Interreg Italia-Österreich
European Regional Development Fund
EUROPEAN UNION
DOLOMITI
DOLOMIA - "La Via della Dolomia: il viaggio della roccia nelle Alpi Dolomitiche" ITAT 2036
DOLOMIA - "Der Weg des Dolomia: die Reise des Geste ins in den Dolomiten" ITAT 2036

Partner
Istituto I.S. "Umberto Follador"
Dipartimento
Geotecnico-Minerario
universität innsbruck
CIRCOLO CULTURA E STAMPA BELLUNESE
In collaborazione con
In zusammenarebeit mit
Comune di Taibon

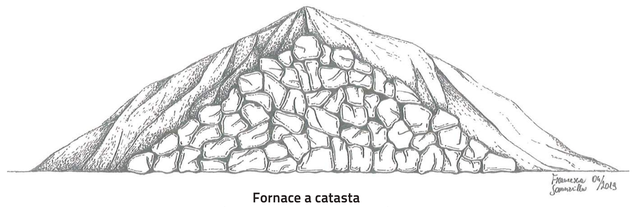
La "Calchera" - Come veniva prodotta la calce

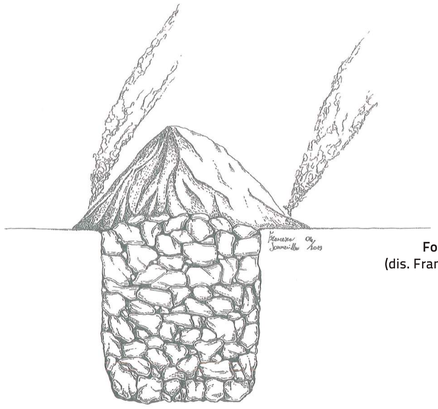
The Limekiln (La Calchera) - How lime was produced / Der Kalkofen (La Calchera) - Wie Kalk hergestellt wurde

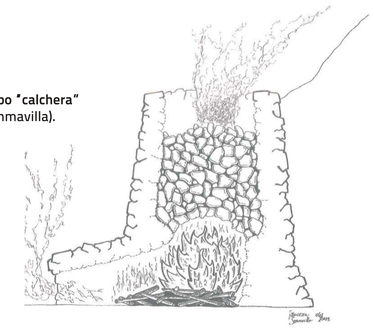
Breve storia della calce
La calce è un prodotto che l'uomo ha iniziato ad usare molti millenni fa. Una datazione precisa non esiste ma si può presumere grazie al ritrovamento a Mallaha (Palestina) di una abitazione con le pareti intonacate a calce e dipinte di ocra rossa risalente a circa 14-15 mila anni fa. La diffusione dell'uso della calce iniziò tra il 7000 e il 6000 a.C. in Mesopotamia e in Anatolia. Nella penisola balcanica arrivò attorno al 5600 a. C.. La conoscenza del processo di decarbonatazione, idratazione e ricarbonatazione era già uniformemente diffusa più di 2000 anni prima di Cristo, periodo in cui comparvero i primi forni verticali ritrovati in Mesopotamia, molto simili a quelli moderni.
Si ritiene che quasi tutti i popoli antichi come gli Egizi, i Cinesi, i Maya, i Fenici, i Greci e i Romani abbiano conosciuto la tecnica della cottura della calce ed il suo uso. Furono i Romani però a perfezionarla e ad impiegarla diffusamente. Infatti il primo trattato dettagliato e completo sulle malte a base di calce è il De Architectura di Marco Vitruvio Pollione del I° secolo a.C.. La cottura della calce avviene all'interno di strutture (fornaci o forni) chiamate nelle nostre zone calchere. Si distinguono vari tipi di forni le cui caratteristiche variano a seconda della qualità del prodotto finale che si vuole ottenere. Le prime fornaci da calce utilizzate erano concepite con caratteristiche semplici:
-fornace a catasta: su una superficie piana venivano accumulate pietre carbonatiche poi ricoperte con legna secca, raccolta nei boschi e sterco. Essi venivano incendiati e il fuoco veniva mantenuto sino al termine della cottura. -fornace a fossa: veniva scavata una buca (preferibilmente in un terreno argilloso perché questo con il calore induriva assicurando una tenuta termica) che veniva riempita con pietre carbonatiche, si ricopriva il tutto con il combustibile che veniva incendiato e alimentato sino al termine della cottura.
In seguito le conoscenze acquisite promossero uno sviluppo tecnologico che portò alle fornaci in muratura utilizzate fino a qualche decennio fa nelle nostre zone e ancora visibili nei territori dolomitici. Le fornaci venivano costruite nei fianchi dei pendii in modo tale che, escludendo la parte frontale della fornace, fossero completamente interrate per poter evitare il più possibile la dispersione del calore. La costruzione avveniva scavando una fossa circolare nel fianco di un pendio, essa veniva rivestita internamente con pietre a secco resistenti alla cottura, lasciando nella parte anteriore inferiore un foro di accesso da utilizzare per alimentare il fuoco. I tre tipi di fornaci elencati sono detti a fuoco intermittente. In questo tipo di fornaci le pietre non sono a diretto contatto con il combustibile ma sono solo lambite dal calore, motivo per cui il prodotto finale è costituito da calce bianca, pura, di ottima qualità, perché calcinata uniformemente. Le fornaci a fuoco continuo prevedevano l'alternanza di strati di calcare con strati di combustibile e il prodotto che ne derivava era di qualità indubbiamente inferiore perché inquinato dai residui del combustibile. Nel XIX secolo con l'avvento dell'industrializzazione nacquero i primi grandi forni ad imbuto a caricamento continuo con il combustibile che non veniva mai a contatto con il materiale trattato ottenendo così della calce priva di inquinanti.

