

**FOCOLARI, FORNI E FORNACI TRA NEOLITICO ED ETÀ DEL FERRO**  
**COMPRENDERE LE ATTIVITÀ DOMESTICHE E ARTIGIANALI ATTRAVERSO LO STUDIO DELLE INSTALLAZIONI**  
**PIROTECNOLOGICHE E DEI RESIDUI DI COMBUSTIONE.**  
**IIPP INCONTRI ANNUALI DI PREISTORIA E PROTOSTORIA 6**  
**DIPARTIMENTO DI STORIA CULTURE CIVILTÀ, UNIVERSITÀ DI BOLOGNA, 29 MARZO 2019**

**STUDIO TERMICO DI UN FORNO PROTOSTORICO: TRA TEORIA E PRATICA**

**Jean Coulon<sup>1</sup> Claude Fontaine<sup>2</sup>, Dominique Proust<sup>2</sup>**

**PAROLE CHIAVE:** tecnologia ceramica, archeometria, età dei metalli, forni da vasaio, fornaci, forno di Sévrier

**KEYWORDS:** ceramic technology; archeometry; metal ages; ovens; kilns, Sevrier kiln.

**SOMMARIO**

Sull'isola sommersa del Crêt de Chatillon nel Lago di Annecy, in un sito palafitticolo dell'età del Bronzo, sono stati scoperti dei frammenti di un forno di terracotta. Aimé Bocquet, padre dell'archeologia subacquea francese, lo restaurò nel 1974. Questa struttura dal piano forato, che all'epoca non trovava confronti con alcun ritrovamento già effettuato fu logicamente interpretata come un forno da vasaio. Mezzo secolo dopo, molte scoperte simili non hanno comunque posto fine al dibattito sulla funzione di questi dispositivi. Grazie all'archeometria e in particolare all'analisi termica, cerchiamo evidenze che possano confermare o smentire alcune ipotesi funzionali avanzate in letteratura.

**ABSTRACT**

On the sunken island of Crêt de Chatillon (Annecy Lake), in a Final Bronze Age pile-dwelling site, were discovered fragments of a terracotta kiln. Aimé Bocquet, father of the French underwater archaeology restored it in 1974. This perforated floor structure, without equivalent at the time was logically interpreted as a potter's kiln. Half a century later, many similar discoveries did not put an end to the debate about the function of these devices. Will it be possible to promote or rule out certain functional hypotheses by means of archeometry and in particular through a thermal study ?

**1. INTRODUZIONE**

Negli anni '70 del secolo scorso, numerosi resti di forni, interpretati come forni da vasaio sono stati portati alla luce in Francia. Il più emblematico è il forno cosiddetto « da vasaio » di Sévrier scoperto in una zona rialzata del fondale del lago di Annecy in Alta Savoia, Francia (BOCQUET, COUREN 1974). Considerato come uno tra i più antichi forni da vasaio dell'Europa Occidentale, è diventato col passare degli anni, un'evidenza conosciuta a livello internazionale (Figg.1-3; Tab.I).

Cinquant'anni dopo, rimane un simbolo, tra gli altri, all'interno della grande famiglia delle strutture per la cottura che sono diffusissime in Europa nel corso dell'età dei metalli (Figg. 4-5). Le caratteristiche principali di tali dispositivi sono l'aver una struttura modulare e portatile, realizzata modellando a mano l'argilla, dalla pianta circolare e di dimensioni sufficientemente ridotte per essere trasportabili (a differenza dei forni da vasaio più massicci e inamovibili) e l'essere dotati di un piano forato che separa due spazi ben distinti: la camera di cottura e la camera di combustione. Questi fragili dispositivi di argilla, di cui rimane solo la parte superiore, non trovano confronti nelle tipologie esistenti per i forni da vasaio (CUOMO DI CAPRIO 1972, DELCROIX, HUOT 1972; DUFAY 1996; DUHAMEL 1973; HANSEN STREILLY 2000; HASAKI 2002; MAJIDZADEH 1975) che sono basate sulle parti infossate della struttura.

Ciò incoraggiava l'elaborazione di una tipologia specifica per i forni modulari. Questa si scontra con diversi ostacoli, tra cui la mancanza di standardizzazione inerente alla manifattura, lo stato lacunoso delle strutture, le proposte di ricostruzione o di rimontaggio, che in particolare, per quanto riguarda gli scavi antichi, a volte sono ipotetici o influenzati dai modelli più famosi. La natura modulare di questi dispositivi oscura ulteriormente l'approccio tipologico e può lasciare domande senza risposta. Un singolo componente scoperto su un sito corrisponde a un tipo particolare o ad un altro tipo di cui è solo un elemento parziale? La natura mobile favorisce la dispersione spaziale dei componenti tra deposito protetto e spazio aperto dedicato al loro utilizzo. Due studi propongono una

<sup>1</sup> Archeologo, Laboratoire d'archéologie préhistorique et anthropologie - Genève: Jean.Coulon@unige.ch

<sup>2</sup> Equipe HydrASA de l'Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de l'Université de Poitiers, claude.fontaine@univ-poitiers.fr

rappresentazione tipologica schematica, elencando i resti meglio conservati e disegnando i contorni geografici e cronologici della diffusione di alcuni modelli (COULON 2012, PEINETTI 2014).



Fig.1. Isola di Crêt de Châtillon, Lago di Annecy, Alta Savoia, Francia.  
*Islet of Crêt de Châtillon, Lake Annecy, Haute-Savoie, France.*



Fig.2. Forno di Sevrier. Immagini del forno e presentazione attuale al Conservatoire des lacs. Tour de la Reine. Musée Château Annecy. Credito fotografico Musée Château Annecy. *Sevrier kiln. Conservatoire des lacs. Tour de la Reine. Musée Chateau d'Annecy. Photo credit Musée Chateau Annecy.*

Sole / Piano forato / Perforated floor	Dimensions en mm
Nombre de perforations : 54	
Diamètre perforations	30 / 35
Epaisseur	35 / 45
Diamètre externe	665 / 713
Base	
Epaisseur	30 / 40
Hauteur	203 / 213
Diamètres externes haut et bas	637/ 659
Cheminée / Caminetto / Chimney	
Diamètre haut (externe)	144
Diamètre bas (externe)	181
Hauteur	71
Epaisseur	20 / 25
Couvercle / Copperchio / Lid	
Epaisseur	30 / 40
Hauteur	230 / 258
Diamètre haut	473
Diamètre bas	659
Hauteur totale externe: base + couvercle	633

Tabella 1. Forno di Sévrier. Caratteristiche dimensionali. *Sevrier kiln. Measurements*



Fig.3. Ricostruzione scenografica dei forni di Sévrier sull'isola di Crêt de Châtillon. Museo cantonale di archeologia e storia. Losanna, Musei cantonali, Sion e Museo di arte e storia di Ginevra. Disegno: André Houot, colorazione: Jocelyne Charrance. *Reconstitution of scenes from prehistory: firing potteries in the Sévrier kiln on the Crêt de Châtillon. Drawing: André Houot, coloring: Jocelyne Charrance.*

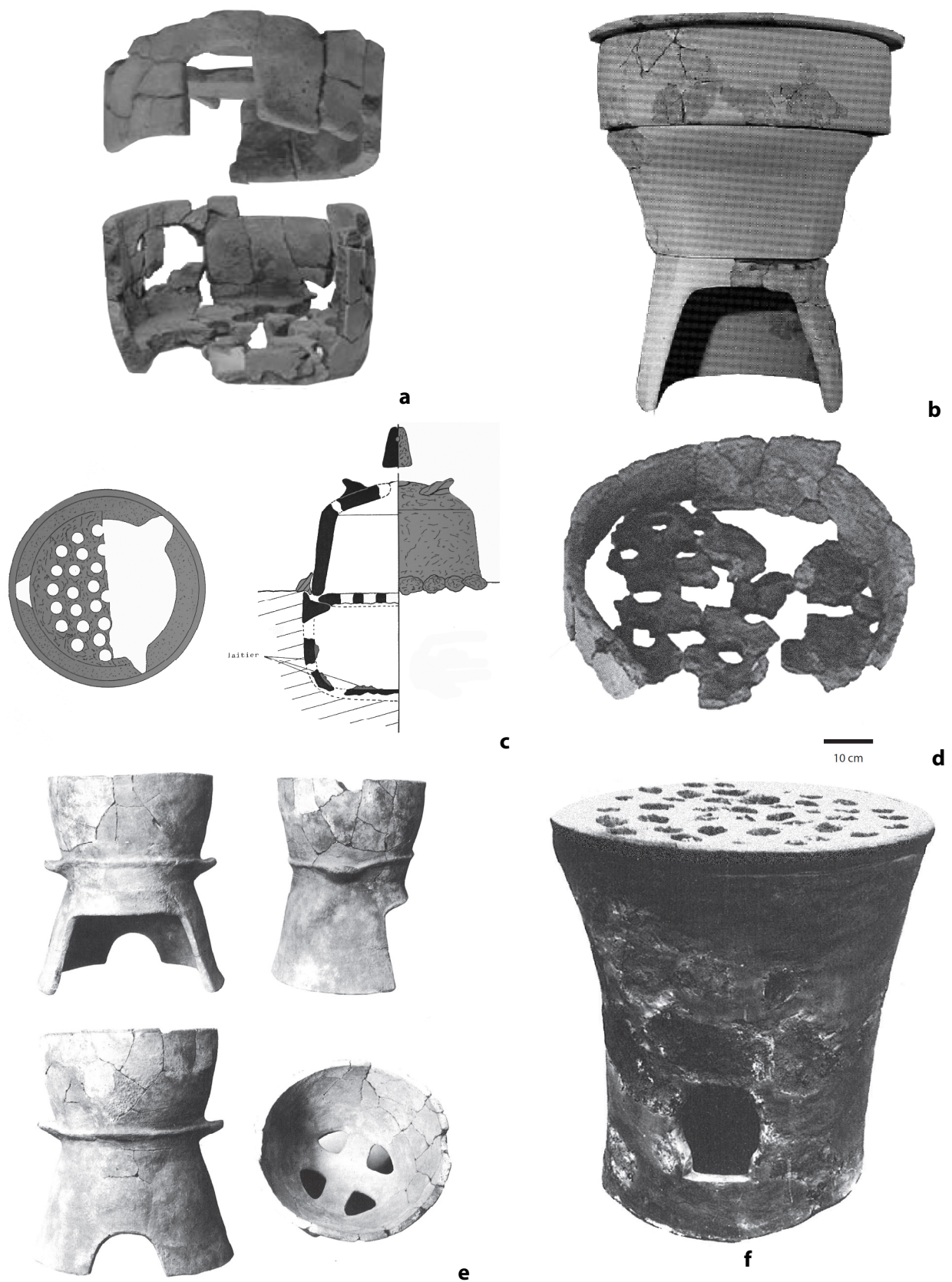


Fig.4. Alcuni esempi di forni modulari in terracotta: a) Castromao (Spain) (GARCIA ROLLAN 1971) (type 1), b) Martigues (France)(CHAUSSERIE LAPRÉE 2005) (type 2), c) Le Cluzel, Toulouse (Haute-Garonne, France) (type 3), d) AsPeireira, Celanova (Galicia, Spain) (ABOAL FERNANDEZ, COBAS FERNANDEZ 1999) Type 4, e) Belverde di Cetona (Sienna, Italia) (SCHEFFER 1981) Type 5, f) Scoglio del Tonno (Taranto, Italia)(SCHEFFER 1981) Type 6.  
*Some examples of modular clay furnaces.*

