

IL CANTIERE DUECENTESCO DI CHÂTEL-ARGENT A VILLENEUVE: UNA FORNACE PER UN CASTELLO

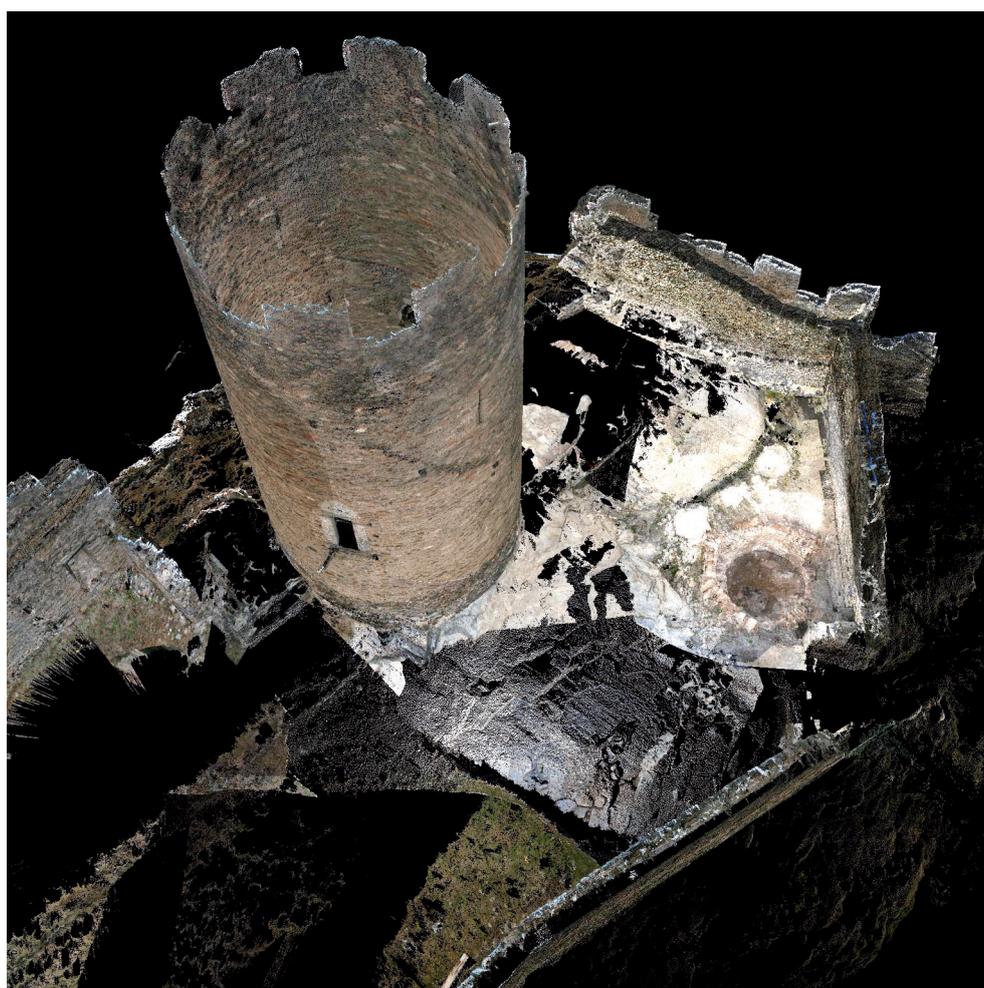
Gabriele Sartorio, Antonio Sergi, Mauro Cortelazzo*

Una fornace “datante”

Gabriele Sartorio

Parlare di “archeologia della produzione” a proposito del ciclo di lavorazione della calce può risultare per certi versi obsoleto ed al contempo fortemente innovativo. Obsoleto perché il funzionamento, teorico, di un forno da calce è stato ampiamente descritto nella bibliografia: già Adam si era soffermato sulle caratteristiche tecniche, chimiche e fisiche, della produzione in periodo romano,¹ attraverso confronti precisi anche di carattere etnografico; Giannichedda e Mannoni hanno quindi affrontato il problema dal punto di vista dei materiali, con un’attenzione più diretta verso il periodo medievale e tardo-medievale;² Vecchiattini ha quindi sviluppato l’analisi del funzionamento delle calcinare pre-industriali (XVIII-XIX secolo) di Sestri Ponente (GE), consentendo in definitiva un approccio pressoché complessivo al problema “produttivo”.³ Innovativo perché se la teoria è chiara, decisamente meno lo è la pratica. Se si esclude il lodevole

lavoro di Petrella, che per prima, e con buoni risultati, ha cercato di enucleare le caratteristiche salienti di questi impianti produttivi (arrivando a concepire una scheda di catalogazione per le calcare archeologiche, utile alla formazione di un *database* cronotipologico),⁴ ci si accorge infatti che i casi di forni da calce studiati a fondo nella loro valenza di sistemi produttivi sono ancora piuttosto rari. Comprendere sul campo, dalle tracce lasciate sul terreno, come fosse organizzato un cantiere edile antico non è quasi mai possibile, sia a causa della frammentarietà delle informazioni rinvenute, sia perché non sempre le strutture produttive assurgono a catalizzatori dell’attenzione in corso di scavo, sia infine perché i dati disponibili sono normalmente deficitari o dal punto di vista cronologico (difficoltà di datazione) o riguardo i lavori edili cui la fornace è in definitiva collegata.⁵ Per tutti questi motivi è sembrato necessario avviare uno studio approfondito del forno da calce rinvenuto a Châtel-Argent di Villeneuve nel corso della campagna di scavo 2008-2009 (fig. 1).



1. Modello laser scanner a nuvola di punti della parte sommitale del castello a scavo ultimato del raffurnum.
(Elaborazione L. Bornaz - ad hoc 3D Solutions S.r.l.)

La motivazione dell'importanza della struttura poggia anche in ambiti storico-archivistici, dunque esterni alla pura ricerca archeologica o di laboratorio, seppure, come rilevato da Petrella,⁶ a questa intimamente legati. La rilettura e prima trascrizione di un documento datato 1274-1275, una rendicontazione del balivo di Aosta e Châtel-Argent Pietro di Chavannes,⁷ ha permesso infatti di ricavare importanti notizie a proposito del grande cantiere edile che in quegli anni venne impiantato sul sito del castello con lo scopo di provvedere ad una vera e propria ricostruzione della fortificazione ormai ammalorata.⁸ Nel corso dei lavori, eseguiti sotto la direzione del capomastro locale Umberto di Bard, patrocinati dal conte Filippo di Savoia e da questi controllati mediante specifiche personalità itineranti (in particolare Guido di Voyron e Jacques de Saint-Georges), si fa preciso riferimento alle spese connesse a due forni da calce (*raffurna*). Tralasciando il secondo, situato *subtus burgum castris Argenti*, del primo si dice che venne realizzato *iuxta turrim*, accanto alla torre (che più avanti si afferma essere in costruzione), e questo permette di poterlo identificare senza possibilità di errore con la struttura emersa nel corso dello scavo archeologico dell'alta corte del castello, immediatamente a nord-est della grande torre a pianta circolare (fig. 1).⁹

L'attenta lettura delle poche righe della pergamena dedicate alle spese rendicontate per la costruzione ed il funzionamento della calcara pone un problema interpretativo e permette al contempo alcune considerazioni. Il problema consiste nel fatto che lo scriba duecentesco, normalmente molto preciso riguardo alla corretta suddivisione dei diversi capitoli di spesa, separa, come già ricordato, la realizzazione della fornace presso la torre cilindrica da quella della fornace sotto il borgo, assegnando a ciascuna una spesa differente (19 lire ed 11 soldi il forno castellano, 15 lire e 7 soldi quello burgense); subito dopo, però, cita al "singolare" le ulteriori spese legate all'approvvigionamento della pietra calcarea e del legname (4 lire ed 8 soldi per la pietra, 7 lire e 12 soldi per la legna), legandole dunque implicitamente solo al *raffurnum* burgense.¹⁰ Se si ammettesse un errore dello scriba, e si riconoscesse dunque nelle spese indicate una somma da collegare alla cava e trasporto dei materiali per entrambi i forni, se ne dovrebbe dedurre che il forno accanto alla torre fosse di dimensioni maggiori rispetto a quello burgense (costerebbe circa 4 lire in più) e che le quantità di pietra e legname indicate nel documento fossero sufficienti per il funzionamento di due distinte calcare; in caso contrario, ed è questa la versione che appare più degna di fede, si dovrebbero comprendere nella spesa di 19 lire e 11 soldi tutti i lavori connessi alla realizzazione ed all'approvvigionamento del materiale necessario al funzionamento del solo forno castellano. Si consideri che il testo della pergamena, a proposito della cifra di 19 lire per la fornace *iuxta turrim*, si premura di escludere dal totale il legname ricavato dalla spoliatura della cinta lignea di un *castrum vetus* (il *barrium* del documento, il cui prezzo evidentemente non andava sommato),¹¹ parti del quale vennero reimpiegate anche nella costruzione dei solai della torre.¹² L'apparente assenza di riferimenti al costo della pietra da cuocere, troverebbe inoltre soluzione considerando come il forno burgense costi 15 lire di realizzazione, 4 lire di

pietrame e 7 lire di legname: se si sommano il pietrame e la realizzazione si ottengono proprio 19 lire, la stessa somma indicata per il forno castellano. Spingendosi più in là nel ragionamento, si potrebbe traslare la quantità di legna connessa al solo secondo forno, 1350 *billones* in totale, alle necessità del primo forno, a patto di accettarne la teoria sulle dimensioni consimili.

Come si capisce tale operazione, per quanto attraente, si spinge molto in là nel campo dell'incertezza; inoltre non si può pretendere, in assenza di elementi, di assegnare ai due forni le medesime caratteristiche ed il medesimo numero di utilizzi: il forno castellano servì appositamente alla realizzazione della torre e (probabilmente) della cortina muraria difensiva, mentre il forno del borgo, da dati interni al documento, sembrerebbe essere connesso alla riedificazione della pila centrale di sostegno di un ponte ligneo sulla Dora.¹³

Su queste basi può prendere avvio l'analisi più propriamente tecnica della struttura.

Le caratteristiche tecniche

La produzione della calce non può considerarsi un'attività innovativa: fino ad avvenuta rivoluzione industriale si continuarono, infatti, ad utilizzare strutture che tecnologicamente presentavano ben poche varianti rispetto alle loro omologhe distanti nel tempo anche più di mille anni, fatto che permette, almeno in linea teorica, un confronto tra strutture simili su un arco temporale decisamente esteso (in pratica almeno dal periodo romano all'epoca moderna).¹⁴ Un tentativo di comparazione della fornace valdostana con casi consimili non può dunque limitarsi ad un lasso cronologico troppo circoscritto, rendendo necessario considerare fornaci anche molto distanti per località e cronologia da quella in esame. Più precisamente, i fattori confrontabili riguardano: la collocazione all'interno del sito, la forma, le dimensioni, la presenza di un rivestimento delle pareti, la presenza del *fortax* e della *lacuna*, la presenza e tipologia di *præfurnium*, la quantità e qualità della pietra utilizzata, la quantità e qualità del legname, la temperatura raggiunta, il tempo totale di cottura, il numero di utilizzi. Per abbracciare una tematica così complessa è necessario dunque incrociare questi fattori - molti dei quali spesso non rilevabili attraverso la sola indagine archeologica - con la datazione e localizzazione geografica delle singole fornaci, oltre che con i dati provenienti dalle ricerche di carattere sperimentale.¹⁵

In questo senso il forno rinvenuto a Châtel-Argent è da considerarsi della massima importanza, perché a differenza della maggior parte delle calcare individuate e studiate dispone di un appiglio cronologico assoluto. Dal punto di vista tecnico-tipologico rientra nel gruppo delle cosiddette fornaci "a cottura intermittente" (o preindustriali), caratterizzate dalla necessità di tre fasi produttive: la costruzione del volto in pietre calcaree (carico), il raggiungimento e mantenimento della temperatura di combustione (cottura), lo smantellamento del volto in seguito al raffreddamento della struttura (scarico).¹⁶

La posizione, nel punto più alto del sito fortificato e contro una parete rocciosa in pendenza da sud verso nord, risponde sia alla necessità di predisporre il cantiere nelle vicinanze del luogo prescelto per la costruzione della torre

cilindrica,¹⁷ sia alla regola empirica che prevedeva di interrare la fornace per almeno la metà della sua altezza per aumentarne il grado di coibentazione, essenziale per la fase di cottura in strutture che, con tecnologie ancora prescientifiche, dovevano raggiungere e conservare per parecchi giorni temperature vicine ai 900° C.