A short history of lime
Lime as a material has been used by man for millennia. The beginning of its utilisation can not be dated with precision, but thanks to a discovery of a human dwelling with lime-plastered and painted in red ochre walls in Mallaha in the Palestine, we can assume that it was first put to use approximately 14 to 15 thousand years ago. Widespread use of lime began in Mesopotamia and Anatolia between 7.000 and 6.000 BC. The Balkan Peninsula saw its arrival around 5.600 BC. The process of decarbonation, hydration and recarbonation became common knowledge more than 2.000 years BC; the vertical shaft kilns in Mesopotamia date back to that period and they are very similar to the modern ones.
It is accepted that almost all ancient peoples, such as the Egyptians, the Chinese, the Maya, the Phoenicians, the Greeks and the Romans understood the art of lime burning and its manifold use. It was the Romans, however, that brought the technique to perfection and widened its use. The first detailed and complete written treatise on lime-based mortars happens to be De Architectura by Marc Vitruvius from the 1st century BC.
Lime burning occurs in the interior of structures (kilns or furnaces) that are locally known as calchere. There are various types and kinds thereof, with features varying based on the quality of the desired final product.
The first utilised limekilns were designed with simple features:
-stack kiln: carbonate stones were piled on a flat surface; the stones were the covered with dry dung and wood gathered from the forest. Once kindled, the fire had to be kept burning till the end of the lime-burning process.
-stationary shaft kilns: a hole was dug in the ground, choosing clay soil, whenever possible, as it hardened after being heated, thus ensuring the thermic resistance; the hole was then filled with carbonate stones and the whole structure was covered with fuel. Once kindled, the fire had to be kept burning till the end of the lime-burning process.
As a result, the acquired know-how boosted the technological development that lead to the introduction of built-in kilns, which were still in use in Belluno with its surrounding areas up to several decades ago and can still found in the Dolomites. Construction consisted of digging a circular hole on the side of slope; it was then completely dry-coated with heat-resistant stones, leaving an opening at the front lower part for fuelling the fire. The three previously mentioned kilns are intermittent fire kilns. The stones used in these kiln types do not come into direct contact with the fuel, but are merely "licked" by the heat, resulting in obtaining pure-white, high-quality, uniformly calcinated lime, as a final product. Continuous-fire kilns require the alternation of limestone layers with those of fuel, the resulting product being of doubtlessly much inferior quality, as it was polluted by the fuel residues. With the arrival of the industrialisation in the nineteenth century, the first great kilns with continuous refilling were introduced. The fuel never came in contact with the processed material, thus obtaining lime free of pollutants.