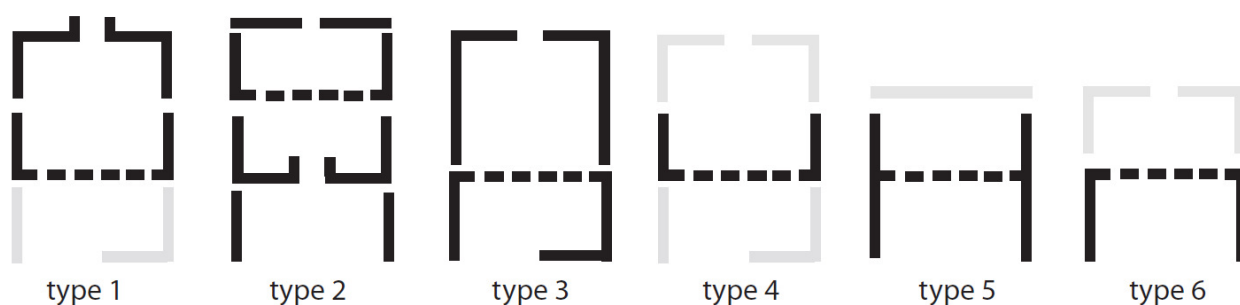


Fig.5. Proposta di tipologia schematica di forni modulari di argilla, che non tiene conto di variabili dimensionali specifiche o dettagli morfologici. (COULON 2012). *Schematic typology of modular clay furnaces, that does not take into account specific dimensional variables or morphological details (COULON 2012).*

Un rinnovato interesse per questi materiali si è manifestato dopo le recenti scoperte intervenute in vari paesi europei. Sono state così messe in luce nuove strutture: in Spagna a Celanova (Galizia) loc. As Peireira (GARCIA ROLLAN 1991; ABOAL FERNANDEZ, COBAS FERNANDEZ 1999) e Castromao (FARIÑA BUSTO 2001); in Francia a Saint -Jean-de-Caps, Mailhac (Aude) (BOISSON 2002 p. 8), Martigues (Bouches-du-Rhône) (CHAUSSERIE-LAPREE, NIN 1990), Roquepertuse (Velaux, Bouches-du-Rhone) (BOISSINOT, BOUBY, MARINVAL 2011), Mortagne (Charente-Maritime (LANDREAU MARATIER 2008), Les Courtinals in Mourèze (Hérault), (DEDET, ROUQUETTE 2002), datato al Bronzo finale, Saut de la Pucelle (Tresserve, Lake Bourget, Savoie) (BILLAUD 2004), Savenay (Loire -Atlantic) (COULON 2013); in Italy at San Giorgio Ingannapoltron (province of Verona); in Italia a San Giorgio Ingannapoltron (provincia di Verona) (BERTASI 2009; SALZANI, SANTINON 2015), Castello di Annone (provincia di Asti in Piemonte)(PEINETTI 2014), Montecastello (Piemonte)(GAJ *et alii* 2016), Villa del Foro (Alessandria) (VENTURINO GAMBARI 2017), Gropello Cairoli (provincia di Pavia, Lombardia) (RUFFA 2019); in Svizzera a Sion (Canton du Valais) (MARIETHOZ inedit), Hauterive-Champréveyres (Cantone di Neuchâtel) (ANASTASIU, BACHMANN 1991).

Queste scoperte hanno rilanciato la problematica dell'interpretazione di tali strutture, per le quali un utilizzo in ambito domestico è ormai evocato con sempre maggiore frequenza (DESBAT, SCHMITT 2003; NIN 2003; CHAUSSERIE, LAPRÉE J. 2005; BOUBY *et alii* 2011; COULON 2012; PEINETTI 2014; VENTURINO GAMBARI *et alii* 2015, 2017; GAJ *et alii* 2016; RUFFA M. 2019; GROppo 2018; TASCA 2018)

L'assenza di evidenze materiali convincenti per associare il forno di Sévrier alla cottura della ceramica ci ha portato ad adottare un nuovo approccio funzionale di cui presentiamo, in questa sede, una declinazione pratica dell'analisi termica, al fine di approfondire le conoscenze relative a questo forno particolare e, spingendosi oltre, rendere più chiara la comprensione di tutti materiali archeologici comparabili con esso.

## 2. LA PROBLEMATICATA

L'obiettivo del presente lavoro è fornire una stima della temperatura massima raggiunta dal forno di Sévrier. Il termine "studio termico", di ampio respiro, non indica un singolo metodo.

A seconda degli obiettivi specifici si attuano e si incrociano molteplici metodi, dai più elementari ai più complessi. Tali metodi potrebbero rispondere a delle domande riguardanti la caratterizzazione del materiale argilloso, le trasformazioni mineralogiche in funzione della temperatura massima, direttamente legata all'intensità della cottura e quindi alla funzione originale del forno archeologico.

### 2.1 Studio del trattamento termico: quadro generale e limiti interpretativi

Determinare la temperatura massima raggiunta da un forno d'argilla a partire da un coccio permette a priori di metterlo in relazione con un tipo di operazione, culinaria o artigianale, e di poter avanzare così un'ipotesi sulla sua destinazione iniziale. Eppure, l'interpretazione è più complessa di quanto sembri, poiché accade che la temperatura massima registrata non sia sempre rappresentativa della funzione iniziale.

Cinque scenari di cottura permettono di considerare i nessi tra l'intensità del trattamento termico e la funzione del forno (Fig.6):

- Il primo scenario prevede l'ipotesi per cui il forno, crudo, e il suo carico di ceramica siano stati inseriti in un processo di trasformazione in ceramica ad una temperatura circa di 800/950°C.

- Il secondo e il terzo scenario hanno in comune una fase intermedia, durante la quale, il forno è cotto in una fossa ad una temperatura elevata. Le cotture successive sono di tipo ceramico (900°C), nello scenario numero due, e di tipo culinario (300/400°C) nel numero tre.

- Lo scenario numero quattro sottopone il forno crudo a una cottura iniziale di tipo culinario. Le ulteriori cotture sono dello stesso tipo. La base e il focolare sono esposti alle fiamme (circa 300/400°C), mentre le altre parti del forno possono registrare una temperatura più bassa.
- L'ultimo scenario è uguale al precedente, ma suggerisce che il forno sia stato ulteriormente esposto alle fiamme nel corso di un evento accidentale, un incendio, che nulla ha a che vedere con la funzione originale del dispositivo.

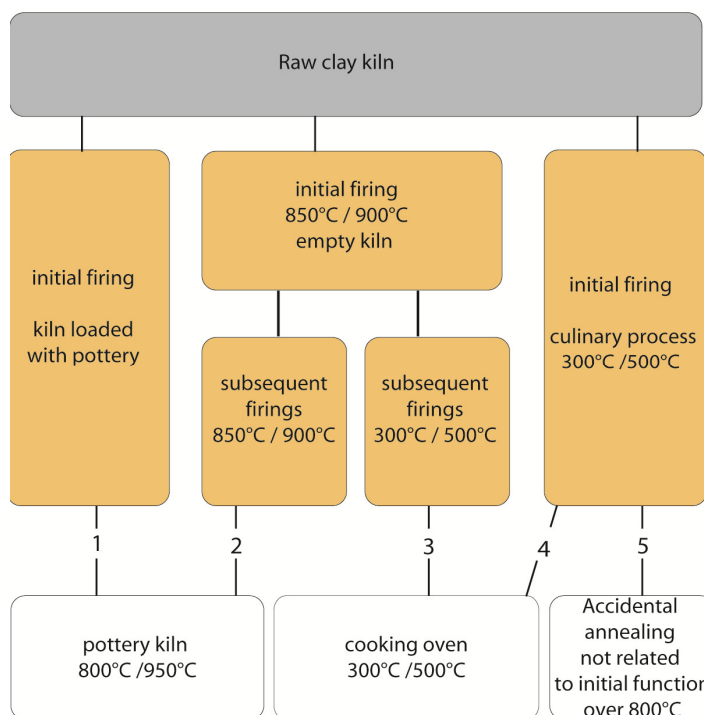


Fig.6 Interpretazione funzionale di un forno modulare di terracotta, illustrata da 5 scenari di cottura.  
*Functional interpretation of a modular clay kiln, illustrated by 5 firing scenarios.*

## 2.2 Valutazione della temperatura massima

Con una semplice osservazione, è possibile determinare certe soglie di trasformazione delle argille: l'estrema disintegrazione dei cocci, la risposta acustica (suono sordo o più o meno acuto), la presenza di punti di vetrificazione, la possibilità di essere graffiato con l'unghia o con una lama di acciaio. Si deve tenere comunque presente che la temperatura non è l'unico fattore che dà coesione e resistenza al materiale ceramico. Le condizioni di conservazione, la composizione mineralogica possono pure essere ugualmente degli elementi determinanti.

Dagli anni '60, un approccio pluridisciplinare ha rivoluzionato lo studio della tecnologia delle ceramiche. Le cinque tecniche principali sono la spettrometria infrarossa, la dilatometria, l'analisi termica differenziale ATG TD, la diffrattometria a raggi X (MUNIER 1951; PERINET 1960; TITE 1969; FABRE 1973; KINGERY 1974; MANIATIS, TITE 1975; BILLAUD 1982; MAGGETTI 1982; PICON 1994-1996; COLAS 1998; CUOMO DI CAPRIO; PICON 1999). Abbiamo ignorato le prime due tecniche che danno risultati poco interpretabili per le temperature al di sotto dei 600°C, per concentrarci sulla caratterizzazione mineralogica dei materiali. Questo lavoro, realizzato mediante diffrattometria a raggi X e microscopia elettronica a scansione è stato condotto presso l'Institut de ChimiedesMilieux et Matériaux de l'Université de Poitiers (UMR CNRS 7285 IC2MP).