La forma del forno è perfettamente circolare, con un diametro interno di 3,15 m. Due muri sono riconoscibili lungo il perimetro della struttura¹⁸ (figg. 2, 3). Il muro interno (US 334), che forma una circonferenza perfetta, presenta uno spessore di circa 60 cm; è conservato per un'altezza massima di 1,40 m sul lato occidentale, mentre si riduce ad una piccola cornice di circa 50 cm di altezza sul lato meridionale e scompare quasi completamente sui lati settentrionale ed orientale, parzialmente demoliti. Le porzioni conservate di questa struttura, che costituisce il vero e proprio scheletro della fornace, non presentano alcuna inclinazione rilevante e risultano nascoste da una colata di calce e malta spessa alcuni millimetri, difficil-

mente attribuibile ad una volontà costruttiva (come del resto dimostra l'assenza delle stesse colate sull'unico sperone di muratura superstita ad est).¹⁹ Il muro esterno (US 327), anch'esso di forma circolare, è conservato solo sul lato meridionale della calcara (altezza massima 2 m circa dal piano della fornace), utilizza come pseudolegante un limo argilloso, è in leggera pendenza verso monte (sud) e forma una vera e propria camicia refrattaria e di contenimento del terreno;²⁰ non vi sono prove del fatto che questa cortina foderasse l'intera struttura,²¹ la quale sembrerebbe anzi priva di questo rivestimento sui lati est ed ovest (il lato settentrionale è stato fortemente modificato in seguito alla costruzione del recinto difensivo).

Riguardo alla forma, quella circolare è la più comune per i forni da calce bassomedievali, in contrapposizione a quella ovoide, che appare più tipica, con le dovute eccezioni (ad esempio la *Crypta Balbi* a Roma),²² di un orizzonte altomedievale. Presentano forma circolare, per fare alcuni esempi, le fornaci di Sainte-Blaise-de-Bauzon, in Vaucluse (F),



2. Ortofoto solida cilindrica di precisione dell'interno del raffurnum.
(Elaborazione L. Bornaz - ad hoc 3D Solutions S.r.l.)



3. Ortofoto di precisione solida del raffurnum. Ortofoto nadirale.
(Elaborazione L. Bornaz - ad hoc 3D Solutions S.r.l.)

datate alla metà del XIII secolo, di Rocca San Silvestro (LI), avente medesima cronologia, di Sala Baganza (PR), ipoteticamente collocata nel XII secolo, così come la quasi totalità dei forni di epoca moderna (XVI-XVII secolo);²³ al contrario la forma ovoide o pseudo-circolare è riscontrabile prevalentemente in fornaci come quella di Goux-Lès-Dole, nello Jura francese, di Tavaux-et-Pontséricourt, nell'Aisne (F), di Sessenheim, nel Basso Reno francese, tutti esempi compresi in una cronologia tra il V ed il X secolo.²⁴

Lo sviluppo in altezza della struttura è invece difficile da restituire sulla base dei pochi dati a nostra disposizione. Basandosi sulle regole espresse da Catone nel *De Agricultura*, è possibile che la calcara raggiungesse un'altezza pari a circa il doppio del proprio diametro:²⁵ considerando tuttavia il caso di Rocca San Silvestro, dove la fornace è stata data allo stesso periodo di quella di Châtel-Argent e presenta caratteristiche dimensionali simili (3 m di diametro massimo), si potrebbe proporre di ridurre l'altezza totale della struttura ad un massimo di 3,5-4 m, anche a causa della pendenza del terreno sbancato per l'occasione.²⁶

Il carico del materiale calcareo doveva invece seguire le regole canoniche, formando mediante le pietre di maggiori dimensioni un ambiente voltato, esercitante la funzione di camera di combustione;²⁷ le pietre rimanenti venivano disposte al di sopra della volta così realizzata, autoportante, fino a raggiungere il culmine della calcara.²⁸ La ricostruzione virtuale della camera di combustione del forno rinvenuto a Châtel-Argent pone tuttavia alcuni quesiti: infatti, a giudicare dalle pareti conservate, non è presente alcuna risega né alcun attacco di volta fino all'altezza di 1,40 m dal fondo; inoltre immaginare una camera di 3 m di diametro sembra difficile considerando la necessità di raggiungere e mantenere temperature vicine ai 900-1000° C. Sembra al contrario più probabile che i calcinaroli disponessero le pietre direttamente a partire dal fondo della calcara, lasciando libera una porzione piuttosto piccola di volume, da destinarsi alla combustione dei legni. Una ricostruzione di questo genere è suffragata anche dalla localizzazione dei carboni e delle ceneri di cottura rinvenuti nel corso dello scavo.²⁹ La funzione isolante per la parte di pietre emergenti dal terreno doveva essere svolta dalla prosecuzione in altezza del muro della fornace.

Una necessità imprescindibile, oltre al mantenimento della temperatura, va ravvisata nel tiraggio del forno, che doveva assicurare una cottura omogenea ed una dispersione dei fumi. Sulla scorta delle ricostruzioni effettuate al Centro di Archeologia Sperimentale del Ballenberg in Svizzera,³⁰ si può avanzare per Châtel-Argent l'ipotesi che dei veri e propri camini di tiraggio venissero ricavati mediante l'inserimento di pali lignei tangenti alla struttura refrattaria in corso di carico del forno; in tale modo, successivamente al loro dissolvimento, si verrebbero a creare dei condotti naturali di sfianto che, attraendo calore dalla camera di combustione, favorirebbero l'uniformità della cottura del carico calcareo. Si deve infine osservare che l'inserimento della calcara all'interno della parete del rilievo deve aver costretto le maestranze ad operare un notevole sbancamento di terreno.³¹

Un altro elemento che a Châtel-Argent rimane di difficile comprensione è la posizione e conformazione della bocca di carico per l'immissione del combustibile.

Spesso le fornaci da calce erano costruite, come già ricordato, su terreni con pendenze anche elevate a motivo della necessità di isolamento termico della struttura, fatto che rendeva pressoché naturale il posizionamento del condotto di alimentazione sul lato a valle della calcara stessa. Essendosi maggiormente conservata a Châtel-Argent la metà occidentale della fornace e non presentando questa alcuna traccia di aperture, l'accesso doveva essere posizionato ad est. L'osservazione della conformazione del pendio (in media pendenza da nord verso sud ed in forte pendenza da ovest verso est) e l'analisi dell'unico filare ancora visibile del muro circolare su questi due lati, permettono tuttavia di propendere per una collocazione dell'accesso sul lato sud-orientale:³² la particolarità rappresentata dalla presenza di una pietra piatta di circa 70 cm di lunghezza posta nella cortina orientale, differente dal resto del paramento ottenuto in scapoli spaccati di medie dimensioni, potrebbe infatti rivestire la funzione di una sorta di soglia legata allo svuotamento del forno dalla cenere prodotta.³³ A questo proposito è probabile che i legni non venissero gettati direttamente sul fondo, ma che una qualche struttura ora non più conservata (una trave in pietra posta a mezza altezza ad esempio) consentisse di separare la cenere di risulta dai legni appena inseriti, favorendo la pulizia stessa della camera di combustione.

Dal punto di vista formale e dimensionale, dunque, la fornace di Châtel-Argent rientra a pieno titolo nella "media" delle calcare bassomedievali; anche il suo immaginabile utilizzo per più di una cottura, in funzione della grandezza del cantiere da essa servito,³⁴ risponderebbe in pieno alla casistica esaminata.

Il passaggio finale consiste nel tentare una ricostruzione riguardo alla capacità volumetrica e produttiva della calcara di Villeneuve. Giustificare un'operazione di questo genere sulla base dei pochi dati metrici a nostra disposizione può sembrare difficile, finanche pretestuoso qualora se ne consideri il margine di errore e soggettività. Tuttavia tentare di fornire dei dati in una situazione privilegiata dal punto di vista storico come quella in esame è doveroso, e pur segnalando la precarietà dei risultati raggiunti e le criticità insite nel metodo applicato, non si può tralasciare l'indubbia valenza che riveste il tentativo stesso di una tale ricerca.

Si è partiti dal confrontare tra loro fornaci, afferenti a diversi periodi storici, alcune provenienti da situazioni da scavo, altre da ricostruzioni etnografico-sperimentali, altre desunte dalla trattatistica sette-ottocentesca precedente l'introduzione della produzione industriale. Il risultato, che qui si propone sotto forma di tabella³⁵ (tabella 1), mette bene in risalto come, al contrario di quanto si potrebbe immaginare, non vi sia affatto uniformità nelle proposte avanzate dagli studiosi.

I dati sono indicativi delle criticità riscontrate. In particolare si nota immediatamente come le dimensioni, specialmente le altezze, delle singole calcare siano spesso in aperta contraddizione con il rapporto canonico indicato da Catone e seguito, a detta della trattatistica, in modo pedissequo fino alla scomparsa dei metodi tradizionali di produzione. Il forno rinvenuto a Châtel-Argent appare in ogni caso assolutamente nella media della tipologia di queste strutture. Sulla base di questi dati, si può avallare

Sito	Nazione	Datazione proposta	Forma in pianta	Diametro (m)	Altezza (m)	Volume approssimativo	Tipo di legname	Calce viva prodotta	Quantità legna/cottura	Durata della cottura
Goux-Lès-Dole	F	V sec.	Ovoidale	4 max 3,5 min						
Sessenheim	D	VII sec.	Ovoidale	±1,40 max ±1,25 min	± 2,8	± 3,5-4 m ³		±3,5 m ³ 55 q		
Roeschwoog	D	VII sec.	Ovoidale	± 1,5 max ± 1,3 min	± 3	± 4-5 m ³		±4 m ³ 63 q		
<i>Crypta Balbi</i>	I	VIII sec.	Circolare	±3,5	>3					
Tavaux-et-Pontséricourt	F	VIII-X sec.	Ovoidale	3,15 max 2,50 min	>2					
Monte di Montella (1)	I	IX sec.	Circolare	4	>1					
Sala Baganza	I	XII sec.	Circolare	4,70	>3,50	>60 m ³		>55 m ³ >874,5 q	±100 m ³	circa 7 giorni/ notti
Châtel-Argent	I	1274 1275	Circolare	3,15	±3,5	±24-26 m ³ (±22 tolto il volume della camera di combustione)	Larice	±20-22 m ³ 318-350 q	±30-50 m ³	4/5 giorni/ notti
Rocca San Silvestro	I	XIII sec.	Circolare	3,00	4	±28 m ³		±26 m ³ 413 q		
Bollène (C5)	F	XIII sec.	Circolare	3,20	5	±41 m ³		±39 m ³ (620 q)	±42 m ³	5 giorni/ notti
Monte di Montella (2)	I	XIII sec.	Circolare	4-4,60						
"Quarneti"		Post XVI sec.	Circolare	4	3-3,5	350 q (14 m ³)	Fascine secche	200 q (±12,5 m ³)	±350 q	2-4 giorni/ notti
Alagna Valsesia	I	XIX sec.	Circolare	2,70	3	±17 m ³		120/130 q (±8 m ³)	±240/250 q	3 giorni/ notti
"Lorenese"		XIX sec.	Circolare			±44 m ³		±43 m ³ (683 q)	±46,5 m ³	5 giorni/ notti
Sestri Ponente	I	XIX sec.	Circolare	3,60	7	±62 m ³		±59 m ³ (938 q)	±63 m ³	7 giorni/ notti
Molay-Littry	F	XV-XVI sec.	Circolare	2,80 max 2,40 min	2,70	±14 m ³		±12 m ³ 190 q		
Ballenberg	CH	XXI sec.	Circolare	1,80	2,60	±7 m ³	Abete - Faggio - Recupero	±150 q (9,5 m ³)	±20/30 m ³	4 giorni 3 notti
Coppito	I	XX sec.	Circolare	2,5	2	±10 m ³		35 q (±2 m ³)		

Tabella 1.