Kurze Geschichte des Kalks
Als Baustoff wurde der Kalk seit Jahrtausenden den Menschen verwendet. Obwohl der Beginn von Kalk-Nutzung nicht mit Genauigkeit bestimmt werden kann, wird grundsätzlich angenommen, dass das erste Mal der Kalk vor circa 14 bis 15 tausend Jahren verwendet wurde. Grund dieser Annahme ist die Entdeckung von kalkverputzten, mit rotem Ocker bemalten Siedlungen in Mallaha im Palästina. Der Kalk wurde großflächig in Mesopotamien und Anatolien zwischen 7.000 und 6.000 Jahren v. Chr. eingesetzt. Auf die Balkanhalbinsel kam er um 5.600 v. Chr. an. Der Vorgang der Entkarbonisierung, Hydratation und Karbonisierung wurde vor mehr als 2.000 Jahren v. Chr. allgemein bekannt. Die vertikalen Schachtöfen in Mesopotamien stammen aus dieser Zeit und sind den modernen sehr ähnlich.
Es allgemein akzeptiert, dass fast alle antiken Völker, wie z.B. die Ägypter, die Chinesen, die Maya, die Phönizier, die Griechen und die Römer, die Kunst des Kalkbrennens und seine vielfältige Verwendung begriffen haben. Es waren jedoch die Römer, die die Herstellungstechnik zur Perfektion brachten und die Verwendung des Kalks erweiterten. Es ist kein Zufall, dass De Architectura von Marcus Vitruvius Pollio (Vitruv) vom 1. Jahrhundert v. Chr., der erste detaillierte schriftlicher Traktat über kalkbasierte Mörtel war.
Kalkbrennen erfolgt im Inneren von Anlagen (Öfen oder Darren), volkstümlich auch als "Calchere" bekannt. Es gibt verschiedene Arten von Kalköfen, deren Eigenschaften sich je nach dem gewünschten Endprodukt unterscheiden.
Die ersten Kalköfen zeichneten sich mit einem eher simplen Aufbau aus:
Stapelofen: Carbonatgesteine wurden auf einer ebenen Fläche gestapelt, die dann mit trockenem Dünger und Holz bedeckt wurden. Das Feuer musste bis zum Ende des Kalkbrennungsprozesses erhalten werden.
-stationäre Schachtöfen: je nach Möglichkeit wurde in den Tonboden ein Loch ausgegraben, das nach dem ersten Erhitzen aushärtete und dadurch den thermischen Widerstand des Ofens sicherstellte. Das Loch wurde dann mit Carbonatsteinen gefüllt und die gesamte Struktur mit Brennstoff bedeckt. Das Feuer musste bis zum Ende des Kalkbrennungsprozesses erhalten werden.
Infolgedessen wurde die technologische Entwicklung durch das erworbene Know-How vorangetrieben, die wiederum zur Einführung von Einbauöfen führte; solche Einbauöfen wurden bis vor mehreren Jahrzehnten in Belluno und Umgebung verwendet und sind in den Dolomiten immer noch zu finden. Der Aufbau erfolgte durch die Ausgrabung eines kreisförmigen Lochs an der Hangseite. Es wurde dann vollständig mit hitzebeständigen Steinen beschichtet, wobei vorne unten eine Öffnung zum Schüren des Feuers gelassen wurde. Bei den drei erwähnten Ofentypen handelt es sich um Herdfeuerofen. Die in diesen Ofentypen verwendeten Steine kommen mit dem Brennstoff nicht in Berührung, sondern werden lediglich durch die Hitze „beleckt".
Das Endergebnis is ein reinweißer, hochwertiger, gleichmäßig kalzinierter Kalk. Bei der Vorbereitung der Dauerbrennöfen werden Kalksteinschichten mit Schichten aus Brennstoff abgewechselt, wobei das dadurch erhaltene Endprodukt zweifellos niedriger Qualität ist, da es durch die Brennstoffrückstände verschmutzt wurde. Der Beginn der Industrialisierung im 19. Jahrhundert sah die Einführung der ersten großen Kalköfen mit kontinuierlicher Brennstoffzufuhr. Dabei kam der Brennstoff nie mit dem verarbeiteten Material in Kontakt, was zur Herstellung vom Kalk frei von Schadstoffen fuhr.


