d'acord amb el tractament estadístic realitzat, podrien estar relacionats amb algun dels altres tallers productors de *sigillata* identificats fins ara a Pisa. Malgrat tot, sense més dades, no és possible anar més enllà.

L'última URCP que compta amb més d'un individu, és l'associada amb la zona del Laci-Campània, que podria estar relacionada amb el que es coneix tradicionalment com a Puzzoli. Es tracta també d'una agrupació químicament molt homogènia, fabricada a partir d'argiles calcàries (CaO %,  $13.62 \pm 0.95$ ) amb valors alts en MnO, Na<sub>2</sub>O i Ni. Cal destacar també que presenta, com indica Picon (1995, 2003 i 2004), uns valors més baixos en MgO i MnO, que les produccions del nord d'Etrúria, com Arezzo i Pisa, trets característic de les produccions de la zona del Laci-Campània. Com en els dos casos anteriors, el seu estudi tecnològic ens indica l'ús de forns de radiació, amb un procés de cocció tipus C (oxidant-oxidant) per a la seva fabricació, a una TCE que també presenta variacions. Tot i així, en aquest cas, per a la majoria dels individus estudiats la TCE es situaria  $\geq 950/1000^{\circ}\text{C}$ , i només dos individus (BDT010 i EMP038) mostren una TCE inferior estimada entre  $850-950^{\circ}\text{C}$ . Com veurem més endavant, aquests dos individus es corresponen a les tipologies més antigues que hem documentat entre els individus d'aquesta agrupació, cosa que podria indicar-nos, que també en aquest centre hi ha una evolució i millor domini de la tècnica, tot i que la temperatura, a partir del moment en què hi ha un bon control del procés de cocció, es mantindrà  $\geq 950/1000^{\circ}\text{C}$  però inferior als  $1050^{\circ}\text{C}$  que assoleix Arezzo. Aquesta producció es caracteritza per presentar una pasta generalment beig, amb una bona resistència a la fractura, i un vernís, generalment vermell-marró, que en aquest cas té uns  $10\ \mu\text{m}$ , amb una adherència a la matriu mitjana, que es troba sempre ben vitrificat. La matriu, a través de binocular, presenta un color rosat, és compacta, amb inclusions majoritàriament petites i fosques i de manera aïllada, algunes mitjanes. S'ha identificat la presència d'aquesta producció en els tres jaciments estudiats, *Baetulo*, *Emporiae* i *Tarraco*, tot i que en el cas d'*Emporiae* cal destacar que només s'ha documentat un individu (EMP038), corresponent, com veurem més endavant, a una tipologia antiga, el qual no presentava l'aspecte característic d'una *sigillata* itàlica, per la qual cosa havia estat classificat com a Roig Corall.