Parametri oggettivi



Parametri ricavati da altre pubblicazioni



Parametri calcolati

una ricostruzione ipotetica dell'altezza attorno ai 3,5-4 m, abbastanza vicina al caso di Rocca San Silvestro, dimensione che sembra verosimile se adattata alla particolare conformazione morfologica del terreno.

La fase di cottura, sempre seguendo un procedimento comparativo con le fonti a nostra disposizione, può essere compresa tra i 4 ed i 5 giorni/notte, benché sia indicativo rilevare come su questo punto gli studi e le ricostruzioni siano concordi.

La quantità di legna necessaria invece permette una divagazione ulteriore. I forni sette-ottocenteschi bruciavano soprattutto fascine, mentre il documento sabauda parla esplicitamente di *billones* (tronchetti d'albero?) e legni del *barrium* dismesso, che vennero con ogni probabilità spaccati per raggiungere le dimensioni desiderate. Dai dati dei consumi riportati nella tabella, ancora una volta notevolmente discrepanti, si può forse ipotizzare che per una cottura fossero necessari tra i 30 ed i 50 m³ di legname.³⁶ Il totale di 1350 *billones*/tronchetti (650 *billones* acquistati e 700 dalle riserve del signore) che nel documento appare previsto per il forno burgense e che in ragione dell'ipotetica dimensione simile dei due *raffurna* del documento può essere considerato valido anche per il forno castellano, non aiuta purtroppo a definire con maggiore accuratezza il dato.

Per quanto riguarda invece il tentativo di ricostruzione della capacità produttiva si è tentato un passaggio ulteriore (si veda Sergi *infra*).

In definitiva, nonostante lo sforzo profuso, non si può affermare che i risultati raggiunti siano definitivi: questo, se da un lato è dovuto all'altissimo grado di soggettività cui la ricostruzione è debitrice, dall'altro è causato dall'assoluta discrepanza dei dati raccolti nella tabella, che spesso sembrano smentirsi l'un l'altro. Riflettere su queste divergenze servirà a chiarire, con il prosieguo della ricerca, quale sia la variabile che gli studi finora effettuati, compreso quello presente, non sono riusciti ad interpretare correttamente. In ogni caso lo scopo del lavoro era e rimane quello di fornire un'ipotesi preliminare: ulteriori approfondimenti potranno in futuro ricalibrare l'analisi sulla base di nuove acquisizioni.

Il cantiere: dalla produzione della calce alla messa in opera

Mauro Cortelazzo

Nel fornire il resoconto dei lavori d'indagine svolti nel corso del 2008 sulla parte sommitale del castello di Châtel-Argent, riconducibile a quello che può essere identificato come ultimo ridotto difensivo, veniva sottolineata la presenza, nel settore più orientale, di una struttura circolare ipotizzandone la funzione come forno da calce.³⁷ Lo scavo archeologico di questo settore del castello è stato completato nel corso del 2009 confermando l'attribuzione del manufatto a questa specifica attività di cantiere (fig. 4). La struttura è stata indagata contemporaneamente ai livelli circostanti con l'intento di documentare, compatibilmente con le profonde manomissioni e asportazioni degli interventi dei secoli successivi, la superficie di frequentazione del cantiere e possibilmente i percorsi e le logistiche



4. La fornace in corso di scavo nel settembre 2009.
(G. Sartorio)

di percorrenza riguardo alle attività svolte. L'intervento precedente si era limitato a evidenziare la presenza della struttura e a identificare l'affioramento dei depositi connessi alle attività a essa inerenti. In questa campagna si è proceduto allo scavo stratigrafico dei depositi interni alla fornace documentando la struttura e il metodo di costruzione. A completamento delle operazioni è stato inoltre eseguito un rilievo *laser scanner*³⁸ integrandolo con quello realizzato in precedenza e utilizzato in particolare per l'analisi della torre circolare e del suo impalcato.³⁹ Il settore indagato è stato limitato alla sola porzione settentrionale interessando un'area di oltre 200 m²; nelle successive campagne è previsto il completamento dell'indagine nella restante parte meridionale. Il settore ha restituito purtroppo solo brevi porzioni di suoli di frequentazione a causa delle intense attività di asportazione del terreno realizzate tra Otto e Novecento che hanno raggiunto il substrato roccioso. Tali attività sono intervenute ad asportare anche ampie porzioni delle strutture murarie, comprese le loro fondazioni, rendendo veramente complesso ogni tentativo di ricostruzione degli spazi e delle volumetrie dei corpi di fabbrica in questo settore della fortificazione. Ciò nonostante, nell'area più orientale dove la superficie rocciosa crea un salto di quota inclinandosi repentinamente, è stata risparmiata un'ampia porzione di deposito di terreno all'interno del quale venne scavata la fornace. In questo tratto si sono potuti evidenziare lembi di suolo di frequentazione relativi alle attività di cantiere connesse con l'estrazione dei blocchi, la cottura, lo spegnimento, la miscelatura e la messa in opera della calce. Si tratta di tracce superstiti di una complessa attività di cantiere che necessariamente doveva avere una sua precisa logistica, con aree e percorsi funzionali a un'organizzazione del lavoro che, per essere efficace, rendeva indispensabile un coordinamento e un presupposto progettuale. Quanto portato alla luce è ciò che rimane di un sistema indubbiamente più complesso e più vasto che doveva coinvolgere differenti professionalità che pur intervenendo in momenti diversi, si pensi ad esempio alla messa in opera delle varie parti architettoniche della torre per conto di artigiani specializzati, si trovavano a dover utilizzare sempre la calce prodotta nella medesima fornace. Senza dubbio ciò che l'indagine archeologica ha restituito è solo una minima

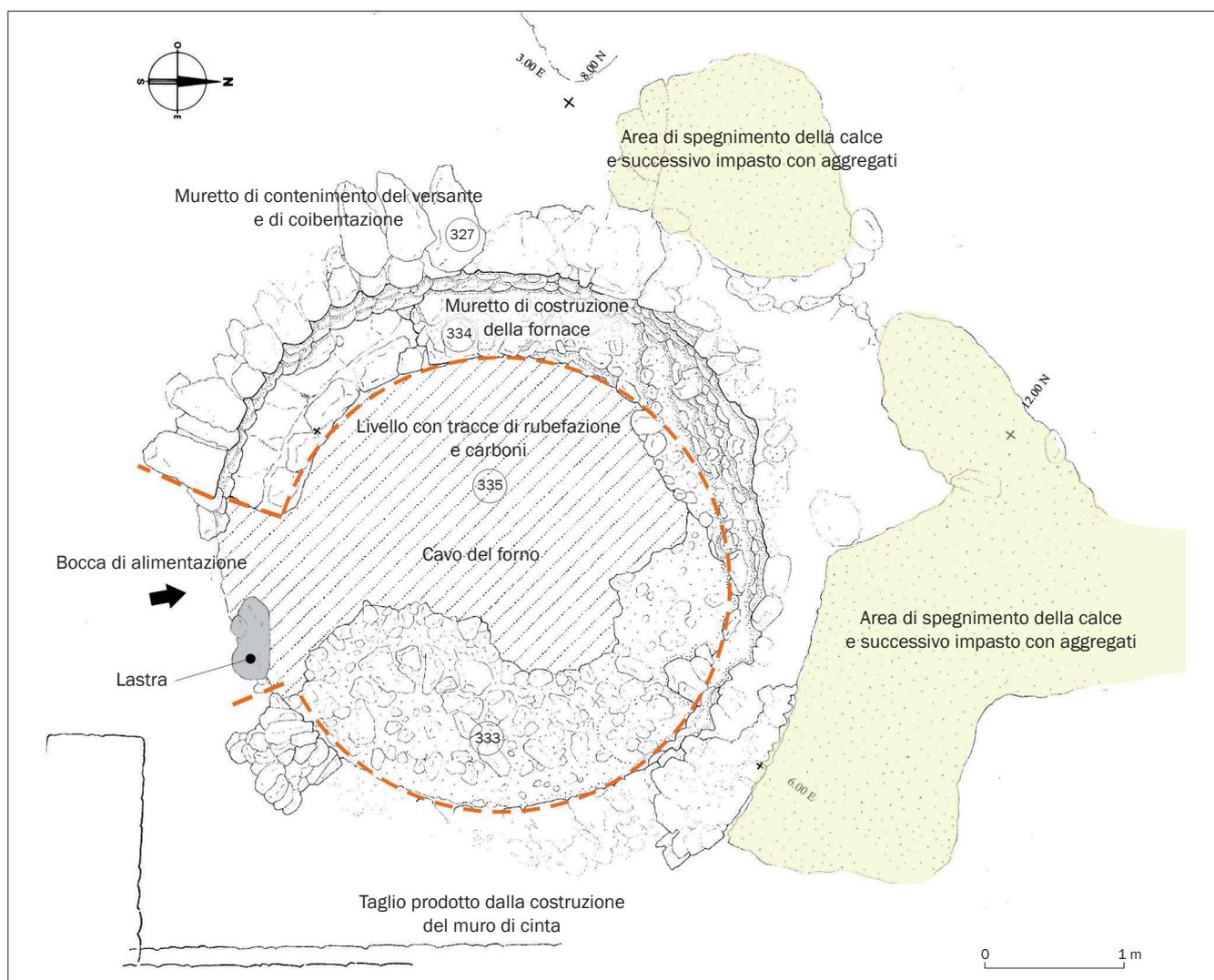
traccia di quanto invece doveva aver prodotto la laboriosità e la movimentazione del cantiere edile. Mancano completamente, infatti, i segni di pali o strutture lignee atte al sollevamento dei blocchi di pietrame; non è stato possibile riconoscere le aree di stoccaggio del pietrame così come quelle degli inerti da miscelare con la calce spenta. Tuttavia, se consideriamo le risultanze di altri ritrovamenti di fornaci da calce,⁴⁰ possiamo constatare come, al di là del semplice ritrovamento della struttura riferibile alla fornace stessa, mancano del tutto le informazioni e i segni materiali delle attività che ad esse dovevano essere correlate e che gioco forza si dovevano produrre con le movimentazioni di cantiere. Unica eccezione in tal senso il ritrovamento di una fornace all'interno dell'edifizio della *Crypta Balbi*, dove sono stati riconosciuti i piani di frequentazione che si riferiscono all'uso della fornace, il deposito di travertini e marmi bianchi destinati alla cottura e la zona di raccolta dei materiali estratti dalla fornace.⁴¹ La fornace di Châtel-Argent, pur trovandosi sulla sommità di un rilievo roccioso e pur avendo subito asportazioni di terreno in epoche recenti, ha restituito vari elementi materiali correlabili ad attività di cantiere che ci permettono di avanzare alcune considerazioni sui percorsi e sulla diversa articolazione delle aree di lavorazione e percorribilità del sito, in particolare, durante la costruzione della torre cilindrica. Sulla base, quindi, delle strutture materiali emerse nel corso dell'indagine e la ricostruzione della posizione degli impalcati si è configurata una possibile localizzazione delle attività e un'articolazione dei percorsi funzionali all'edificazione degli edifici presenti all'interno dell'ultimo ridotto difensivo.