Fornace a catasta
(dis. Francesca Sommavilla)


Fornace a fossa
(dis. Francesca Sommavilla).


Fornace in muratura tipo "calchera"
(dis. Francesca Sommavilla).

Forno a caricamento continuo con combustibile non a contatto
Non-contact lime-kiln operating with continuous loading fuel
Kontaktloser Kalkofen, der durch kontinuierliches Beladen vom Brennstoff betrieben wird

Il processo chimico

La calce aerea si ottiene per cottura (calcinazione) di calcari o dolomie a alta temperatura fra i 900 e i 1200°C. Il calcare, carbonato di calcio ($CaCO_3$), a 900°C si trasforma in ossido di calcio (CaO) detto calce viva, con liberazione di CO_2. L'ossido di calcio ottenuto ha la proprietà di trasformarsi facilmente in idrossido di calcio [$Ca(OH)_2$] per aggiunta di acqua. In seguito a questa reazione fortemente esotermica, detta spegnimento, si forma una pasta morbida e molto plastica detta "grassello". L'indurimento, che da principio è una semplice essicazione (presa), prosegue poi come fenomeno chimico, una lentissima trasformazione dell'idrato di calcio [$Ca(OH)_2$] che combinandosi con il biossido di carbonio (CO_2) dell'aria ritorna carbonato di calcio ($CaCO_3$), raggiungendo così una coesione rilevante secondo la reazione:
$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow Ca\,CO_3 + H_2O$
La Dolomia ($CaMg(CO_3)_2$) si dissocia completamente a temperature comprese tra i 940°C e i 1230°C secondo la reazione:
$Ca\,Mg\,(CO_3)_2 \rightarrow CaO + MgO + 2CO_2$
Per fabbricare calce aerea buona (o "grassa") occorre calcare abbastanza puro. La presenza dell'ossido di magnesio (MgO) ha effetti diversi a seconda della sua concentrazione: a bassa concentrazione (calcari dolomitici) rende "magre" le calci, ad alta concentrazione (dolomie) si hanno ancora calci "grasse". La calce prodotta partendo dalla dolomia presenta, su tempi brevi, una resistenza maggiore di quella calcarea, ma su tempi molto lunghi nascono alcuni problemi, perché, per interazione con l'atmosfera si formano efflorescenze di solfato di magnesio che la deteriorano.