## 3. MATERIALI

Le analisi effettuate riguardano: a) un frammento del piano forato del forno di Sévrier; b) argille raccolte in un deposito situato vicino a Crêt-de-Chatillon e presumibilmente note dai ceramisti dell'età del bronzo.

### 3.1 Il frammento archeologico

Al fine di verificare la temperatura massima raggiunta, è stato analizzato un campione da una delle parti del forno più esposte alle fiamme (Fig.7). La distribuzione irregolare della temperatura all'interno dei forni è un fenomeno noto ai ceramisti. Qualunque sia il tipo, la forma e il volume della camera di cottura, i vasai devono far fronte a questo fenomeno. Queste differenze si osservano sia sul contenuto (vasi troppo o non abbastanza cotti) che nel contenitore (le diverse parti del forno). Ad un momento  $t$  della cottura, la camera di combustione registra una temperatura superiore a quella dell'area più prossima al camino. Livelli molto diversi di esposizione al calore sono registrati anche tra le facce interne ed esterne della struttura.

### 3.2 L'argilla grezza prelevata vicino al sito

A causa della sua superficie ridotta e la natura calcarea del suolo, non si è potuto estrarre argilla dall'isolotto del Crêt de Chatillon. Gli abitanti devono aver raggiunto la riva più vicina del lago (distanza minima 0,8 km) per approvvigionarsene. La mappa geologica del posto evidenzia una vasta zona a valle di Saint-Jorioz (a 1,2 km dall'isolotto). Si tratta del delta del Laudon, che si estendeva dove oggi si trova la ZAC des Tuileries. Come confermato dalla toponomastica, un importante giacimento ha permesso lo sviluppo di un'antichissima attività artigianale che ha perdurato fino agli anni '60. Nelle zone non costruite o rimaneggiate, si trovano senza difficoltà delle vene argillose in affioramento (Fig.8).

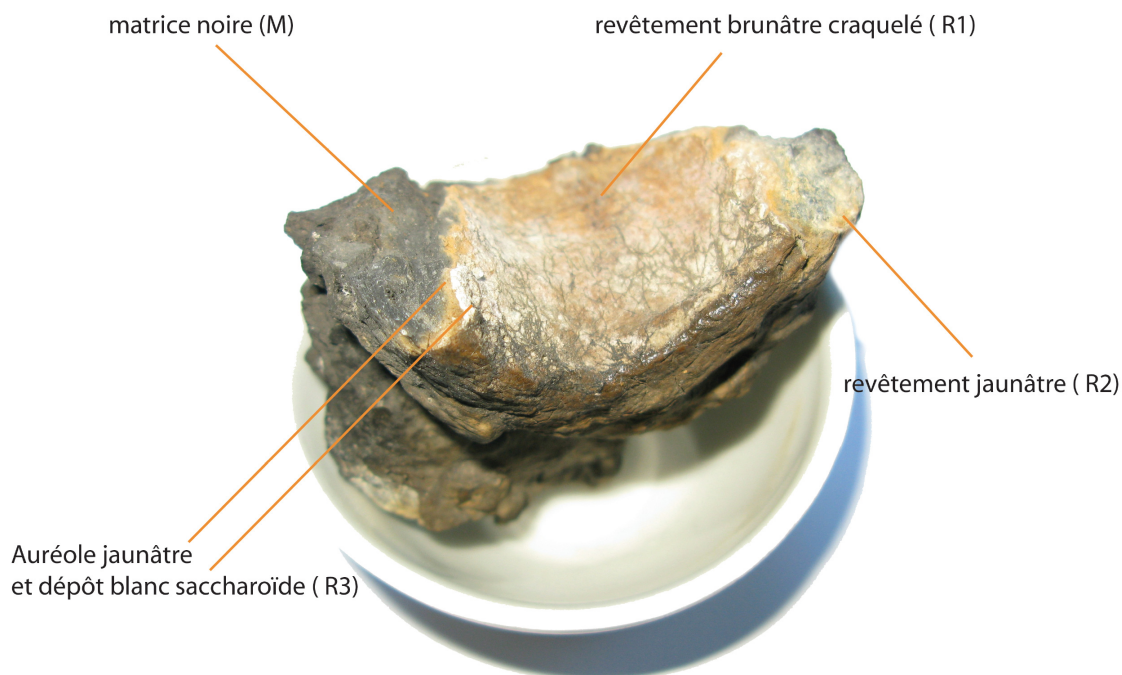


Fig.7. Frammento di piano forato del forno di Sévrier per analisi archeometriche. Rivestimenti e finiture superficiali.  
*Archeometric analyzes : fragment of perforated floor of the Sévrier kiln.*



Fig.8. Campionamento di argille grezze per analisi archeometriche nel « ZAC des Tuileries » di Saint-Jorioz. A seconda della posizione e della profondità dei campioni, il colore dell'argilla varia tra giallo e verde.  
*Archeometric analyzes : sampling of raw clays from ZAC des Tuileries of Saint-Jorioz.*

Tre criteri hanno condizionato il nostro campionamento di argilla in quel luogo: a) vicinanza al sito, b) aspetto simile all'oggetto archeologico, c) plasticità e qualità adattate a tutte le fasi del processo ceramico. I campioni, prelevati in luoghi differenti e a diverse profondità, ci hanno permesso di verificare l'abbondanza di uno strato argilloso, il cui colore varia dal giallo al verde. L'argilla grezza, senza preparazione speciale, ha eccellenti qualità plastiche che la

rendono piacevole e adatta alla modellazione. Abbiamo realizzato diverse repliche del forno e molti vasi (Fig.9) che si sono comportati bene in essiccazione e cottura.

Sono state realizzate anche dei campioni di misura 12x3x1.5 cm, che sono stati cotti in forno elettrico Nabertherm P330. La serie ottenuta è costituita da 10 placchette cotte in una gamma di temperature comprese tra 300°C e 900°C con un intervallo di 50 °C (Fig.10). La temperatura di gradiente è stata di 3°C/min e la temperatura di prova è stata applicata durante la durata di una notte. Dopo la cottura il colore di queste argille è molto simile a quello del forno archeologico.

Inoltre, una parte di ogni piastra è stata macinata per ottenere polvere inferiore a 50 µm per caratterizzare la mineralogia.



Fig.9. Repliche di ceramiche e forno realizzati con argille tratte dallo «ZAC des Tuileries » di Saint-Jorioz.  
*Pottery and kiln replica made with clays collected in ZAC des Tuileries, Saint-Jorioz.*



Fig.10 Campioni di argilla cotta. Intervallo di temperatura tra 350°C e 900°C.  
*Clay test plates after firing. Temperature range between 350°C and 900°C.*



## 4. ANALISI MINERALOGICHE

### 4.1 Diffrazione a raggi X

La diffrazione a raggi X permette di seguire la modificazione del nucleo argilloso in funzione della temperatura. Si ricordi che il principio si basa sulla legge di Bragg:  $2 d \sin\theta = n \cdot \lambda$ . Il metodo utilizza un fascio di raggi X, che quando incontra una materia cristallina è rimandato secondo direzioni specifiche determinate dalla lunghezza dei raggi X e dalle direzioni e orientamento del reticolo cristallino.

Il diffrattometro utilizzato è un PANalytical Xpert Pro, dotato di un anticatodo in rame ( $\text{CuK} = 1.541838 \text{ \AA}$ ) e montato in configurazione Bragg-Brentano. Il sistema ottico è composto da slot anti-divergenza  $\frac{1}{4}^\circ$  e anti-diffusione  $\frac{1}{2}^\circ$ , sistema di taglio Soller (0,04 rd). Il supporto per campione è fisso (*flatstage*) e filtro Ni. Il rivelatore Xccelerator è del tipo solido che consente l'acquisizione simultanea su un settore angolare di  $2^\circ$ . Le condizioni analitiche in modalità polvere sono: 40 kV, 40 mA, filtro Ni, intervallo angolare da  $2,5$  a  $65^\circ$ , tempo di conteggio di  $30\text{s}/2^\circ$ .

Per l'analisi mineralogica totale, i diffrattogrammi sono stati realizzati sul materiale macinato in precedenza, setacciato a  $50 \mu\text{m}$ , e quindi posto su un supporto in modo da ottenere una polvere in cui i cristalliti diffratti sono privi di orientamento preferenziale. I diffrattogrammi ottenuti permettono di caratterizzare i principali minerali (tenore massiccio superiore al 1%) che costituiscono il campione, a partire dalle loro specifiche riflessioni (hkl) e del comportamento delle riflessioni (00l) dei minerali argillosi sottoposti a trattamenti termici (BRINDLEY, BROWN, 1985; MOORE, REYNOLDS, 1997).

### 4.2 Microscopia elettronica a scansione

Gli studi morfologici e chimici puntuali vengono effettuati successivamente utilizzando un JEOL JSM 5600LV SEM, dotato di un rivelatore SiLi EDS AXS Bruker. L'acquisizione di immagini è stata eseguita sulla base degli elettroni secondari.

I dati chimici sono stati acquisiti utilizzando il software Quantax al fine di ottenere sia una mappa di ripartizione elementare, sia delle composizioni chimiche ponderali. Le condizioni di analisi sono: vuoto  $10^{-5}$  Pa, corrente della sonda  $1,0 \text{ nA}$ , distanza di lavoro  $17 \text{ mm}$ , dimensione del punto  $0,1 \mu\text{m}$ , tempo di conteggio  $100 \text{ s}$ . I minerali utilizzati per la calibrazione sono: albite, ortose, forsterite, diopside, pirite, almandino più metallo cromato.

Dopo l'essiccazione all'aria, piccoli frammenti del campione ( $f < 0,5 \text{ cm}$ ) e i depositi superficiali sono stati montati su un vetrino coperto da un adesivo a doppia faccia. Per gli elementi più grossi l'uso di una lacca d'argento è stato necessario per il fissaggio. L'insieme è stato in seguito posto in una camera a vuoto. Una volta raggiunti i  $10^{-2}$  torr, un arco elettrico creato tra due matite di grafite permette di volatilizzare quest'ultimo che si deponde allora secondo uno strato sottilissimo ( $30 \text{ nm}$ ) sul campione, rendendolo così un conduttore.