Le risultanze archeologiche della fornace

L'impianto produttivo per la produzione della calce, come abbiamo visto testimoniato dai documenti riguardanti la rendicontazione, rappresenta il fulcro intorno al quale ruotano le attività del cantiere edile. La sua posizione, dettata anche da requisiti di tipo morfologico, è strategica sia per l'approvvigionamento del pietrame da cuocere che per il trasporto della calce, ormai miscelata, sui ponteggi per la messa in opera.

La costruzione della fornace è stata progettata con l'intento di poter sfruttare il salto di quota di questo tratto dello sperone roccioso. L'addossamento al versante doveva avere come finalità il mantenimento di una maggiore conservazione del calore poiché non a caso, come vedremo, la bocca di alimentazione si trova a essere quasi diametralmente opposta rispetto al pendio. Il fatto di trovarsi incastonata nel versante le permetteva di beneficiare di un buon isolamento termico e allo stesso tempo la posizione della bocca di alimentazione della camera di fuoco verso il pendio facilitava le operazioni di carico e scarico della camera stessa. Sfruttando la conformazione del terreno è stata creata una fossa, tagliando nel versante probabilmente parte del substrato roccioso e un deposito di formazione naturale, caratterizzato da una matrice limoso-argillosa di colore rossastro al cui interno erano presenti ghiaie di diverso diametro, frutto delle ultime deposizioni di origine fluvioglaciale. Tale deposito ricopriva direttamente il substrato roccioso geologicamente riconducibile a calcescisti con stratificazioni marmoree di marmi calcarei

dolomitici frequenti nella zona. Le rocce, definibili come rocce montonate, presentavano una superficie liscia e levigata dall'azione dei ghiacciai con le sporgenze modellate dalla potente azione del ghiaccio in movimento facendo assumere al profilo forme dolcemente arrotondate. Contro il versante era costruito un muretto con elementi lastriformi di varia pezzatura (US 327) che utilizzava come pseudolegante un limo argilloso in tutto simile a quello riscontrato all'interno del deposito di formazione naturale. Probabilmente, date le caratteristiche argillose di tale terreno, esso è stato utilizzato come ulteriore presupposto per ottimizzare la funzione di isolamento della struttura. Quest'ultima presenta uno sviluppo prevalente al settore dove la fornace si addossa al versante mentre nella parte restante, sulla base delle osservazioni effettuate in fase di scavo, sembrerebbe molto meno conservata. Una buona quantità dei blocchi di pietrame sistemati a formare la struttura mostrava, in particolare sulla superficie interna, alterazioni rossastre dovute a fonti di calore. All'interno di questo elemento strutturale è presente un altro muretto concentrico legato con malta (US 334), realizzato con una cura maggiore, ma conservato solo per pochi corsi e ricoperto in parte da calce prodotta e colata dall'attività d'impasto con aggregati effettuata nella parte più alta verso nord. Questo muretto doveva appartenere alla costruzione vera e propria della fornace e svilupparsi in altezza venendo a costituire il cavo del forno, che doveva contenere il carico di pietrame da sottoporre a cottura. Molto probabilmente con la dismissione dell'impianto produttivo fu prelevato anche il pietrame appartenente alla struttura stessa della fornace. Come vedremo in seguito, infatti, la fornace è stata tagliata durante la costruzione della nuova cinta, quella che delimita l'ultimo ridotto difensivo verso est, quasi certamente nella fase terminale del cantiere e, proprio in quell'occasione, potrebbe essere stato prelevato il pietrame. La dimostrazione che le attività del cantiere edile proseguirono anche dopo la dismissione dell'impianto e il suo smontaggio, è costatabile dal fatto che l'impasto di calce e ghiaia che ha ricoperto il muretto interno ha rivestito, costituendo uno spesso strato, anche la parte interna del muretto a secco più esterno, realizzato per contenere la dispersione del calore. La concentrazione di tale crosta di calce si trova non a caso proprio sul lato dove sono meglio conservate le ampie tracce dello spegnimento della calce stessa e del suo impasto con i diversi aggregati. La spoliazione del pietrame appartenente alla fornace limita purtroppo le considerazioni sul suo sviluppo in elevato ma ci permette di indicare il punto dove doveva collocarsi la bocca di alimentazione per la camera di fuoco. Gli elementi che consentono di definire la posizione sono riconducibili al margine netto del muretto più esterno che coincide con il margine del muretto interno e alla presenza di una lastra di maggiori dimensioni collocata proprio nei pressi della bocca nella parte interna della fornace. Tale lastra (ritrovata spezzata e parzialmente visibile nel rilievo - fig. 5) apparteneva probabilmente alla soglia della camera di carico, che doveva aver la funzione di facilitare lo svuotamento delle ceneri, o al sistema di suddivisione in due parti della bocca di carico, così come documentato nella fornace ricostruita al Ballenberg,⁴² e permettere l'appoggio delle travi durante il loro inserimento nella camera di fuoco.



5. Dettaglio dell'impianto produttivo.
(Rilievo G. Abrardi, elaborazione M. Cortelazzo)



6. Piano d'uso interno della fornace con concentrazione di carboni (US 335).
(S.E. Zanelli)



7. Deposito di pietrame e calce (US 333) relativo alla fase di abbandono della fornace.
(S.E. Zanelli)

Un altro dato che conferma la posizione della bocca di alimentazione è la maggiore concentrazione di frustoli carboniosi in questa zona del piano d'uso interno della fornace (US 335) che corrisponde anche allo spiccato dei muri (fig. 6). Su questo piano i carboni, pur essendo distribuiti sull'intera superficie, non costituivano un vero e proprio livello ma si trovavano a essere mescolati con il terreno o inglobati in chiazze di calce. Ciò sembrerebbe denotare un'accurata pulizia delle ceneri di legna all'interno della fornace una volta effettuata l'ultima cottura, probabilmente per evitare un possibile mescolamento con le pietre cotte, pronte per essere trasformate in calce spenta. Il piano d'uso interno, una volta asportati completamente i depositi che lo ricoprivano, si presentava omogeneo, con un orizzonte ben definito, uniformemente ricoperto da tracce rossastre di rubefazione e con una più intensa concentrazione, associata a un addensamento di carboni, proprio nella porzione prossima alla bocca d'alimentazione. Su questo piano poggiavano alcune chiazze di calce già miscelata con aggregati, che, cadendo all'interno della fornace, mostravano nella parte inferiore, una volta staccati dalla superficie sottostante, i frustoli carboniosi della concentrazione di cui si è detto in precedenza. Sempre all'interno del cavo del forno, ma nella porzione più orientale in addossamento al muretto perimetrale, era presente un deposito di pietrame e calce che apparteneva già alla fase di abbandono dell'impianto (US 333) (fig. 7). Questo materiale sia per le sue caratteristiche, sia per la disposizione caotica, deve essere ricondotto a uno scarico volto a ricolmare il cavo della fornace in modo da ricreare un piano di frequentazione alla quota di affioramento delle strutture. Un piano cioè che tendeva a pareggiare la superficie nel punto in cui la roccia dà origine al salto di quota e quasi certamente finalizzato a generare un terrazzo in addossamento al muro di cinta che verrà poi costruito successivamente. La fornace, infatti, è stata interamente colmata da un unico deposito (US 330) di

colore rossiccio, piuttosto ghiaioso, contenente tracce di argilla rubefatta, mescolate a terreno prelevato da formazioni naturali, con frequenti elementi litici lastriformi. L'osservazione della stratigrafia del deposito ci ha permesso di stabilire che il processo di colmata deve essere avvenuto in un'unica attività. L'impianto produttivo è stato in seguito tagliato dalla fossa di costruzione del muro di cinta orientale (fig. 8). L'edificazione di questa struttura, realizzata dopo l'apporto di terreno di colmata, ha intercettato un'ampia porzione del muro che delimitava il cavo del forno e probabilmente una parte di questo pietrame è stato recuperato e reimpiegato nella nuova costruzione. Infine l'impianto, con le tracce di spegnimento della calce, e tutta l'area circostante sono stati sigillati dai terreni relativi alle sistemazioni a scopi agricoli dell'intera altura riferibili ad epoche recenti.

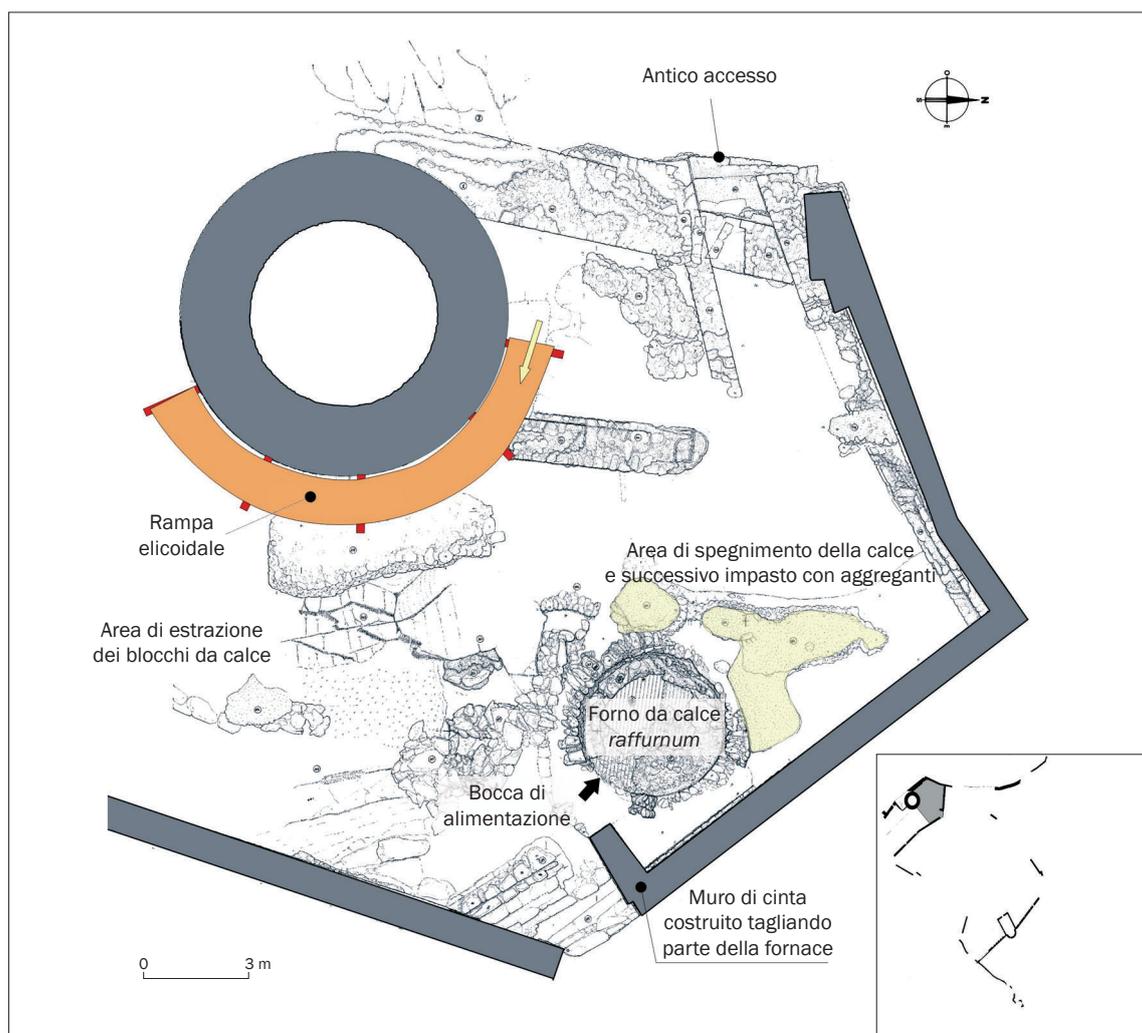


8. Traccia del taglio di "asporto della fornace" per la costruzione del muro di cinta orientale.
(S.E. Zanelli)

Aree di spegnimento e miscelatura della calce

Al di fuori della fornace, nella zona più settentrionale, sono state portate alla luce alcune chiazze di calce piuttosto estese (fig. 9). Queste hanno permesso di determinare quale fosse la quota del piano di calpestio esterno all'impianto produttivo, a circa 1,40 m di altezza dal piano interno, e di collocare una delle zone dove l'operazione di spegnimento della calce veniva effettuata. La posizione di queste tracce si trova a essere in un punto diametralmente opposto alla bocca di alimentazione e occupa una superficie di poco inferiore ai 10 m². Il terreno in questo punto è leggermente digradante verso est e le chiazze presentano spessori molto differenti secondo i punti. Osservando le loro sezioni, nei tratti dove possibile, si è potuta costatare la sovrapposizione di differenti livelli che mostravano spessori diversi. Al loro interno si sono anche osservati piccoli nuclei di grassello e di calce non perfettamente estinta con qualche piccola scheggia di calcare. Questi elementi ci hanno permesso di stabilire che la realizzazione dell'impasto con aggregati di tipo diverso, siano essi sabbia, ghiaia di piccolo diametro o spezzato di pietrame di piccole dimensioni, doveva avvenire in questa zona. Diversamente non è possibile stabilire con certezza se anche lo spegnimento della calce viva fosse eseguito nel medesimo punto anche se, come osservato, la presenza di alcuni grumi ci