The chemical process

Aerial lime is obtained by the burning (calcination) of limestone or dolomite at elevated temperature between 900 and 1200°C. By releasing CO_2 while burning it at 900°C, the limestone, or calcium carbonate ($CaCO_3$), is calcinated into calcium oxide (CaO), also known as quicklime. By adding water, the thus obtained calcium oxide can be easily transformed into calcium hydroxide [$Ca(OH)_2$]. With the help of this highly exothermic reaction, known as slaking, a soft and malleable paste, or lime putty, is formed. Its hardening, which in its essence is the drying up of the material, continues as the chemical process of slow transformation of calcium hydroxide [$Ca(OH)_2$]: the latter, when combined with carbon dioxide (CO_2) from the air, reverts to calcium carbonate ($CaCO_3$) and reaches substantial cohesion according to the reaction formula:
$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow Ca\,CO_3 + H_2O$
Dolomite ($CaMg(CO_3)_2$) disintegrates completely at temperatures between 940°C and 1230°C following the formula:
$Ca\,Mg\,(CO_3)_2 \rightarrow CaO + MgO + 2CO_2$
In order to produce lime of fine quality, one needs rather pure limestone. The presence of magnesium oxide (MgO) can have different effects, depending on its concentration: low concentration (dolomite limestones) means "lean" lime; higher concentration, on the other hand, produces "fatter" lime.
Lime produced from dolomite can be characterised by higher resistance compared to that made of limestone in the short run; as far as long-term projects are concerned, dolomitic lime could turn to be quite problematic because of the interaction with the atmosphere, causing the formation of magnesium sulfate crystals on the surface and leading to its deterioration.

Der chemische Vorgang

Luftkalk entsteht unter starker Wärmeentwicklung (Brennen oder Kalzinierung) von Kalkstein bzw. Dolomit bei Temperaturen zwischen 900 und 1200°C., durch das Kalkbrennen wird das Calcium carbonat ($CaCO_3$) in Calciumoxid (CaO) umwandelt und dabei Kohlendioxid (CO_2), freigesetz. Das entstandene Calciumoxid (CaO) wird auch Branntkalk bzw. gebrannter Kalk bezeichnet. Durch die Zufuhr von Wasser wird das so erhaltene Calciumoxid in Calciumhydroxid [$Ca(OH)_2$] umgewandelt. Diese stark exothermen Reaktion wird als Kalklöschen bezeichnet, mithilfe deren, eine weiche und geschmeidige Paste (Kalkspachtel) gewonnen wird. Seine Aushärtung, was im Wesentlichen nichts anderes bedeutet, als das Austrocknen des Materials, wird als chemischer Prozess der langsamen Umwandlung von Calciumhydroxid [$Ca(OH)_2$] fortgesetzt. Wenn dieser mit Kohlendioxid (CO_2) aus der Luft reagiert, kehrt er wieder als Calciumcarbonat ($CaCO_3$) zurück und kann somit mit der folgenden Reaktionsformel dargestellt werden:
$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow Ca\,CO_3 + H_2O$.
Der Dolomit ($CaMg(CO_3)_2$) zerfällt vollständig bei Temperaturen zwischen 940°C und 1230°C nach folgender Formel:
$Ca\,Mg\,(CO_3)_2 \rightarrow CaO + MgO + 2\,CO_2$
Man braucht reinen Kalkstein, um Kalk hoher Qualität herzustellen. Das Vorhandensein von Magnesiumoxid (MgO) kann je nach Konzentration unterschiedliche Auswirkungen haben: niedrige Konzentration (Dolomitkalksteine) ergibt "mageren" Kalk; eine höhere Konzentration davon führt dagegen zu "dickerem" Kalk. Kurzfristig gesehen, könnte der aus Dolomit hergestellte Kalk eine höhere Beständigkeit aufweisen, verglichen mit dem aus herkömmlichem Kalkstein erzeugten Kalk. Wenn Langzeitprojekten betroffen sind, könnte sich jedoch, der Dolomitkalk als besonders problematisch erweisen. Grund dafür ist die Wechselwirkung mit der Atmosphäre, die zur Bildung von Kristallen von Magnesiumsulfat auf der Oberfläche führt, die die Oberfläche beschädigen.

Costruzione e uso della "calchera" agordina.