## 5. RISULTATI

### 5.1 Mineralogia dell'argilla grezza del deposito

Sono stati analizzati due campioni di argilla in base alla loro tonalità dominante: giallastro e verdastro.

Il materiale giallastro è ricco di argille (in senso mineralogico) tra i quali domina la clorite (riflessi a  $14,3 \text{ \AA}$ ,  $7,06 \text{ \AA}$ ,  $4,72 \text{ \AA}$  e  $3,53 \text{ \AA}$ ) e illite o mica (picchi a  $10,0 \text{ \AA}$  e  $4,99 \text{ \AA}$ ) mescolati con quantità minori di caolinite (riflessione a  $7,20 \text{ \AA}$ ) e probabilmente ad una fase interstratificata (spalla intorno a  $16,0 \text{ \AA}$ ). Questi fillosilicati (riflessione comune a  $4,49 \text{ \AA}$ ) sono associati al quarzo (picchi a  $4,26 \text{ \AA}$  e  $3,34 \text{ \AA}$ ) e al plagioclasio (riflessioni a  $6,38 \text{ \AA}$ ,  $3,67 \text{ \AA}$  e  $3,19 \text{ \AA}$ ) di composizione simile all'albite. Infine, la calcite appare in tracce (picco a  $3,03 \text{ \AA}$ ). Il materiale verdognolo offre la stessa composizione di minerali argillosi, in proporzioni che sembrano identiche. La differenza con il materiale giallastro risiede negli altri minerali. Se il quarzo è ancora presente, il contenuto di plagioclasio ( $3,19 \text{ \AA}$ ) è molto più basso, mentre i tenori di feldspato potassico di tipo microclina (riflessione a  $3,24 \text{ \AA}$ ) e della calcite ( $3,03 \text{ \AA}$ ) aumentano in modo notevole.

La differenza tra queste argille che si distinguono per le loro tinte cromatiche risiede prevalentemente nelle quantità di feldspati (alcalini e potassici) e di calcite. Invece, l'assemblaggio di minerali argillosi è identico (clorite >illite>>caolinite e fase interstratificata), tanto per le loro fasi presenti quanto per le loro apparenti proporzioni.

### 5.2 Prove termiche

Come l'argilla prelevata dal giacimento, il materiale di base utilizzato per le prove termiche è argillo-sabbioso. La frazione formata dai detriti è prevalentemente composta da quarzo (riflessioni  $3,34 \text{ \AA}$  e  $4,26 \text{ \AA}$ ) associato a un plagioclasio, probabilmente albite ( $3,9 \text{ \AA}$  e  $4,03 \text{ \AA}$ ) e a piccole quantità di feldspato potassico ( $3,24 \text{ \AA}$ ). Per quanto riguarda la frazione argillosa la composizione è clorite ( $14,4 \text{ \AA}$  e  $7,10 \text{ \AA}$ ), illite ( $10,0 \text{ \AA}$  e  $5,00 \text{ \AA}$ ) e un po' di caolinite (spalla verso  $7,20 \text{ \AA}$ ). A questi fillosilicati chiaramente identificati bisogna aggiungere una o più fasi argillose male organizzate, responsabili di un rumore di fondo elevato tra  $14$  e  $10 \text{ \AA}$ .

Durante le prove termiche, l'argilla grezza è stata sottoposta ad un gradiente di temperatura crescente. Tre processi principali possono essere associati alle diverse gamme di temperature : disidratazione (100-500°C), deidrossilazione (600-750°C) e ricristallizzazione (800-900°C).

Nel corso delle prove, man mano che la temperatura aumentasi nota la seguente evoluzione mineralogica :

- da 100 a 300 °C: la componente argillosa non presenta alcuna modifica (Fig.11A).
- a 500 °C: la riflessione a 7,20 Å, attribuita alla caolinite, inizia ad attenuarsi, perché a questa temperatura il minerale è totalmente o parzialmente disidratato, con conseguente destabilizzazione della struttura cristallina e formazione di un metacaolino praticamente amorfo (Fig.11A);
- a 600 °C: questa riflessione è completamente scomparsa e le principali riflessioni di illite (10,0 Å) e clorite (14,4 Å) sono meglio definite. Per quest'ultimo, vi è anche un leggero spostamento del riflesso da 14,40 Å a 13,90 Å. Si tratta di un fenomeno classico di collasso del dominio interfoliare di questo minerale, quando la proporzione di ferro nella sua composizione chimica è significativa (Fig.11B);
- a 750 °C: la riflessione dell' illite è mantenuta, mentre l'intensità della riflessione a 13,9 Å della clorite diminuisce bruscamente. Ciò è indice della destabilizzazione della rete cristallina della clorite il cui prodotto di fusione ricristallizza sotto forma di minerali della famiglia delle olivine.
- da 800 a 950 °C: la riflessione a 10.0 Å dell'illite diminuisce progressivamente, mentre nello stesso tempo le riflessioni dell'ematite (3.67 Å, 2.69 Å e 2.51 Å) si sviluppano (Fig.11C).

Le condizioni termiche applicate al materiale argilloso iniziale, sono ovviamente influenzate dalle trasformazioni mineralogiche, che si tratti di fillosilicati o di ossidi di ferro. Per certi minerali, come la caolinite, la transizione è brusca (scomparsa oltre i 500 °C) per altri come l'illite o l'ossido di ferro, i fenomeni sono progressivi. È probabile che, perfezionando le preparazioni (arricchimento della frazione di argilla mediante sedimentazione), le zone di transizione possano essere meglio comprese.

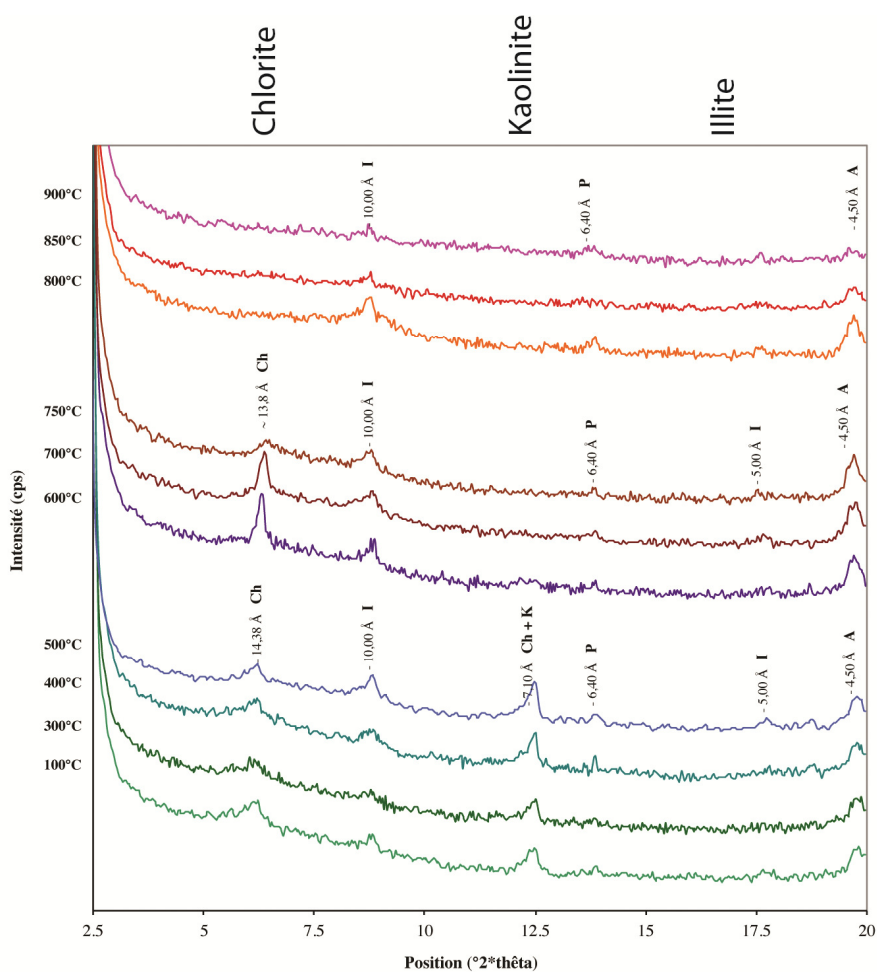


Fig.11. Diffattogrammi in polvere che mostrano l'evoluzione mineralogica delle argille della ZAC des Tuileries dopo trattamento termico corrispondente all'intervallo di: (A) disidratazione (100 ° C [1], 300 ° C [2], 400 ° C [3] e 500 ° C [4]); (B) deidrossilazione (600 ° C [5], 700 ° C [6] e 750 ° C [7]); (C) ricristallizzazione (800 ° C [8], 850 ° C [9] e 900 ° C [10]). Minerali: (C) clorite, (Ca) calcite, (F) K-Feldspato, (I) Illite o Mica, (K) Caolinite, (P) Plagioclasio, (Q) Quarzo.

*Powder diffractograms showing the bulk mineralogical evolution of clays of ZAC des Tuileries after thermal treatment and relative range.*

### 5.3 Il frammento di piano forato

#### 5.3.1 Descrizione macroscopica

Il frammento di piano forato ha la forma di un parallelepipedo grossolano di dimensioni 5 cm x 4 cm x 3 cm. Una delle estremità presenta un bordo concavo che corrisponde ad una sezione angolare (circa 1/3) dell'ugello. Questo bordo è segnato inoltre da una sporgenza di mezzo centimetro circa. Il frammento è costituito da un materiale nero (M) la cui superficie appare relativamente pulita. In certi punti, specie sulla parte alta della sporgenza, si osservano chiazze che vanno dal colore brunastro all'ocra scuro (R1) che presentano riflessi lucidi sulle parti più in rilievo (resina per il consolidamento?). Qualche efflorescenza bianca (Eb) è visibile al microscopio binoculare a contatto con la parte piatta e il rigonfiamento. Infine, a destra della frattura del rigonfiamento, la superficie è parzialmente coperta da un materiale giallastro (R2) (Figg.12,13).

La parte interna del buco è interamente ricoperta da un rivestimento bianco (R3) formato da piccolissimi cristalli (aspetto saccaroide). Il contatto tra questo rivestimento bianco e il sostrato nero (M), avviene tramite un bordino continuo più giallastro.

Il lato inferiore del piano forato è abbastanza piano. La matrice nera vi appare screpolata a grandi zone tra cui alcune sono ricoperte da una pellicola di materia grigia (Eg).