fa ritenere che la zona destinata a quest'operazione non doveva trovarsi molto distante. Per contro non sono state identificate tracce o piccole buche di palo che potessero far pensare all'esistenza di vasche di legno, all'interno delle quali dovevano essere trattate le zolle di calce appena estratte dalla fornace e miscelate con acqua per ottenere lo spegnimento della calce viva.⁴³ È pur vero però che da un lato l'area è di estensione limitata e che buona parte di essa è attualmente costituita da roccia affiorante a cui deve essere aggiunto l'intervento di costruzione del muro di cinta. Allo stesso modo però non è stato nemmeno possibile individuare i punti dove dovevano essere accumulate le ghiaie prima di essere miscelate. In definitiva gli intensi rimaneggiamenti subiti dai depositi archeologici in questa parte del castello hanno cancellato molte tracce dell'attività di cantiere ma, ciò nonostante, quanto rimasto ci permette di avanzare e proporre una serie di osservazioni e di puntualizzazioni. Una delle considerazioni che riteniamo debba essere valutata è relativa a come e dove venisse effettuato lo stoccaggio del grassello.⁴⁴ La quantità prodotta doveva essere considerevole⁴⁵ e, date le sue caratteristiche, cioè l'esigenza di non lasciarne esposta all'aria neanche una minima parte poiché nell'arco di un breve periodo si sarebbe solidificata, diventava necessario provvedere ad un suo stoccaggio. Anche pensando a



9. Rilievo archeologico interpretato con indicazione delle installazioni di cantiere. (Rilievo G. Abrardi, elaborazione M. Cortelazzo)

uno spegnimento della calce e immediatamente alla sua miscelatura con vari tipi di aggregati e alla tempestiva messa in opera, diviene poco probabile pensare a un uso continuo dell'intero carico cotto all'interno della fornace. Da ciò si può comprendere come una volta completata la cottura, ci si trovasse ad avere un intero carico di calce che per un certo periodo di tempo poteva rimanere completamente esposto alle intemperie. Sembra molto probabile, quindi, che fornaci del tipo ritrovato a Châtel-Argent, nonostante nel caso in questione si debba segnalare il mancato ritrovamento di buche di palo, potessero essere coperte da una tettoia o comunque che l'intero carico avesse in qualche modo al di sopra una qualche struttura leggera che lo riparasse. Alcuni autori ritengono che anche la calce viva, appena estratta dal forno, fosse immagazzinata in zolle all'interno di botti di legno.⁴⁶ Se il grassello, ben ricoperto da un velo d'acqua, poteva essere utilizzato nell'arco di un giorno o due, diversamente per la calce viva occorreva molta attenzione per far sì che umidità o piogge improvvise non attivassero il processo di estinzione spontanea. Questo doveva essere uno dei maggiori problemi da affrontare nella fase di cantiere datosi che, anche per il semplice stoccaggio, occorreva utilizzare spazi asciutti e facilmente raggiungibili considerato il peso delle botti. Se in definitiva la presenza delle chiazze di calce e malta confermano l'uso di un certo spazio per precise attività del cantiere, per contro evidenziano una serie di problematiche connesse a stoccaggio e movimentazione del prodotto che lo scavo in questione non ha potuto risolvere.

Area di estrazione dei blocchi di calcare

Un'area a sud dell'impianto produttivo, a circa una decina di metri di distanza, ha restituito una serie di evidenze che ci hanno permesso di stabilire come in quel punto doveva avvenire l'estrazione dei blocchi lapidei per la cottura e la realizzazione della calce. L'estensione dell'affioramento non è certamente sufficiente a soddisfare l'esigenza di un cantiere delle dimensioni di Châtel-Argent e di conseguenza, come vedremo oltre, altre zone di approvvigionamento dovevano esistere in prossimità del sito. L'estrazione del materiale è stata operata realizzando tagli non sempre regolari ma sfruttando prevalentemente ogni frattura



10. Fori dei cunei per il distacco del substrato roccioso. (M. Cortelazzo)

naturale, difetto o incrinatura del banco roccioso. Sono stati osservati i fori dei cunei che erano inseriti a forza per favorire il distacco (fig. 10). L'accatastamento dei blocchi, che ricopriva in parte la zona delle tracce di estrazione, era stato interpretato, in un primo momento, quando non era ancora emersa la struttura della fornace, come materiale accatastato da impiegare nella realizzazione di muri di terrazzamento poiché si presentava semplicemente ricoperto da un deposito di terreno di epoca recente. In seguito, constatando la presenza dei fori dei cunei, la compatibilità del minerale con la produzione di calce e non da ultimo la prossimità dell'impianto produttivo, è risultato chiaro che l'operazione di estrazione di questo materiale doveva essere collegato all'attività della fornace. Di fatto l'approvvigionamento della materia prima è uno dei fattori di maggior importanza nella produzione di calce e il poter sfruttare un banco roccioso collocato a poca distanza doveva costituire una condizione veramente privilegiata. Un altro elemento a favore di questa interpretazione è la constatazione che nella realizzazione delle strutture murarie del castello questo tipo di materiale lapideo non è così frequentemente utilizzato, anzi in buona parte le tessiture sono interessate da lastre di calcescisti, ciottoli o altro tipo di roccia. All'interno dell'area fortificata esistono altri punti dove i tagli in roccia potrebbero essere ricondotti proprio all'estrazione di materiale lapideo e le future indagini potranno meglio chiarire anche l'entità di queste cave.

Logistiche di cantiere, percorsi e produttività

La conoscenza di un antico processo produttivo e dei suoi vari cicli di lavorazione è legata alla quantità di evidenze che un'indagine archeologica è in grado di trasformare in comprensione delle operazioni necessarie alla riuscita dell'impresa. Gli eventi e le attività che arrivano a interagire in una precisa area nel momento in cui viene installato il cantiere, quando prendono forma e si concretizzano i percorsi e le dinamiche logistiche dei processi produttivi, generano evidenze materiali che solo un attento metodo interpretativo può trasformare in potenziale informativo. Le azioni che vengono intraprese sono in molti casi temporanee e alla conclusione delle operazioni si trovano ad essere interamente smantellate o cancellate nel corso della sistemazione definitiva degli spazi. La provvisorietà di molti impianti e di strutture deperibili di piccola entità, necessarie alla realizzazione di allestimenti temporanei, lascia tracce di debole entità viepiù se, come nel nostro caso, i livelli d'uso risultano essere molto prossimi all'affioramento del substrato roccioso. La distribuzione e la caratterizzazione delle aree, legate a una precisa specificità operativa, rappresentano le tappe di un ciclo di lavorazione nel quale i percorsi divengono obbligati. Il filo che lega queste dinamiche del moto operativo ci restituisce la laboriosità di coloro che con ruoli diversi hanno dato vita alla creazione di questo complesso fortificato. Il tempo trascorso tra quell'evento e la sua conoscenza, che alla luce delle indagini archeologiche ci siamo proposti di conseguire, risente, purtroppo, di quella perdita d'informazioni che ha determinato la debolezza di alcune ipotesi che in questo lavoro sono state suggerite. L'ipotesi ricostruttiva dell'impianto e delle sue dinamiche spaziali, pur

con la sua discutibile affidabilità, ci ha però obbligato a considerare anche quelle evidenze negative che, legate a deperibilità dei materiali, asporti e distruzioni, rischiano di sfuggire a una lettura focalizzata alle sole testimonianze archeologiche emerse dallo scavo. L'operazione, per certi versi ambiziosa, è consistita anche nel ragionare sulle mancanze, sulle componenti immateriali, su quanto cioè il sito non era in grado di raccontare per arrivare a ragionare su un'archeologia delle assenze.

La distribuzione di quanto lo scavo ha restituito, associata agli elementi ricavabili dall'analisi degli impalcati messi in opera per la costruzione della torre circolare (fig. 9), ci ha consentito di riproporre l'organizzazione dell'impianto di cantiere messo in atto tra il 1274 e il 1275. Perno dell'allestimento di ognuna delle parti disposte a determinare la catena della filiera produttiva deve essere considerata la fornace per la cottura della calce. La posizione della torre circolare, nel punto più elevato dello sperone roccioso, rappresenta un fulcro altrettanto importante condizionato da precise esigenze di poliorcetica e di conformazione del sito. Su questi due elementi dovevano coordinarsi la movimentazione dei materiali e l'attività dei lavoratori. L'estrazione dei blocchi di calcare, come abbiamo visto, doveva avvenire nella parte più meridionale dell'area e nelle zone più in basso all'interno della cinta inferiore. I blocchi dovevano presentare pezzature di misura contenuta, ad eccezione di quelli funzionali alla preparazione del volto della camera di cottura, e quindi a seguito del semplice distacco dovevano essere sottoposti a un'ulteriore frammentazione. La distanza che separa questa zona di attività estrattiva dalla fornace non supera i 10 m, mentre dai possibili altri settori di approvvigionamento non si oltrepassano i 50 m. La localizzazione della fornace è legata anche a esigenze di carattere funzionale quali la possibilità di garantire una migliore isotermità. Poco a est dell'impianto, alla base di una leggera pendenza, è presente un'area pianeggiante piuttosto ampia dove, con molta probabilità, potrebbe essere stato accatastato il legname da inserire nella camera di combustione per l'alimentazione della fornace. Certa invece risulta essere la zona in cui, completata la cottura del materiale lapideo, veniva praticato lo spegnimento della calce viva. Si tratta di una porzione di terreno quasi a ridosso della fornace poiché le zolle prodotte dalla cottura dovevano essere semplicemente prelevate dall'interno un po' alla volta e mescolate con acqua per ottenere il grassello. Il mancato ritrovamento di tracce di casseforme,⁴⁷ all'interno delle quali poteva essere compiuta quest'attività, non sembra tuttavia implicare che l'operazione avvenisse senza elementi di contenimento a causa della quantità d'acqua necessaria al fine di estinguere in ogni tornata le zolle di calce viva per produrre l'impasto.⁴⁸ L'iconografia, sotto quest'aspetto, sembra chiarire il problema, poiché nelle rappresentazioni compaiono vasche ben delimitate da tavole lignee che testimoniano proprio l'attività di spegnimento della calce e, viceversa, semplici accumuli senza elementi di contenimento, che mostrano la preparazione dell'amalgama con gli inerti, sabbia e ghiaia, per ottenere la vera e propria calcina.⁴⁹ In questo stesso punto del cantiere doveva svolgersi anche la produzione della malta pronta per la messa in opera. L'aggiunta di aggregati e di additivi determinava