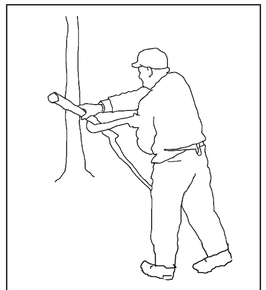
Per la costruzione della "calchera" veniva praticato uno scasso, generalmente di forma circolare, nel pendio individuato, di grandezza variabile in base alla quantità di calcare o dolomia che si intendeva trattare, quindi si rivestiva l'interno con sassi a secco che dovevano resistere alla cottura (sass rosp). Sulla parte bassa anteriore si lasciava un'apertura di grandezza variabile tra il metro e il metro e cinquanta attraverso la quale veniva caricato il combustibile. Il muro della fornace era più spesso alla base in modo da ottenere una rientranza di circa 20-25 cm ad una altezza dal fondo di circa 40-50 cm nella parete interna, realizzando così un gradino sul quale si appoggiavano i blocchi di calcare o dolomia predisposti a cupola autoportante sorretta da una intelaiatura provvisoria in legno per facilitare la costruzione dell'arco portante. Questi conci servivano a reggere durante la cottura tutto l'altro materiale dello stesso tipo gettato caoticamente all'interno della fornace. I blocchi utilizzati aveva una pezzatura variabile, ma tale da creare degli spazi tra una pietra e l'altra in modo da permettere il passaggio del calore. Una volta caricata l'intera fornace si costruiva al di sopra una piccola tettoia per impedire in caso di pioggia lo spegnimento della stessa. Quindi si procedeva all'accensione usando ramaglie e in seguito si continuava ad alimentare con ramaglie o legna di pezzatura fine in modo che il fuoco fosse sempre vivo e mantenesse una temperatura di circa 1000 C° necessaria per il processo di decarbonatazione. La quantità di legna occorrente per la
produzione della calce poteva variare in base alla grandezza della fornace: per quelle più comuni, del diametro di circa 3 m e circa di pari altezza, si poteva quantificare tra i 70 e gli 80 kg per quintale di calce prodotta. Naturalmente anche la durata della cottura variava in base alla grandezza, per quelle delle dimensioni da noi citate era in media di circa una settimana. La calce viva prodotta al termine della cottura veniva posta in cassoni e idratata ottenendo così il grassello di calce come prodotto finale, che in genere veniva fatto riposare e maturare in apposite buche per mesi prima di essere utilizzato.

Construction and use of the "Agordina" limekiln.

In oder to build a "calchera" the terrain had to be cleared, usually in circular shape. The size varied in accordance to the quantity of limestone or dolostone that was intended for processing. The hole was then dry coated with heat-resistant stones. There was an opening for the refilling of the fuel at the lower front part, usually one to one and a half metres large. The kiln's wall was thicker at the base in order to obtain an indentation of approx. 20-25 centimetres on the inner side of the wall, at a height of around 40 to 50 centimetres from the bottom. This way a small ledge was created on which the blocks of limestone or dolomite were laid in a freestanding dome-shaped heap. The stones were underpinned by a temporary wooden frame in order to facilitate the construction of a vault. These ashlars had to support all the rest of the materials thrown in helter-skelter into the kiln during the burning process. The stone blocks varied in size, but they were also chosen in a way to make space for the passage of the heat between them. Once the whole kiln was full, a small canopy was built over it, to prevent the fire from extinguishing in the case of rain. The kiln was then kindled using brushwood; the fire had to be kept burning with the help of brushwood or other small branches so that the necessary temperature of approx. 1000 °C for the decarbonation process was maintained constantly. The quantity of the wood necessary for lime production varied according to the size of the kiln. The common ones had a diameter of around 3 metres and roughly the same height - it is estimated that between 70 and 80 kg of wood were used per 100 kg of ready lime. Certainly, the production duration itself varied depending on the size of the kiln. The previously mentioned type took approximately a week for the burning to be finished. The produced lime was then put in chests and slaked in order to obtain the "grassello", or lime putty, which as a rule was left to rest and mature in special lime pits for months before it could be used.