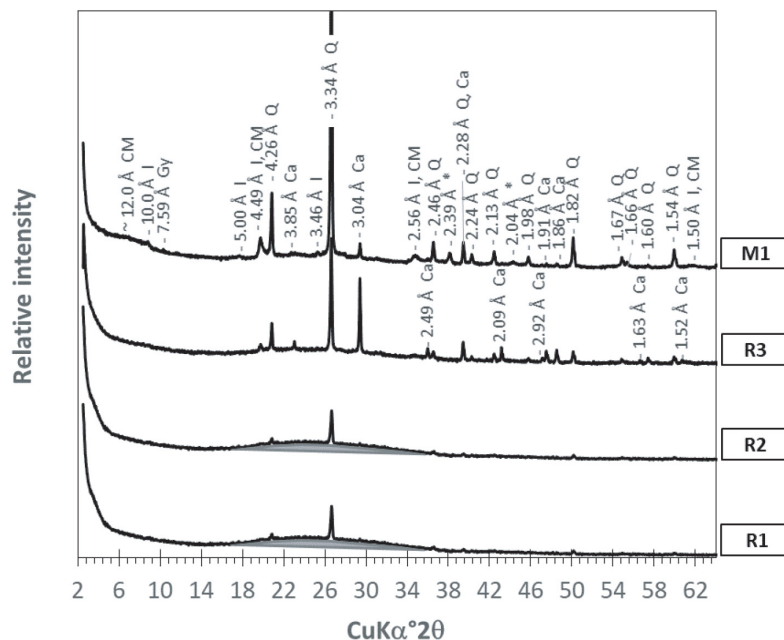


Fig.12. Diffratogrammi di polvere dei rivestimenti osservati sul piano forato del forno studiato: a) matrice nera (M1), b) impiallacciatura beige (R1), c) placcatura giallastra (R2), d) impiallacciatura bianca (R3). Minerali: (CM) Minerali argillosi indifferenziati, (Ca) calcite, (Gy) Gesso, (I) illite o Mica, (Q) Quarzo e materiale amorfo (zona grigia).

*Powder diffractograms showing the bulk mineralogy of various piece of the studied kiln: (M1) black matrix and (R1) beige, (R2) yellowish, and (R3) white (R3) coatings. Minerals: (CM) Indifferenciati Clay Minerals, (Ca) Calcite, (Gy) Gypsum, (I) Illite or Mica, (Q) Quartz, and amorphous material (grey area).*

#### 5.3.2 Mineralogia dei costituenti principali

La matrice nera (M), che costituisce la maggior parte del frammento del piano forato studiato, è composta da una miscela di quarzo (4,26 Å e 3,34 Å), la fase più abbondante, e di minerali argillosi che si manifestano con un'ampia fascia centrata su 12,3 Å (smectiti?). A queste due componenti vengono aggiunte piccole quantità di calcite (3,03 Å) e illite (10,0 Å e 4,99 Å), nonché tracce di gesso (7,59 Å), plagioclasio (3,19 Å) e feldspato potassico (3,24 Å).

Il rivestimento bruno-beige prelevato sul lato superiore del frammento a contatto con la matrice nera, è composto da piccole quantità di quarzo, calcite e illite avvolte in una matrice amorfa (materia organica) o mal cristallizzata (silice) come lo suggerisce la larga fascia tra 17 e 35 Å.

Il rivestimento giallastro (R2) raccolto sulla frattura della matrice nera, presenta le stesse caratteristiche del rivestimento (R1) precedente.

L'intonaco (R3), che ricopre l'interno del condotto di questa base è composto da un misto di quarzo e calcite. A queste due costituenti si aggiunge qualche traccia di illite appena individuabile (9,95 Å, 4,49 Å e 2,57 Å). È possibile ipotizzare che, nel contesto lacustre, la calcite sia il prodotto di carbonatazione di un rivestimento fatto inizialmente di calce.

Le quantità di materiale corrispondenti alle efflorescenze bianche (Efb) e la pellicola grigia (Efg) erano insufficienti per poter essere analizzate in diffrazione di raggi Xe si è stati in grado di studiarle solo per via microscopia elettronica a scansione.

### 5.3.3 *Microstruttura e chimica dei diversi costituenti*

La materia nera, costituente essenziale di questo frammento di base, è composta da una matrice in apparenza massiccia a lieve ingrandimento. Tuttavia si distingue una parte corrispondente ad un aggregato compatto di granelli micrometrici (matr.) che avvolge elementi più grossolani, di qualche decina di micrometri di allungamento, di consistenza fibrosa persino legnosa. Più precisamente, questi elementi presentano delle zone di rottura dalla forma squamosa e rivelano una struttura lamellare le cui parti esterne sono ripartite in settori più grandi, mentre le parti interne sono divise in modo molto più sottile. Questi elementi, molto probabilmente di origine vegetale e la cui natura resta da determinare sono quasi ovunque ricoperti da una sottile pellicola minerale.

La matrice di questa materia nera (Tab.1) è prevalentemente silicea (70 a 85%), essendo l'allumina il secondo costituente (10 a 20%), mentre i tenori in ferro, calcio e potassio sono minori. Gli elementi fibrosi, invece, sono meno ricchi in silicio ( $\text{SiO}_2 \approx 58\%$ ) e più ricchi in alluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \approx 29\%$ ) e in calcio ( $\text{CaO} \approx 6\%$ ). Questa ripartizione sembra significare che il quarzo si trova principalmente nella matrice mentre i minerali argillosi e i carbonati costituiscono la pellicola minerale che ricopre gli elementi fibrosi.

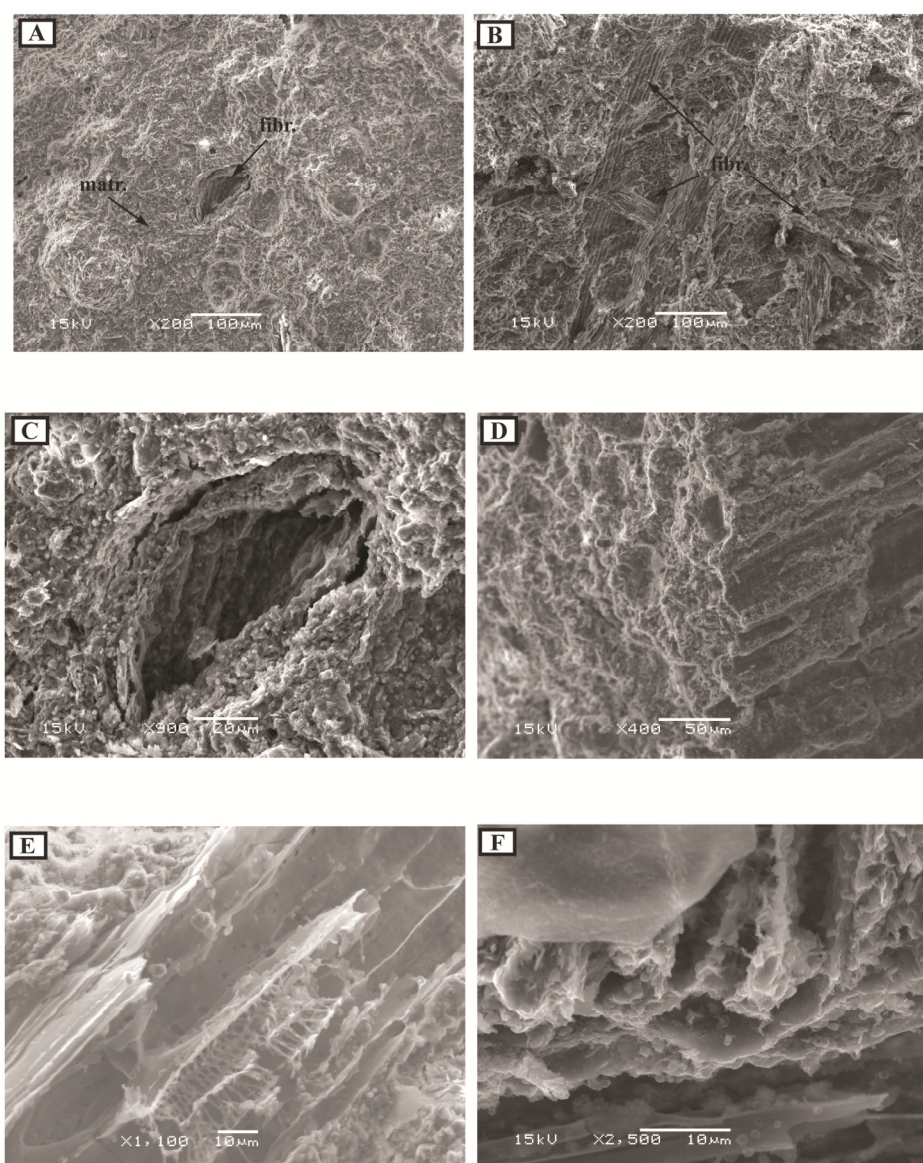


Fig.13 Fotografie al microscopio elettronico a scansione della matrice nera che mostra (A, B, C) una matrice minerale (matrice) che racchiude elementi fibrosi (fibrosi) con trama partizionata (D, E) rivestiti localmente con depositi di silice o argilla (F).  
*Scanning electron micrographs of the black hearth material showing (A, B, C) a mineral matrix (matr) packing fibrous elements (fibr) with partitioned texture (D, E) locally coated with fine siliceous or clay deposits (F).*

Il rivestimento bruno (R1) prelevato alla superficie superiore della base, è un misto eterogeneo di elementi micrometrici composti da grani silicei (quarzo), da grani e tavolette silicio-alluminose più o meno potassiche (illite o mica) e da bastoncini dalla chimica molto complessa (frammenti di fibre su cui sarebbero precipitati minerali argillosi, carbonati e a volte anche solfati).

Il rivestimento giallastro (R2), raccolto sulla frattura della matrice nera, è di composizione e aspetto generale molto vicino a quelli riscontrati per il rivestimento R1 con un carattere tuttavia meno eterogeneo. In effetti, possiamo distinguere zone francamente silicee (Si) e zone chiaramente silico-alluminose, cioè più argillose (arg.), più o meno ferriche.