la qualità del legante così come l'accuratezza dell'impasto. Portata a termine quest'operazione doveva avvenire il trasporto verso il punto in cui il prodotto finito era predisposto in letti orizzontali per realizzare le murature. L'attività di trasporto doveva compiersi, con buona probabilità, con l'ausilio di vassoi di legno dotati di un manico per bilanciarne il peso, così come mostrato in molte raffigurazioni tra cui alcune riferibili a edificazioni realizzate in località abbastanza prossime al sito in questione.⁵⁰ Per raggiungere la sommità della torre man mano che la sua costruzione procedeva, fu realizzato un impalcato esterno a essa, di forma elicoidale, supportato da travi inserite nella muratura. Per raggiungerlo, essendo presente solo a partire da una certa quota, doveva essere predisposta una scala a pioli. Il piano di percorrenza data la sua forte pendenza non doveva essere completamente rigido ma quasi certamente realizzato con corde o fibre intrecciate per favorire la presa ed evitare lo scivolamento. Raggiunta la cresta del muro in costruzione il ciclo, iniziato con il distacco del materiale lapideo dal substrato roccioso, poteva dirsi completato e l'indurimento del legante garantiva, presupponendo una corretta esecuzione di tutta la filiera, la realizzazione di un'opera muraria di ottima qualità così come sembra testimoniare la perfetta conservazione della torre cilindrica costruita proprio in quell'occasione. Tuttavia, l'esito di un processo di lavorazione e produzione non è certamente meno importante della messa in opera e lo studio dettagliato della torre e delle murature circostanti deve ancora essere approfondito per individuare tutti quegli elementi che ci potrebbero permettere di comprendere ancora più nello specifico le dinamiche di cantiere di un edificio di tale imponenza. Il documento che ci parla della costruzione della torre e di altre porzioni del castello di Châtel-Argent⁵¹ ci permette però anche di appurare come l'organizzazione dei cantieri si vada radicalmente modificando. È stato osservato che nel corso del Duecento «mentre aumenta in modo costante il volume dell'attività edilizia, i profili professionali nel settore tendono a differenziarsi secondo gli stadi della produzione, dal recupero dei materiali fino alla posa in opera [...] La complessità organizzativa genera una dinamica articolazione di compiti e di retribuzioni [...]: ogni cantiere costituisce, in questo senso, una microstoria».⁵² Proprio attraverso la rendicontazione delle spese legate all'edificazione della torre cilindrica di Châtel-Argent, è possibile riconoscere un'ampia varietà di figure diversamente caratterizzate sia per il tipo di lavoro svolto che per gli incarichi assegnati. «Il mutamento tra struttura del cantiere altomedievale e struttura del cantiere bassomedievale si rispecchia nell'ampliamento e nella diversificazione della committenza, nell'articolazione e nella gerarchizzazione interna delle categorie artigianali, nel precisarsi del ruolo eminente di chi, per mezzi o competenze, poteva svolgere funzioni progettuali o amministrative sempre meglio definite».⁵³ Se in questa disamina abbiamo delineato, anche se per sommi capi, la conduzione del ciclo produttivo, la ricostruzione dei percorsi, l'organizzazione degli spazi e le dinamiche di localizzazione delle attività esercitate, molto manca ancora dell'uomo «reale e storico, che organizza strutture e superfici, pieni e vuoti, per soddisfare i propri scopi predeterminati».⁵⁴

Una possibile ipotesi di ricostruzione virtuale del raffurnum per la calce di Châtel-Argent

Antonio Sergi

La collocazione del forno da calce all'interno dell'alta corte del castello collega inequivocabilmente la sua produzione all'edificazione della torre e, quantomeno, della prima cinta muraria.

Si è pensato quindi che il calcolo dell'ipotetica produzione di calce, e dunque dell'utilizzo della fornace, avrebbe potuto trovare spunto e conferma attraverso un controllo incrociato di dati: da un lato quelli ricavabili dalla massa della torre, dall'altro quelli ipotizzabili sulla base dei dati forniti dall'indagine archeologica.

Considerando un'altezza media dei filari che compongono la torre pari a 17 cm, le pietre alte mediamente 13 cm, il piano di allettamento di 3,5 cm, l'altezza della torre intorno ai 17 m pari a 100 filari circa, il suo diametro interno alla base di 5 m che aumenta di 3,4 cm al solaio del primo livello, di 6,8 cm al solaio del secondo livello e di 2,64 m all'altezza del camminamento sommitale di ronda, si è calcolato il volume della muratura,⁵⁵ corrispondente a circa 630 m³, quello della malta adoperata nella costruzione,⁵⁶ pari a circa 130 m³ trasformati nel corrispondente peso di 2210 q,⁵⁷ e da questa il peso della calce spenta, calcolato in circa il 30% del peso della malta.

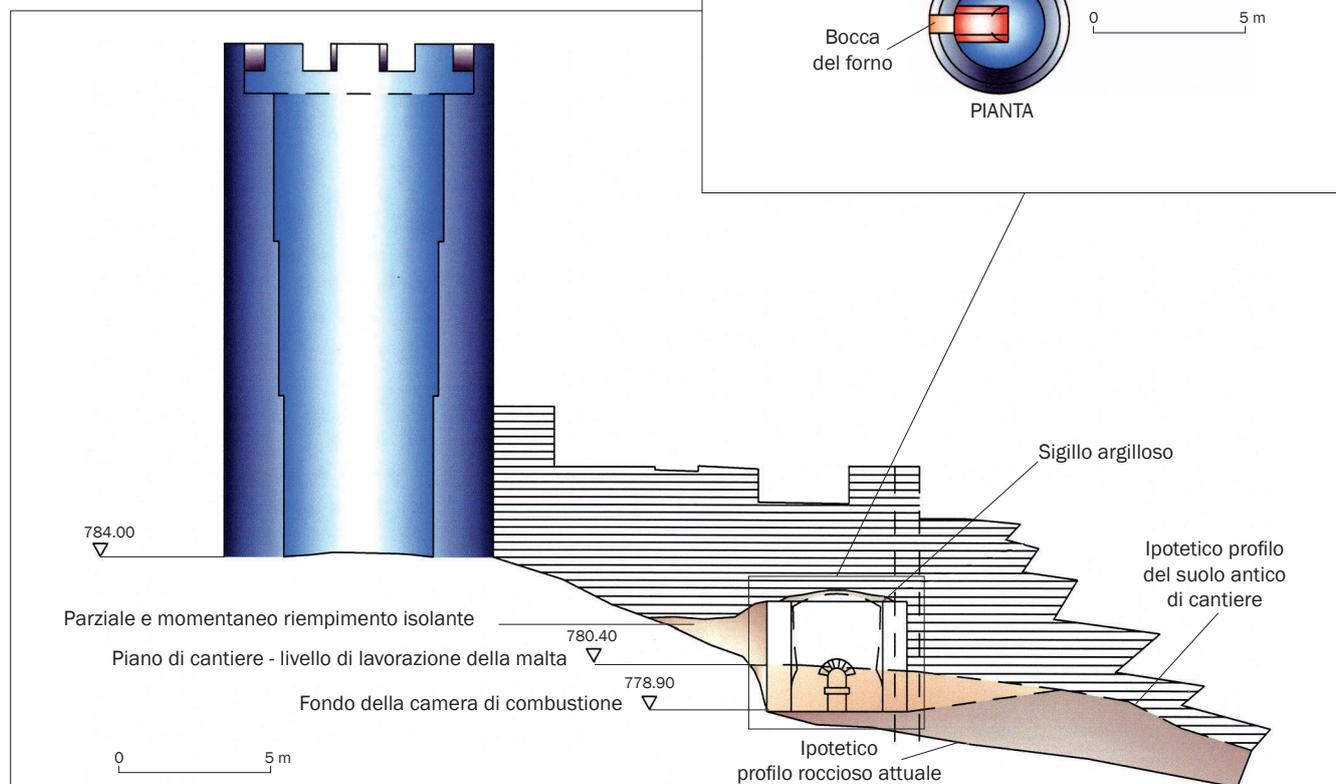
Limitandosi al solo volume della torre - poiché lo studio della cinta è ancora in divenire - si è calcolato un peso di calce idrata pari a 663 q (valutandone la presenza nell'impasto al 30%).

Considerando che la calce viva, nella fase di spegnimento, per l'effetto dell'acqua aggiunta in quantità pari al 24-25%, aumenta il suo peso del 32% circa (ottenuto per differenza dei

pesi specifici) con l'equazione: $\text{Ca}(\text{OH})_2 = \text{CaO} + 0,32 \text{ CaO}$,⁵⁸ ricaviamo la quantità di circa 502 q di calce viva, ossia la quantità totale necessaria all'edificazione della torre che il raffurnum deve aver prodotto in un certo numero di utilizzi. Il dato ci permette, inoltre, di ipotizzare il peso del materiale calcareo da cuocere. Sapendo che alla temperatura di 900° C la trasformazione della pietra calcarea comporta la perdita, a livello molecolare, di una quantità di anidride carbonica che può variare dal 40 al 44% (dipende dal tipo di pietra oltre che dalle temperature raggiunte), ricaviamo che il peso della "cotta" (materiale da cuocere),⁵⁹ può variare da un minimo di circa 837 q ad un massimo di 896 q di pietra calcarea.

Volendo calcolare il numero di "cotte" necessarie ai lavori a partire dai resti archeologici del raffurnum, ne ipotizzeremo forma e dimensione. Il dato conosciuto, ricavato dall'indagine archeologica è costituito dal diametro interno che corrisponde a circa 3 m.⁶⁰

Il rapporto fra diametro interno e altezza del tino può variare molto, come già spiegato, per il forno in questione si è applicato un rapporto corrispondente a 8/9 decimi.⁶¹ La scelta, fatta sulla base di confronti con forni simili, propone dunque un'altezza di 3,50 m, anche se l'attuale profilo



11. Ipotesi ricostruttiva del raffurnum e dei piani di cantiere. (Elaborazione A. Sergi)

del terreno non consentirebbe facilmente per la parte a valle (nord) il rivestimento della struttura (ad esempio con terreno argilloso, non potendo scavare molto in profondità per la presenza del banco di roccia sottostante), se non con l'apporto di un'enorme massa che avrebbe reso, a nostro parere, improbabile la collocazione del forno lì dove è stato ritrovato. A tal proposito ci è parso necessario avanzare l'ipotesi di un profilo del terreno diverso dall'attuale (fig. 11).

Impostata l'altezza del tino, si procede col calcolo del volume della camera di combustione, pari a 2 m³ circa, che verrà sottratto a quello della "cotta",⁶² che risulta essere quindi di 23 m³.

Considerando ancora una presenza di vuoti del 5% (sia tra le pietre che per la costruzione dei camini di ventilazione) adatteremo un volume pari a 22 m³.

Tenendo conto che il peso specifico della pietra calcarea può variare da 2400 ai 2800 kg/m³, la nostra ipotizzata "cotta" potrà variare da 528 a 616 q.

Assunti per validi questi dati, e riferendosi in parte all'esperienza tradizionale, in parte alla teoria, si calcolerà la capacità produttiva di calce viva (CaO) dell'antico forno. Considerando che nella fase di cottura viene perso un peso che può variare dal 40 al 50% di quello iniziale della "cotta".⁶³ Assumendo un rapporto di 0,40 (considerando quindi come materiale da cuocere una pietra mediamente "dura" quale può essere considerata quella presente sul posto), il peso della calce viva⁶⁴ sarà compreso fra 317 e 370 q circa.

Il peso teorico dell'idrato di calcio si ottiene con la formula $\text{CaO} + 0,32 \text{H}_2\text{O} = 1,32 \text{Ca(OH)}_2$, da cui è possibile ricavare il peso della calce spenta prodotta dalla fornace,⁶⁵ che risulta compreso fra 418 e 488 q circa.