Erstellung und Nutzung des "Agordina" Kalkofens.

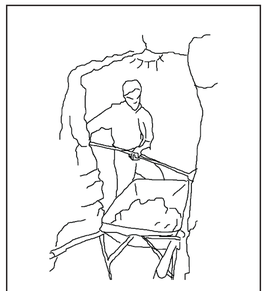
Um einen "Calchera" zu herzurichten , wurde normalerweise einen Kreis auf dem dafür notwendigen Gelände geräumt. Die Größe des Ofens variierte je nach der Kalkstein- bzw. Dolomitquantität, die verarbeitet werden sollte. Das Loch wurde mit hitzebeständigen Steinen beschichtet. Eine der Brennstoffzufuhr dienende Öffnung, die circa 1 bis 1,5 Meter breit war, befand sich unten, am vorderen Teil der Anlage. Der Sockel war stärker gebaut und auf der Innenwand stand eine Vertiefung von ca. 20 bis 25 Zentimetern, auf einer Höhe von etwa 40 bis 50 Zentimetern vom Boden entfernt. Auf diese Weise ergab sich ein kleiner Vorsprung, wo man die Kalksteine bzw. die Blöcke aus Dolomit in einem freistehenden, kuppelförmigen Steinhaufen gelegt wurden. Die Steine wurden durch eine provisorische Holzkonstruktion untermauert, um den Aufbau des Gewölbes zu erleichtern. Diese Quader mussten alle anderen Stoffe tragen, die während des Brennvorgangs durcheinander in den Ofen geworfen wurden. Die Steinblöcke waren unterschiedlicher Größe, die jedoch so ausgewählt wurden, dass sie den Wärmedurchganges erlaubten. Sobald der gesamte Kalkofen gefüllt wurde, wurde ein kleines Vordach errichtet, das verhindern sollte, dass beim Regen das Feuer gelöscht wird. Der Ofen wurde dann mit der Hilfe von Gestrüpp angezündet und das Feuer brannte weiter dank der kontinuierlichen Zufuhr von Reisigbündel bzw. kleineren Zweigen, sodass die für die Entkarbonisierung notwendige Temperatur auf circa 1000 °C konstant gehalten wurde. Die für die Kalkherstellung erforderliche Holzmenge wurde je nach der Ofengröße festgelegt. Die geläufigen Modelle hatten einen Durchmesser von etwa 3 Metern und waren ungefähr gleich hoch. Für solche Modelle wurden circa 70 bis 80 kg Holz pro 100 kg fertigen Kalk vorgesehen. Die Größe des Ofens war für die Produktionsdauer bestimmend. Mit dem früher erwähnten Modell, brauchte man ungefähr eine Woche für die Fertigstellung des Kalks. Der hergestellte Kalk wurde dann in Kästen eingegeben, mit Wasser gelöscht und in der Regel monatelang in den Kalkgruben ruhen und reifen gelassen, bevor man ihn als Baustoff verwenden konnte. Dank dieses Vorgangs wurde der sogenannte „Grassello", auch Sumpfkalk bezeichnet, zu erhalten.


Preparazione della legna
Preparation of the firewood
Vorbereitung des Brennholzes

Attrezzatura
Equipment
Ausstattung

Posizionamento del calcare sulla struttura in legno ad arco
Placing the lime in the arched wooden structure
Der Kalk wird in die gewölbte Holzkonstruktion gelegen

Estrazione della cenere prima dello svuotamento della calce
Removal of the ashes prior to emptying the lime
Aschenentfernung bevor der Kalk entleert wird


Svuotamento della calce
Emptying the lime
Entleerung vom Kalk

Idratazione della calce in cassone di legno prima della messa in maturazione nelle fosse
Hydration of lime in the container before placing it for maturation in the pit
Kalkhydratation im Behälter, bevor er zur Reifung in die Grube gegeben wird

5