Il rivestimento (R3) o intonaco che ricopre l'interno del condotto di questo piano forato può essere diviso in due parti: un'aureola giallastra (aur.) direttamente a contatto con il materiale nero e un deposito saccaroide. Le analisi chimiche (Tab.2) realizzate partendo dal materiale nero fino al deposito dimostrano che i tenori di Si e Al diminuiscono decisamente alla verticale dell'intonaco e si immergono nel deposito. Il ferro sembra seguire una tendenza opposta poiché il suo tenore può, a seconda del luogo raddoppiare passando dal materiale nero all'aureola, ma scompare nel deposito. Infine, il tenore di calcio cresce in maniera continua per diventare l'unica componente del deposito, confermando la sua natura carbonatica. Per concludere, si nota che proprio in prossimità di questo rivestimento, della matrice nera e dell'aureola giallastra si trovano le tracce più importanti di zolfo e fosforo.

Queste gradazioni relative alle componenti chimiche potrebbero segnalare dei fenomeni di trasformazioni mineralogiche alla verticale di questa interfaccia termica.

analyse chimique de la matière noire				
Oxyde	Matière noire			
	matr. 04	matr. 03	fibr. 01	fibr. 03
SiO2	85.02	69.84	58.07	57.76
TiO2	0.18	0.30	0.46	0.41
Al2O3	10.42	19.90	29.88	28.52
Fe2O3	1.33	3.29	3.19	3.22
MgO	0.30	1.70	1.44	1.04
CaO	1.47	1.45	4.93	7.07
K2O	1.28	3.52	2.02	1.98

revêtement jaunâtre R2							
	Si		arg		arg		arg
	5a	5b	1a	1b	3a	3b	6
SiO2	85.92	94.80	62.32	60.78	62.72	55.58	57.26
TiO2	0.00	0.00	0.09	3.14	0.58	0.64	0.00
Al2O3	11.13	3.63	28.83	25.96	27.05	32.29	30.74
Fe2O3	1.63	1.09	0.03	5.83	5.22	6.67	7.98
MgO	0.00	0.00	2.81	0.83	0.82	0.97	0.00
CaO	0.58	0.26	4.33	1.51	2.01	1.93	1.91
K2O	0.73	0.22	1.60	1.96	1.61	1.93	2.11

revêtement R3 du conduit						
	matr.	matr.	aur.	aur.	dep.	dep.
	01	02	01	02	01	02
SiO2	44.09	49.29	25.36	37.98	1.48	6.57
TiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al2O3	38.49	29.19	27.81	0.88	0.86	3.60
Fe2O3	10.63	9.53	27.55	8.10	0.00	0.00
MgO	1.32	0.87	0.88	0.05	0.76	0.83
CaO	3.33	8.91	18.40	52.99	96.91	89.00
K2O	2.14	2.21	0.00	0.00	0.00	0.00
Atome	matr.	matr.	aur.	aur.		
S	0.25	0.27	0.40	2.75		
P	0.83	2.10	0.39	0.12		

Tab.2. Composizione chimica degli elementi costitutivi del piano forato.  
*Chemical composition of the constituent elements of the perforated floor.*

## 6. DISCUSSIONE

### 6.1 Confronto tra argilla di riferimento e piano forato

Il confronto tra i rispettivi assemblaggi mineralogici del frammento di forno e dell'argilla cotta proveniente dalla ZAC delle Tuileries mette in evidenza notevoli differenze. I principali minerali argillosi di ZAC des Tuileries sono clorite e illite con poca quantità di caolinite. Tranne l'illite, ognuna di queste specie è stata rilevata nei diversi campioni del forno. Questo punto di vista può essere rafforzato osservando i feldspati (feldspato di potassio e plagioclasio) che sono relativamente abbondanti nell'argilla di riferimento, ma nello stato dei composti minori, anche tracce, nella matrice del piano forato. Poiché questi minerali sono chimicamente molto stabili e completamente refrattari (fondendosi a circa 1200°C), nessuna delle temperature testate può far scomparire e/o modificare la loro cristallinità. Alla fine, per le temperature più elevate, si osservano la ricristallizzazione dell'ematite nell'argilla di riferimento e la sua assenza nel campione del forno.

Se ne può dedurre che il deposito di argilla più vicino alla posizione di scoperta del forno non è il prodotto utilizzato per la sua fabbricazione (o per una frazione molto piccola).

È tuttavia possibile utilizzare la composizione mineralogica dei vari campioni del forno per dedurre la temperatura massima applicata a questo oggetto?

Per prima cosa, sembra che la matrice nera costitutiva della matrice del piano forato differisca fortemente dai rivestimenti. Per il frammento del forno, la frazione minerale di argilla è ancora abbondante come indica la presenza di una riflessione relativamente intensa di 4,49 Å, comune a tutte queste specie, mentre diminuisce drasticamente oltre 850°C (vedi comportamento termico dell'argilla di riferimento). Inoltre, il piano centrato su 12,0 Å è indicativo della presenza di minerali argillosi, probabilmente smectite collassata in modo incompleto e / o fasi a strato misto, come illite / smectite o illite / clorite interstratificate. Le specie di smectite sono molto sensibili alla temperatura e collassano a 10,0 Å tra 350°C e 500 °C. Gli strati misti di illite / clorite sono più stabili anche il clorite reticolare può essere destabilizzato a circa 500-600 °C e forma olivina nell'intervallo 600-800°C a seconda del suo contenuto in Fe e Mg (BRINDLEY, BROWN, 1980).

I rivestimenti R1 e R2 sono essenzialmente composti da un quarzo confezionato in una miscela molto fine e poco cristallizzata di minerali argillosi, carbonati e talvolta anche di solfati mentre il rivestimento R3 è costituito da una miscela intima di quarzo e calcite. In questi casi i fatti più importanti sono la presenza di solfato (gesso) e carbonato (calcite). La disidratazione del gesso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) avviene al di sopra di 240 °C massimo per formare anidrite ( $\text{CaSO}_4$ ). D'altra parte, oltre 880°C, la calcite è instabile ( $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ ) e forma portlandite ( $\text{CaO}$ ). In assoluto, quando le condizioni di conservazione sono adeguate, cioè non esposte all'umidità, la presenza di questi prodotti può essere utilizzata come indicatore della massima temperatura. Al contrario, si osserva una reazione inversa con ricristallizzazione di gesso e calcite. Ma l'isola di Crêt de Chatillon si trova in un ambiente lacustre, anche questi processi non possono essere esclusi. Pertanto, nel nostro caso, la presenza di calcite e gesso non è un buon indicatore della temperatura massima.

Tutte queste caratteristiche sembrano indicare che questa parte del forno non è mai stata sottoposta a temperature superiori a 800°C. Se confrontiamo con i forni neolitici di Portonovo (BARBARO 2013), i risultati mineralogici dei frammenti del forno di Crêt de Chatillon sono abbastanza simili (MUNTONI, RUGGIERO, 2013). In effetti, in questi due casi, i minerali di argilla sono ancora presenti nella matrice del pavimento del forno e nessuna specie minerale ad alta temperatura, come i pirosseni (*olivine group*) sono stati identificati. Infine, questi risultati mineralogici (DRX) e l'assenza di tracce di elementi metallici (MEB-EDS) sembrano essere argomenti validi per dimostrare che il forno del Crêt de Chatillon non è mai stato utilizzato per attività ceramiche.

### 6.2 Presenza di detriti vegetali

Le osservazioni al microscopio elettronico a scansione hanno rivelato la presenza di detriti vegetali. Tali evidenze sono abbastanza numerose e chiaramente avvolte nella matrice del piano forato. Il loro stato di conservazione è ottimo: le micrografie (Figg.13-14) mostrano dettagli molto precisi delle pareti cellulari. Solo l'essere stati in buono stato al momento dell'interramento nel sedimento lacustre può spiegare una tale ottimale conservazione.

La copertura dei frammenti vegetali da un film di silice o la silicificazione delle loro strutture è avvenuta dopo l'interramento, a contatto con le acque lacustri ricche di diatomee che possono essere all'origine della presenza di silice. Le osservazioni al microscopio stereoscopico confermano quelle effettuate al microscopio a scansione. Si distingue nettamente la presenza di materie vegetali ripartite nella matrice argillosa.

Il buono stato di conservazione dei frammenti vegetali è un'indicazione della temperatura massima verificatasi nel forno. La capacità delle piante di resistere al trattamento termico dipende da fenomeni complessi, come la varietà botanica o il grado tassonomico, lo stato iniziale (piante fresche, tagliate, secche, più o meno alterato per decomposizione chimica), l'intensità termica, la durata dell'esposizione e ovviamente le condizioni di conservazione nei siti archeologici. La presenza o la mancanza di ossigeno è anche un fattore determinante per lo sviluppo delle fiamme, decisive per il culmine del processo di carbonizzazione che secondo il rapporto tra carburante e comburente favorirà la produzione di cenere o carbone. Numerosi ricercatori hanno studiato il processo di

carbonizzazione di piante, semi e varie specie di legno. Hanno osservato, ad esempio, la differenza di degradazione tra una breve esposizione ad alta temperatura e una più moderata nel lungo periodo, nonché la variabilità dei risultati per specie analizzate. Per una migliore conoscenza dei fenomeni di carbonizzazione che possono aver influito sui residui organici presenti nella matrice del piano forato del forno di Sévrier, la riproduzione sperimentale delle condizioni di cottura a legna durante le quali si alternano le fasi ossidanti e riducenti e gli *step* di temperatura, potrebbe completare i dati raccolti durante gli studi il cui protocollo richiedeva esclusivamente l'uso di forni elettrici (MARKEL, ROSCH 2007; BRAADBAART, POOLE 2004, 2008; WRIGHT 2003, 2014).

Per quanto riguarda i residui organici presenti nel frammento del forno, il loro stato è incompatibile con un intenso trattamento termico di tipo ceramico che coinvolgerebbe : a) cotture multiple per tutta la vita del dispositivo; b) cotture prolungate. Gli esperimenti nelle repliche del forno di Sévrier erano dell'ordine delle 8-9 ore; c) cotture ad alta intensità.

La tecnologia del forno ha permesso di affrancarsi dai limiti imposti dal metodo di cottura a fuoco aperto di tipo neolitico, perpetuatosi durante le ere dei metalli e che non superava i 500°/600°C (BILLAUD 1982) oppure 600°/800°C (MUNTONI, RUGGIERO 2013). La comparsa di forni da ceramica ha permesso di raggiungere gli obiettivi di temperatura che, secondo le tradizioni ceramiche locali, si avvicinano o superano i 1000°C. Da quel momento in poi, la loro architettura e tecnica di costruzione si evolverà per distinguersi radicalmente dai forni a uso alimentare dell'età del Bronzo progettati per temperature che, sulla base di dati sperimentali non superano i 480°C (CATTANI, DEBANDI, PEINETTI 2015).