Con un peso di "cotta" compreso fra 528 e 616 q si può ottenere, dunque, una quantità di calce idrata che varia da 418 a 488 q, con una perdita di peso, in entrambi i casi, di circa il 21%, dato che non si discosta da quelli citati tradizionalmente.⁶⁶ Il grassello si otterrà con un'ulteriore aggiunta di acqua e aumenterà il suo volume sulla base della purezza e della buona lavorazione del materiale calcinato.⁶⁷

In conclusione, come abbiamo visto all'inizio di questa sezione, la quantità di calce idrata utilizzata per legare le murature della torre è risultata essere di 663 q circa, da cui si è ricavata la misura relativa alla calce viva pari a 502 q.

A partire dalle evidenze archeologiche si è quindi calcolata la produzione di calce viva del *raffurnum* in quantità variabile da 317 a 370 q, da cui si è ricavata la quantità di calce idrata da 418 a 488 q.

Per quanto concerne l'edificazione della torre, dunque, considerando valide le quantità relative ai volumi della stessa, sulla base della nostra ipotesi, possiamo affermare che devono essere stati effettuati almeno due cicli di cottura di materiale calcareo, poiché anche nell'ipotesi di produzione di maggiore quantità di calce, una sola cottura sarebbe risultata insufficiente a raggiungere i 663 q impiegati nella torre. Ad un successivo approfondimento viene rimandata una riflessione finale, che tenga in conto la costruzione della cinta difensiva e delle strutture annesse funzionali alla vita del castello.

Abstract

The limekiln of Châtel-Argent in Villeneuve that was studied in 2009 is a particularly important case in the field of production plants as a result of its documentation in the papers regarding the re-building of the castle in the period 1274-1275. The quality of this site is linked to the positive conservation of various work sites related to the production plant and the studies of the aforementioned which led to the *in situ* recognition of a number of phases in the production cycle. The attempt to re-build the furnace and compare it with other well known cases, will act as a starting point for future studies in spite of the critical state and the awareness of the method subjectivity.

1) J.-P. ADAM, *L'arte di costruire presso i romani. Materiali e tecniche*, Milano 1996, pp. 69-90.

2) T. MANNONI, E. GIANNICEDDA, *La produzione della calce*, in *Archeologia della produzione*, Torino 1996, pp. 313-319.

3) R. VECCHIATTINI, *Unità produttive perfettamente organizzate: le calcinare di Sestri Ponente - Genova*, in "Archeologia dell'Architettura", III, 1998, pp. 141-152.

4) G. PETRELLA, *La produzione della calce: stato degli studi e proposta di scheda di informatizzazione dati di un forno da calce*, in "Archeologia Postmedievale", XI, 2007, pp. 151-172.

5) Oltre ai testi segnalati, per la bibliografia si veda anche S. BARAGLI, *L'uso della calce nei cantieri medievali (Italia centro-settentrionale): qualche considerazione sulla tipologia delle fonti*, in "Archeologia dell'Architettura", III, 1998, pp. 125-139.

6) PETRELLA 2007.

7) ASTO, s.r.l., Inv. Sav. 68, Fo. 2, M. 1, N. 2. Cfr. inoltre G. SARTORIO, *Tra archeologia e paleografia: la costruzione del castello di Châtel-Argent in un documento del 1274-1275*, in B. ORLANDONI, *Costruttori di Castelli*, 3, BAA, in corso di stampa.

8) G. SARTORIO, M. CORTELAZZO, *Tra fonte storica e fonte archeologica: Châtel-Argent e l'utilizzo dell'impalcato elicoidale nelle torri cilindriche di XIII secolo*, in BSBAC, 5/2008, 2009, pp. 94-111.

9) Per l'analisi dello scavo dell'alta corte, si veda SARTORIO, CORTELAZZO, in BSBAC, 5/2008, 2009; per la trascrizione del passo del documento in analisi, cfr. SARTORIO, in corso di stampa.

10) Ecco la trascrizione del frammento in questione: «*In quodam raffurno iuxta turrim castri Argenti faciendo preter ligna barrii et billones de quibus deceptus fuit, ut in particulis, XIX lbr. XI sol. / VIII den. ad opus dicte turris. In quodam alio raffurno subtus burgum castri Argenti faciendo, ut in particulis, XV lbr. VII sol. I den. In rumpenda / petra ad opus dicti raffurni in taschiam III lbr. VIII sol. In sexciescentum¹ et quaiaginta (sic) billonibus emptis pro dicto raffurno aquariendo ultra s<e>pties / centum billones de billonibus domini VII lbr. XII sol. VI den.*»

11) Il testo parla di «*ligna barrii et billones de quibus deceptus fuit*». Il termine *deceptus* o *decoptus*, di difficile lettura ed interpretazione, potrebbe stare ad indicare l'operazione di "spacco" dei tronchi, che evidentemente erano troppo lunghi per le dimensioni della camera di cottura della fornace.

12) Misurazioni effettuate negli incassi conservati al livello della risega più bassa interna alla torre, coincidente con il primo dei tre pavimenti lignei indicati nel documento, ha dimostrato che i travi utilizzati erano a sezione quadrata, di 30 cm di lato circa, con lunghezze che vanno dai 2,5 ai 5 m. Queste dimensioni, che sembrano rimanere pressoché inalterate per i piani superiori (le riseghe sono larghe poche decine di centimetri), sembrerebbero dimostrare che la palizzata lignea smontata faceva uso di tronchi alti in media tra i 2,5 ed i 5 m. Considerando che i pali, per essere efficaci, andavano inseriti nel terreno per almeno 50-60 cm, sembra però più probabile optare per un'altezza dei legni superiore ai 3 m. Rimane tuttavia irrisolto il problema della localizzazione spaziale di una tale cortina.

13) Cfr. SARTORIO, in corso di stampa.

14) Cfr. in particolare ADAM 1996; PETRELLA 2007.

15) Nel redigere queste pagine ci si è ispirati anche al recente lavoro di Giovanna Petrella, che per prima ha tentato di redigere una scheda di catalogazione di queste particolari strutture produttive (PETRELLA 2007).

16) Cfr. VECCHIATTINI 1998, p. 144.

17) Si veda Cortelazzo *infra*.

18) Esistono anche forni da calce scavati semplicemente nel suolo, senza ausilio di strutture murarie. Quella che può sembrare una tipologia arcaica, e che è molto ben testimoniata in effetti in periodo altomedievale

(cfr., tra gli altri, C. MATHIEU, G. STOOPS, *Observations petrographiques sur la paroi d'un four à chaux carolingien creuse en sol limoneux*, in "Archéologie Médiévale", II, 1972, pp. 347-354; M. MANGIN, A. BRUAND, I. HEDLEY, *Un four à chaux du Haut Moyen Âge à Goux-lès-Dole (Jura)*, in "Archéologie Médiévale", XVIII, 1988, pp. 273-284), è comunque ancora conosciuta e riscontrabile in pieno XVIII secolo (A.-M. FLAMBARD HÉRICHER, *Un four à chaux de la fin du Moyen Âge au Molay. Littry (Calvados)*, in "Archéologie Médiévale", XXIV, 1994, pp. 367-377; D. DIDEROT, J. D'ALEMBERT, *L'Encyclopédie*, chap. *Economie rustique - le four à chaux*, 1771-1772).

19) L'aspetto farebbe pensare piuttosto a delle colate di materiale, avvenute in quella che si configurerebbe come un'area di cantiere (ad ovest e sud della calcara) nel corso delle fasi di spegnimento della calce e produzione della malta (si veda Cortelazzo *infra*).

20) Questa struttura sembra avere svolto sia funzione termica che statica di contenimento della piccola fascia di terrapieno compreso tra la fornace e la roccia stessa.

21) Il limite orientale del muro presenta una terminazione piuttosto regolare, che fa pensare ad un lato finito.

22) Per la *Crypta Balbi* cfr. in particolare: L. SAGUÌ, *Crypta Balbi (Roma): lo scavo dell'edera nel monumento romano. Seconda relazione preliminare*, in "Archeologia Medievale", XIII, 1986, pp. 345-355; D. MANACORDA, *Crypta Balbi. Archeologia e storia di un paesaggio urbano*, Martellago 2001.

23) J. THIRIOT, *Les fours à chaux à deux foyers superposés du XIII^e siècle de Saint-Blaise-de-Bauzon à Bollène (Vaucluse): une autre façon de cuire la pierre*, in "Archéologie du Midi Médiéval", 23-24, 2005-2006, pp. 247-263; R. FRANCOVICH, *Rocca San Silvestro*, Roma 1991; M. CATARSI, C. ANGHINETTI, *Ritrovamento di una fornace da calce a Sala Baganza*, in "The Journal of Fasti Online", 2007.

24) MANGIN, BRUAND, HEDLEY 1988; MATHIEU, STOOPS 1972; M. CHÂTELET, *Un deuxième four à chaux mérovingien découvert en Alsace: le four de Sessenheim "Hecklen" (Bas-Rhin)*, in "Revue archéologique de l'Est", 54, 2005, pp. 349-364. In realtà esiste anche la tipologia delle fornaci di forma quadrata. Allo stato attuale degli studi non sembra possibile riconoscere una differenza evolutiva nell'uso della pianta circolare o quadrata, che viene ipoteticamente ricondotta a capacità tecniche e tradizioni peculiari di determinate regioni (cfr. PETRELLA 2007, p. 162).

25) CATONE, *De Agricultura*, XLIV, *De fornace calcaria*. In realtà il rapporto 1:2 non è sempre rispettato; ad esempio realizzazioni di archeologia sperimentale propendono per il rapporto 2:3 (C. LUMIA, *Kalkbrennen. Produzione tradizionale della calce al Ballenberg*, opuscolo della Collana "Arte e Restauro", 2009, con DVD allegato).

26) L'altezza era calcolata in modo da poter ottenere una cottura omogenea di tutto il materiale calcareo. Considerando che la fornace si trova interrata per 1,50 m circa, l'altezza di 3,5 m risponderebbe alla consuetudine di interrare circa la metà della calcara.

27) Alcune fornaci, specialmente di orizzonte classico, presentano internamente alla struttura una sorta di basso tamburo in muratura funzionale all'imposta del voltino in pietre calcaree ed una fossa centrale per agevolare il recupero della cenere, descritti già da Catone con i nomi di *fortax* e di *lacuna*: questi elementi non sembrano essere presenti a Châtel-Argent e tenderebbero, secondo alcuni autori, a scomparire in epoca bassomedievale (I. GATTO, *Attività produttiva nel Castello del Monte di Montella (AV): la calcara nella trincea 3/87*, in R. FIORILLO, P. PEDUTO (a cura di), *Atti del III Congresso Nazionale di Archeologia Medievale* (Salerno, 2-5 ottobre 2003), Firenze 2003, pp. 671-673; PETRELLA 2007, p. 157).

28) Oltre alla tipologia di fornace ora descritta esiste anche la cosiddetta fornace a catasta, nella quale il legname e le pietre da cuocere vengono disposti alternativamente a formare, appunto, una catasta (FLAMBARD HÉRICHER 1994). Un'altra variante prevede la presenza di due forni, ad altezza differente, per migliorare la cottura del materiale (THIRIOT 2005-2006). Il forno di Châtel-Argent non sembra tuttavia rientrare in questa casistica.

29) Si veda Cortelazzo *infra*.

30) LUMIA 2009.

31) Lo scavo si è limitato allo svuotamento della struttura, senza demolizioni aggiuntive; questo impedisce di affermare se l'inserimento della fornace abbia comportato dei veri e propri tagli in roccia (cosa probabile, come ad esempio accade a Rocca San Silvestro o a Monte di Montella) o abbia sfruttato una particolare conformazione del versante roccioso, che ha comunque in questo punto una pendenza molto vicina alla verticalità.

32) Lo scavo archeologico non è proseguito oltre il limite della fornace in questa direzione. Questo impedisce di affermare con sicurezza che il forno valdostano fosse privo di un vero e proprio prefurnio.

33) Ulteriore indizio potrebbe essere la presenza, già ricordata, di una

concentrazione maggiore di carboni proprio nella porzione orientale della calcara, misti anche a tracce di calce, segno quest'ultimo che si procedette con ogni probabilità a più di una singola cottura.