Infatti, in molte procedure fisico-chimiche di caratterizzazione del materiale, è convenzionale eliminare il contenuto di materia organica di un materiale per calcinazione a 500°C. Pertanto, se gli elementi organici inclusi nel frammento analizzato hanno subito un effetto termico, esso deve essere ben al di sotto di 500°C. È la presenza di tali resti vegetali notevolmente conservati che sembra essere l'argomento essenziale a favore di un debole trattamento termico subito dal pavimento perforato del forno di Sévrier.

## 7. CONCLUSIONI

Spesso utilizzata nel campo dell'archeologia, la diffrattometria a raggi X si è dimostrata efficace nell'evidenziare i cambiamenti di fase dei depositi di argilla all'aumentare della temperatura. Ha consentito, inoltre, un'analisi fine delle fasi dell'argilla che compongono il frammento del piano forato, la sua matrice nera e i vari rivestimenti che ne coprono la superficie. Per dedurre, con il nostro metodo comparativo, la temperatura massima alla quale è stato esposto il piano forato del forno di Sévrier, è essenziale avere a disposizione un'argilla grezza di identica composizione.

Ipotizzando che la produzione di questo forno fosse locale, era logico cercare un materiale argilloso disponibile nel vicino spazio geografico dell'isola del Crêt de Châtillon.

Così, l'argilla estratta dal delta del Laudon era la miglior candidata sia per la vicinanza, l'abbondanza e la qualità. Tuttavia, questo materiale mostra una certa eterogeneità, sia in affioramento che in profondità, che non permette di basare i nostri confronti su criteri mineralogici. D'altra parte, tenuto conto della modesta dimensione di questo forno e della sua struttura modulare e portatile non si può escludere che sia stato fabbricato in un luogo completamente diverso da quello in cui è stato scoperto e quindi che la materia prima argillosa utilizzata per la sua preparazione sarebbe di tutt'altra provenienza.

Un'altra parte del nostro studio ci riporta ai vegetali calcinati. Durante le famose «pesche all'antichità» condotte da società sapienti o da collezionisti nel corso della seconda metà del XIX secolo, i siti palafitticoli del lago del Bourget (Savoia-Francia) situati a 30 km dal lago di Annecy hanno consegnato diversi frammenti di piani forati molto simili al forno di Sévrier. Abbiamo esaminato questo materiale depositato al «Musée Savoisien» di Chambéry. Di questi, 3 frammenti, presentano residui organici sulla superficie dei cocci o nella pasta ceramica. Il frammento rif. 897100 (sito di Grésine) presenta sulla sua superficie masse scure parzialmente colonizzate da depositi calcarei (Fig.15 a). Al microscopio binoculare gli agglomerati di semi di miglio calcinato sono chiaramente riconoscibili (Fig.15 b). Su due frammenti della stessa collezione abbiamo anche osservato altri resti di semi calcinati rif. 897 1242 ed eroso rif. 89794 (COULON 2012).

Se la vicinanza spaziale di forni modulari e semi di grano o orzo è stata precedentemente affermata (CURDY *et alii* 1993, BOUBY *et alii* 2011), la relazione diretta tra semi di miglio e frammenti di piano forato argilloso non ha precedenti. Questa relazione fornisce una forte argomentazione, sostenendo l'assunzione della funzione culinaria dei forni della Savoia alla fine dell'età del Bronzo e forse contribuendo a una migliore comprensione delle strutture simili prevalenti nell'Europa occidentale durante l'età dei metalli.

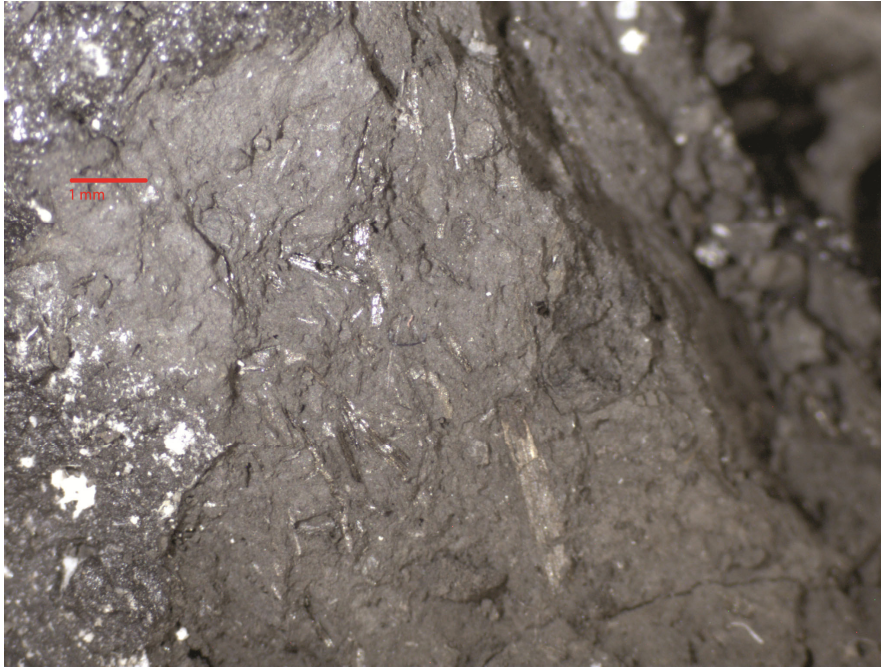


Fig.14. Elementi vegetali ben conservati in un frammento di parete del forno di Sévrier. Fotografia binoculare Leica Firecam.  
*Plant debris well preserved in a fragment of the Sévrier kiln. Leica Firecam Binocular Photography.*

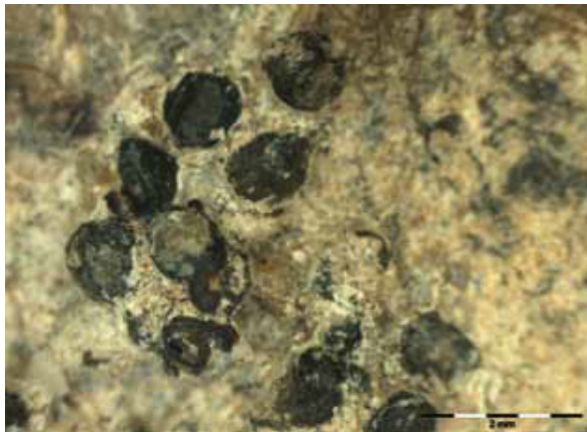


Fig.15. Miglio e piano forato. Musée Savoisien de Chambéry (Savoie). a) frammento ref 897100 : mucchio di semi di miglio calcinati, agglutinati sulla superficie del piano forato. b) frammento rif. 89794: seme calcinato ed eroso. Abitato di Gresine, Lago di Gresine, Tarda età del Bronzo, Lago di Bourget (Savoie) © J Coulon.  
*Millet seeds and perforated floor fragments. Musée Savoisien. Chambéry. a) fragment ref 897100: heap of millet seeds calcined, agglutinated on the surface of the kiln floor. b) fragment ref. 89794: calcined and eroded seed. Gresine site, Late Bronze Age, Lake Bourget (Savoie) © J Coulon.*

## BIBLIOGRAPHY

- ABOAL FERNANDEZ R., COBAS FERNANDEZ I. 1999, *La arqueologia en la Gasificacion de Galicia 10: Sondeos en el Yacimiento Romano-Medieval de as Pereiras*, Tapa 13, pp. 1-69.
- ANASTASIU R., BACHMANN F. 1991, *Hauterive Champréveyre 5, les terres cuites du Bronze final, témoins de la vie quotidienne et religieuse*, Archéologie neuchâteloise 11, pp. 51-59.
- BARBARO C.C. 2013, *Cooking, working and burying in ancient Neolithic: The ovens of Portonovo*, Origini XXXV, Marche, Italy, pp. 31-82.
- BERTASI B. 2009, *San Giorgio Ingannapoltron. Un'officina preistorica dell'età del ferro*, L'Arena di Verona di martedì 13 maggio 2008 provincia pag. 26 (VR 21 dicembre 2009)
- BILLAUD Y. 1982, *Étude minéralogique des chapes argileuses et des céramiques de la station néolithique des Baigneurs* En ligne: < <http://aimebocquet.perso.sfr.fr/billaud82.htm?>>.
- BILLAUD Y. 2005, *La station littorale du Saut de la Pucelle (Tresserve, lac du Bourget, Savoie), Rapport de fouille (subaquatique) 2004*, Ministère de la culture et de la communication, Département des Recherches Archéologiques Subaquatiques et Sous- Marines, Antenne d'Annecy.