34) Le dimensioni delle fornaci medievali analizzate per questo articolo variano da 1,40 m (Sessenheim, in CHÂTELET 2005) ad un massimo di 4,6-4,7 m di diametro (Monte di Montella, in GATTO, in FIORILLO, PEDUTO 2003, pp. 671-673 e Sala Baganza, in CATARSI, ANGHINETTI 2007). Tali dimensioni, che tenderanno nel XVII e XVIII secolo ad aumentare progressivamente con il miglioramento tecnologico, erano strettamente correlate al calore massimo raggiunto durante la combustione ed alla capacità isolante della struttura.

35) I dati sono riportati con tre colori differenti: il verde indica dei dati oggettivi; il giallo indica dati soggettivi o derivati da calcoli effettuati in altre pubblicazioni; l'arancione indica dati soggettivi o ricavati da calcoli effettuati dall'*équipe* che ha elaborato il presente articolo. Questi ultimi necessitano di qualche precisazione: i calcoli avanzati per quanto riguarda la stima della capacità volumetrica delle calcare si basano sull'ipotesi che queste avessero uno sviluppo cilindrico o solo lievemente troncoconico; i dati forniti dalle pubblicazioni esaminate utilizzano per le proprie misurazioni alle volte i quintali, altre i metri cubi: si è provato in questa sede ad uniformare il dato e per farlo si è fatto uso della formula $V=P/ps$, dove il peso specifico, per quanto riguarda la calce viva, è stato considerato 1590 kg/m³ (si veda Sergi *infra*); non si è mai tenuto conto della volumetria della camera di combustione (spesso non calcolabile). Per Goux-lès-Dole cfr. MANGIN, BRUAND, HEDLEY 1988; Sessenheim e Roeschwoog cfr. CHÂTELET 2005; *Crypta Balbi* cfr. SAGUÌ 1986; Tavaux-et-Pontséricourt cfr. MATHIEU, STOOPS 1972; Monte di Montella cfr. GATTO 2003; Sala Baganza cfr. CATARSI, ANGHINETTI 2007; Rocca San Silvestro cfr. FRANCOVICH 1991; Bollène (Sainte-Blaise-de-Bauzon) cfr. THIRIOT 2005-2006; Sestri Ponente cfr. VECCHIATTINI 1998 (le quantità volumetriche e produttive sono quelle proposte in THIRIOT 2005-2006); Molay-Littry cfr. FLAMBARD HÉRICHER 1994; per Coppito (AQ) cfr. G. PETRELLA, *La produzione della calce e modalità di impiego nel cantiere medievale. Primi esempi dal territorio aquilano*, in R. FRANCOVICH, M. VALENTI (a cura di), *Atti del IV Congresso Nazionale di Archeologia Medievale* (San Galgano, 26-30 settembre 2006), Firenze 2006, pp. 409-414 (si tratta di una fornace usata per la cottura sia dei mattoni che della calce; l'altezza totale è di 7,5 m, ma solo i primi 2 m erano usati per il posizionamento delle pietre da cuocere); per Ballenberg cfr. LUMIA 2009; per la fornace proposta da Quarneti, cfr. G. QUARNETI, *Restauro e colore. L'empirico e la regola dell'arte*, Scuola d'arte muraria. Calchère San Giorgio (TN), Grigno (TN) 2009, pp. 73 e ss.; per Alagna Valsesia, si è considerata la scheda presente sul sito *web* del Comune.

36) Si è considerato il larice (ps 0,66 kg/dm³) come essenza arborea prescelta, a causa dell'ambiente alpino in cui si trova il sito castellano di Châtel-Argent. Inoltre a favore di questa identificazione contribuisce il fatto che il legno usato per la cottura provenisse probabilmente dallo smantellamento di una precedente cinta in questo materiale: i pali dovevano quindi essere di discreto diametro e soprattutto a sviluppo fortemente verticale, fatto che tenderebbe ad escludere specie arboree come il castagno o il faggio.

37) Cfr. M. CORTELAZZO, *L'intervento archeologico del 2008: dallo scavo al documento d'archivio*, in SARTORIO, CORTELAZZO, BSBAC, 5/2008, 2009, pp. 96-97.

38) Il rilievo *laser scanner* del *raffurnum* e della parte sommitale del castello è stato eseguito da ad hoc 3D Solutions S.r.l. di Gressan (AO).

39) In merito a questa particolare tecnica costruttiva si veda l'articolo citato alla nota 37 e le ulteriori considerazioni in M. CORTELAZZO, *Simbologia del potere e possesso del territorio: le torri valdostane tra XI e XIII secolo*, in *Les manifestations du pouvoir dans les Alpes de la Préhistoire au Moyen-Âge*, Actes du XII^e Colloque sur les Alpes dans l'antiquité, (Yenne, Savoie 2-4 octobre 2009), BEPA, in corso di stampa.

40) Si veda l'elenco riportato in tabella 1 e la bibliografia citata all'interno dell'intero articolo.

41) Cfr. SAGUÌ 1986. Efficace la ricostruzione grafica della fornace e delle attività di cantiere a essa connesse, fedele al dato ricavato dall'indagine archeologica, eseguita dallo Studio Inklank di Firenze e visibile nell'archivio immagini del relativo sito *web*.

42) Cfr. LUMIA 2009, (cfr. anche DVD allegato).

43) Simili vasche sono presenti in alcune miniature cfr. A. CAGNANA, *Archeologia dei materiali da costruzione*, Mantova 2000, p. 136.

44) A tal proposito si veda quanto descritto da Lumia dove è citata l'esistenza di fosse per la stagionatura, anche se quest'ultima sembrerebbe maggiormente necessaria nel caso della realizzazione di intonaci, cfr. LUMIA 2009, p. 29.

45) Si vedano le quantità ricavate all'interno della tabella 1.

- 46) Si confronti oltre ai lavori già citati anche R. VECCHIATTINI, *Le lavorazioni per l'edilizia: la produzione della calce*, in E. GIANNICCHEDDA (a cura di), *Antichi mestieri. Archeologia della produzione*, Genova 1996, pp. 98-101.
- 47) Si vedano in proposito le osservazioni in BARAGLI 1998, in particolare p. 130 e le immagini correlate al testo.
- 48) In proposito afferma Cuomo Di Caprio che «sempre secondo le vecchie tradizioni, la calce viva era messa dentro grosse buche (ben foderate con argilla in modo da renderle impermeabili) e si aggiungeva acqua nel rapporto di circa dieci a uno (circa 10 litri di acqua per 1 Kg di calce viva). Si lasciava riposare a lungo il miscuglio, mescolando con pali di legno sino a ottenere una pasta morbida e untuosa al tatto chiamata "grassello" di calce. Con ulteriori forti aggiunte di acqua si otteneva una sospensione di calce idrata chiamata "latte di calce".» Cfr. N. CUOMO DI CAPRIO, *Ceramica in archeologia 2: antiche tecniche di lavorazione e moderni metodi d'indagine*, Roma 2007, p. 471, Finestra XLII, *Calce viva, calce spenta*.
- 49) Cfr. CUOMO DI CAPRIO 2007, pp. 133-138, con le varie schede iconografiche e la relativa descrizione.
- 50) Si veda in particolare la miniatura pubblicata alla fig. 5 riferibile ad un antifonario di Irea in M. CORTELAZZO, *Un vocabolario architettonico: l'impalcato elicoidale*, in SARTORIO, CORTELAZZO, BSBAC, 5/2008, 2009, p. 101.
- 51) Cfr., per un'analisi del documento SARTORIO, in corso di stampa.
- 52) Cfr. C. TOSCO, *Gli architetti e le maestranze*, in E. CASTELNUOVO, G. SERGI (a cura di), *Arti e storia nel Medioevo*, vol. II, *Del costruire: tecniche, artisti, artigiani, committenti*, Torino 2003, p. 64.
- 53) Cfr. R. GRECI, *I cantieri: le corporazioni*, in CASTELNUOVO, SERGI 2003, p. 71.
- 54) Cfr. MANNONI, GIANNICCHEDDA 1996, p. 233.
- 55) Si è considerata la torre quale sovrapposizione di 4 corone circolari e dei merli. Si è applicata dunque la corrispondente formula matematica, ossia $S = \pi (R^2 - r^2) H_{1,2,3,4}$ dove R = raggio della circonferenza esterna (costante); r = raggio della circonferenza interna, che varia tre volte all'altezza dei rispettivi orizzontamenti corrispondenti a un'altezza H dei tamburi rispettivamente di 5,35 - 5,11 - 4,90 e 0,75 m, a partire dalla base. I merli sono stati assimilati a parallelepipedi con dimensioni piane e un volume totale di circa 5 m³ (1,25x0,90x0,65 m).
- 56) Attraverso un semplice calcolo aritmetico è stato determinato lo spessore medio della corona circolare $S_{p\ med} = R - r_1, r_2, r_3... / 3 \approx 1,80$ m; la circonferenza media della torre risulta dalla formula $X = 630 : (1,80 \times 17) = 20,60$ m.
- 57) Sono stati assunti i seguenti pesi specifici: malta 1700 kg/m³; pietra calcarea 2400 kg/m³; calce viva (ossido di calcio) 1590 kg/m³ ($CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$; il peso molecolare: 100,09 → 56,08 + 44,01); calce idrata (pasta idrossido di calcio) 2343 kg/m³.
- 58) $Ca(OH)_2 = CaO + 0,32CaO \rightarrow 663 = x + 0,32x \rightarrow x = 663 : 1,32 = 502$ q circa di calce viva.
- 59) $CaO = CaCO_3 - 0,40CaCO_3 \rightarrow 502 = x - 0,40x \rightarrow x = 502 : 0,60 = 836,66$ q di calcare o $502 : 0,56 = 896,42$ q.
- 60) Il dato di rilievo è 3,15 m, che per comodità di calcolo è stato ridotto a 3 m valutando la differenza di circa 2 m³ sul totale, misura irrilevante ai fini di questo ragionamento.
- 61) $H = 3 : 0,85 = 3,53$ m.
- 62) Considerando la camera di lunghezza 1,80 m, larghezza del parallelepipedo di base 0,70 m e altezza 1,40 m, coperta con volta a botte di raggio 0,60 m, il volume risulta = $[(0,60^2 \times 3,14 \times 1,80) : 2] + (0,70 \times 1,80 \times 0,80) = 2,018$ che approssimeremo a 2 m³. Il volume del tino risulta dalla formula: $1,50^2 \times 3,14 \times 3,50 = 24,73 \approx 25,00$ m³. Il volume della "cotta" è $25,00 - 2,00 = 23,00$ m³.
- 63) N. CAVALIERI SAN-BERTOLO, *Istituzioni di architettura statica e idraulica*, II, Napoli 1840. Nel testo si afferma che «Quando la pietra si è schiarita, e si conosce che ha perduto la metà circa del suo peso, si può arguire che la calcinazione è arrivata a giusto grado [...] Ordinariamente si richiedono per la calcinazione della pietra cent'ore almeno d'un fuoco intenso e continuato».
- 64) Peso della calce viva: $528 - (0,4 \times 528) = 316,8$ q o $616 - (0,4 \times 616) = 369,6$ q.
- 65) Peso della calce spenta: $317 + (0,32 \times 317) = 418,44$ q o $370 + (0,32 \times 370) = 488,40$ q.
- 66) J.-H. HASSENFRAZ, M. HASSENFRAZ, *Traité théorique et pratique de l'art de calciner la pierre calcaire*, Paris 1825. Nel trattato viene citata la produzione di molte fornaci di paesi differenti, con percentuali di calo del peso che oscillano fra il 18 e il 21%.
- 67) «La prefata calcina ... somministra m.c. 2,357 di pasta ben lievitata per ogni metro cubo di pietra cotta sottomessa all'estinzione», CAVALIERI SAN-BERTOLO 1840.

*Collaboratore esterno: Mauro Cortelazzo, archeologo.