- BOCQUET A., COUREN J.-P. 1975, *Le four de potier de Sévrier Haute-Savoie (âge du bronze final)*, Etudes préhistoriques (Lyon) 9, pp. 1-6.
- BOISSON H. 2002, *Deux structures liées à la production de céramique non tournées du premier âge du fer à Mailhac (Aude)*, DAM Document archéologie méridionale 25, pp. 7-31.
- BOISSINOT P., BOUBY L., MARINVAL P. 2011, *Never Mind the Bottle. Archaeobotanical Evidence of Beer-brewing in Mediterranean France and the Consumption of Alcoholic Beverages during the 5th Century BC*, Hum Ecol pp. 351-360.
- BRAADBAART F. 2004, *Carbonization of peas and wheat, A laboratory study, Leiden, The Netherlands*. Braadbaart F., Van Bergen PF 2005, *Digital imaging analysis of size and shape of wheat and pea upon heating under anoxic conditions as a function of the temperature*, Vegetation History and Archaeobotany 14, pp. 67-75.
- BRAADBAART F., POOLE I. 2008, *Morphological, chemical and physical changes during charcoalification of wood and its relevance to archaeological contexts*, Journal of Archaeological Science 35, pp. 2434-2445.
- BRINDLEY G.W., BROWN G. 1980, *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identification*. Mineralogical Society, London, 495 p.
- CATTANI M., DEBANDI F., PEINETTI A. 2015, *Le strutture di combustione ad uso alimentare nell'età del Bronzo. Dal record archeologico all'archeologia sperimentale*, OCNUS 23, 2015, pp. 9-43.
- CHAUSSERIE LAPREE J. 2005, *Martiques, terre gauloise: entre celtique et Méditerranée*, Paris, Éd. Errance (Coll. les Hauts lieux de l'Histoire), 256 p.
- CHAUSSERIE-LAPREE J., NIN N. 1990, *Martiques Le village protohistorique du quartier de l'Île*, Documents d'Archéologie Méridionale DAM 13, pp. 35-136.
- COLAS S. 1998, *Etude des températures de cuisson par diffraction X, des céramiques de la Graufesenque*, Annales de Pegasus 3, pp. 41-46.
- COULON J. 2012, *Le four de Sévrier en Haute-Savoie à l'âge du Bronze. Reprise des données et nouvelles perspectives*, Thèse de doctorat. Université Lyon 2. Langues histoire et civilisations des mondes anciens, p. 1022
- COULON J. 2013, *Etude d'une sole de four en argile (Période protohistorique). Savenay, site de La Colleray (Loire-Atlantique)*, in SELEQUE J., Rapport final d'opération, Société Archéoloire, Guérande, pp.132-146.
- COULON J. 2015, *Archéologie expérimentale : la cuisson des céramiques noires de type Bronze final*, in REY P.J., DUMONT A., L'homme et son environnement : des lacs, des montagnes et des rivières. Bulles d'archéologie offertes à André Marguet. RAE. Dijon, pp. 383-394.
- COULON J. 2016, *La dégradation des argiles cuites en milieu lacustre : approche expérimentale et pistes de réflexion*. in R. Issenmann et Th. Nicolas (dir.) *L'usage de la terre à bâtir en France non méditerranéenne durant la Protohistoire: du petit mobilier à l'architecture*. Actes de la journée d'étude de l'APRAB 1er Mars 2013, Musée d'Archéologie Nationale. Bulletin de l'APRAB, Supplément n° 2. 117 p. <https://aprab.hypotheses.org/>
- CUOMO DI CAPRIO N. 1971-1972, *Proposta di classificazione delle fornaci per ceramica e laterizi nell' area italiana*, Sibirium XI, p. 447.
- CUOMO DI CAPRIO N., PICON M. 1999, *La mesure des températures de cuisson des céramiques par dilatométrie*, Actes del 5è Curs d'arqueologia d'Andorra, novembre 1997, pp. 86-109.
- CURDY P., MOTTET M., NICOU D., BAUDAIS D. 1993, *Brig-Glis/Waldmatte, un habitat alpin de l'âge du Fer*. Fouilles archéologiques, N 9, Valais, Archéologie suisse 16, p. 144.
- DEDET B., ROUQUETTE D. 2002, *L'habitat du Bronze final des Courtinals à Mourèze (Hérault)*, Fouilles du C.R.A. des Chênes Verts en 1961, DAM 25, pp. 33-63.
- DELCROIX G., HUOT J.L. 1972, *Les fours dits « de potier » dans l'Orient ancien*. Syria, 49, pp. 35-82 et plans, pp. 87-95.
- DESBAT A., SCHMITT A. et al. 2003, *Techniques et méthodes d'étude. La céramique, La poterie du néolithique aux temps modernes*, Collection Archéologiques, Errance, Paris, 286 p.
- DUFAY B. 1996, *Les fours de potiers gallo-romains : synthèse et classification. Un nouveau panorama*, SFECAG, Actes du Congrès de Dijon, pp. 297-312.
- DUHAMEL P. 1973, *Les fours céramiques en Gaule romaine: étude morphologique* Thèse de l'Ecole pratique des hautes études, sous la direction de P.-M. Duval, EPHE, Paris
- ECHALLIER J.-C. 1984, *Éléments de technologie céramique et d'analyse des terres cuites archéologiques*, DAM, Méthodes et techniques, 3.
- FABRE M.A.G.P. 1973, *Measurement of the hardness of calcareous ceramic bodies. Application: the evaluation of the firing temperature of antique ceramics*, Bull. Soc. Fr. Ceram, 99, pp. 39-49.
- GAJ G., GIARETTI M., MAESTRO O., PEINETTI A., VENTURINO GAMBARI M. 2016, *I forni dell'età del Ferro di Montecastello: strutture per il trattamento di prodotti alimentari ?*, Quaderni della Soprintendenza Archeologica del Piemonte 31, 2016, pp. 35-53.
- GARCIA ROLLAN M. 1971, *Memoria de la excavacion arqueologica de Castromao (Caeliobriga)*, Archivo Espanol de Arqueologia 44, pp. 175-211.
- GIORGIO J.-M., BONAFOUS B. 1998, *Le four de Sévrier sauvé des eaux*. Revue de la céramique et du verre, n° 99 mars avril 1998, p. 50-53.

- GROPPO V. 2018, *Il forno ad elementi mobili di Oderzo (TV), via Dalmazia*, in BORGNA E., CASSOLA GUIDA P., CORAZZA S. eds. *Preistoria e Protostoria del Caput Adriae*, Atti della XLIX Riunione Scientifica IIPP, Udine, Pordenone 2014, Studi di Preistoria e Protostoria 5, Firenze, Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria, pp. 901-906.
- HANSEN STREILY A.P. 2000, *Early pottery kilns in the middle east*, *Paléorient* 26, 2, pp. 69-81.
- HASAKI E. 2002, *Ceramic kilns in Ancient Greece, Technology and organisation of ceramic workshops*. University of Cincinnati, Cincinnati, 565 p.
- KINGERY W.D. 1974, *A note on the determination of the differential thermal analysis of archaeological ceramics*, *Archaeometry* 16, pp. 109-112.
- LANDREAU G., MARATIER B. 2008, *Un habitat de hauteur de l'Âge du fer en Saintonge littorale: Vil Mortagne-sur-Gironde (Charente-Maritime)*, *Bulletin de l'Association des Archéologues de Poitou-Charentes* 37, pp. 21-30.
- MAC.QUITTY A. 1984, *An Ethnographic and Archaeological Study of Clay Ovens in Jordan*, *Annual of the Department of Antiquities of Jordan* 28, pp. 259-267.
- MAGGETTI M. 1982, *Phase analysis and its significance for technology and origin In archaeological Ceramics*, in Smithsonian Institution Press, Washington, Éd. Olin J.C. and Franklin A.D, pp. 21-33.
- MAJIDZADEH Y. 1975, *The development of the pottery kilns in Iran from prehistoric to historical periods*, *Paléorient* vol. 3, pp. 207-221.
- MANIATIS Y., TITE M.S. 1975, *"A scanning electron microscope examination of the bloating of fired clays."*, *Trans. J. Brit. Ceram. Soc.* 74, pp. 229-232.
- MARGUET A. 1991, *Sévrier, Le Crêt-de-Chatillon (lac d'Annecy), Chronique des découvertes archéologiques dans le département de la Haute-Savoie en 1991*, *La Revue Savoisiennne* 131<sup>e</sup> année, Académie Florimontane Annecy, pp. 23-24.
- MARKEL T., ROSCH M. 2007, *Experiments on the effects of carbonization on some cultivated plant seeds*, *Vegetation History Archaeobotany* 17, pp. 257, 263.
- MOORE D. M., REYNOLDS R. C. Jr. 1997, *X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*, 2nd ed., Oxford University Press, Oxford, UK, p. 378.
- MULLER A. 1979, *La stratigraphie du Cluzel (commune de Toulouse)*, *Revue archéologique de Narbonnaise* 12, pp. 125-159.
- MULLER A. 1997-1998, *L'oppidum du Cluzel (Toulouse, Haute-Garonne), du Bronze final au deuxième âge du fer, bilan des fouilles 1968-1987*, *Aquitania* 15, pp. 27-71.
- MUNIER P. 1951, *Méthodes d'identification des minéraux des argiles. Cas des argiles céramiques*, in Groupe Français des argiles. *Compte rendu des réunions d'études*. Tome 3, 1951, pp. 61-78.
- MUNTONI I.M., RUGGIERO G., 2013, *Estimating firing temperatures of pyrotechnological processes in the neolithic site of Portonovo*, *Origini* XXXV, pp. 52-56.
- NIN N. 2003, *Vases et objets en terre crue dans le Midi durant l'âge du Fer. Cl.-A.* in CHAZELLES et alii, *Terre modelée, découpée ou coffrée. Matériaux et modes de mise en œuvre, Échanges transdisciplinaires sur les constructions en terre crue*, Actes de la table-ronde de Montpellier 17-18 novembre 2001, éd. de l'Espérou, Montpellier, pp. 95-146.
- PEINETTI A. 2014, *Terra cruda e terra cotta. Architettura domestica e attività artigianali*, in VENTURINO GAMBARI M. ed., *La memoria del passato. Castello di Annone tra archeologia e storia*, *Archeologia Piemonte* 2, Castello di Annone (AT), pp. 275-319.
- PERINET G. 1960, *Contribution de la diffraction des rayons X l'évaluation de la température de cuisson d'une céramique*, 7th International Ceramic Congress, pp. 370-376.
- PICON M. 1994-1996, *Les mesures, par dilatométrie, des températures de cuisson des céramiques de La Graufesenque : principes et applications*, *Annales de Pegasus* 3, pp. 32-40.
- RUFFA M. 2019, *Piani forati portatili da Gropello Cairoli (PV), loc. Santo Spirito*, Forni, focolari e fornaci tra Neolitico e prima età del Ferro, IAPP 6 Abstract book.
- SCHEFFER C. 1981, *Acquarossa, Cooking and Cooking Stands in Italy. 1400/400 B.C.*, Éd. Acta Instituti Romani Regni Sueciae, Stockholm, p. 114.
- SALZANI L., SANTINON F. 2015, *La fornace di San Giorgio di Valpolicella (Verona)* in G. LEONARDI G., TINE V., *Preistoria e protostoria del Veneto*, Firenze, pp. 959-962.
- TASCA G. 2018, *I concotti del castelliere di Pozzuolo (trincea E4)*, in BORGNA E., CASSOLA GUIDA P., CORAZZA S., a cura di, *Preistoria e Protostoria del Caput Adriae*, Atti della XLIX Riunione Scientifica IIPP, Udine – Pordenone 2014, Studi di Preistoria e Protostoria 5, Firenze, Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria, pp. 893-900.
- TITE M.S. 1969, *Determination of the firing temperature of ancient ceramics by measurement of thermal expansion: A reassessment*, *Archaeometry* 11, pp. 130-143.
- VENTURINO GAMBARI M., GIARETTI M., PEINETTI A., QUERCIA A. 2015, *L'artisanat du Piémont méridional et le cas emblématique de Villa del Foro (Alessandria, Italie)*, in *Production e proto-industrialisation aux âges du Fer. Perspectives sociales et environnementales*, 39<sup>e</sup> colloque internationale de l'AFEAF, Nancy, France.