

# Archeologia delle architetture post-classiche

---

Marie-Ange Causarano

Anno accademico 2020-2021

Università degli Studi di Padova  
Dip. di Beni Culturali



### III. INTERPRETARE LE ARCHITETTURE

#### La prima fase del ciclo produttivo

##### 1. Pietra

1.1. L'estrazione della pietra

1.2. Gli strumenti

##### 2. Laterizi

2.1. Le fornaci

##### 3. Legno

##### 4. Malta

4.1. Fornaci e macchine da malta

*La prima fase del ciclo produttivo si basa sull'**approvvigionamento del materiale***



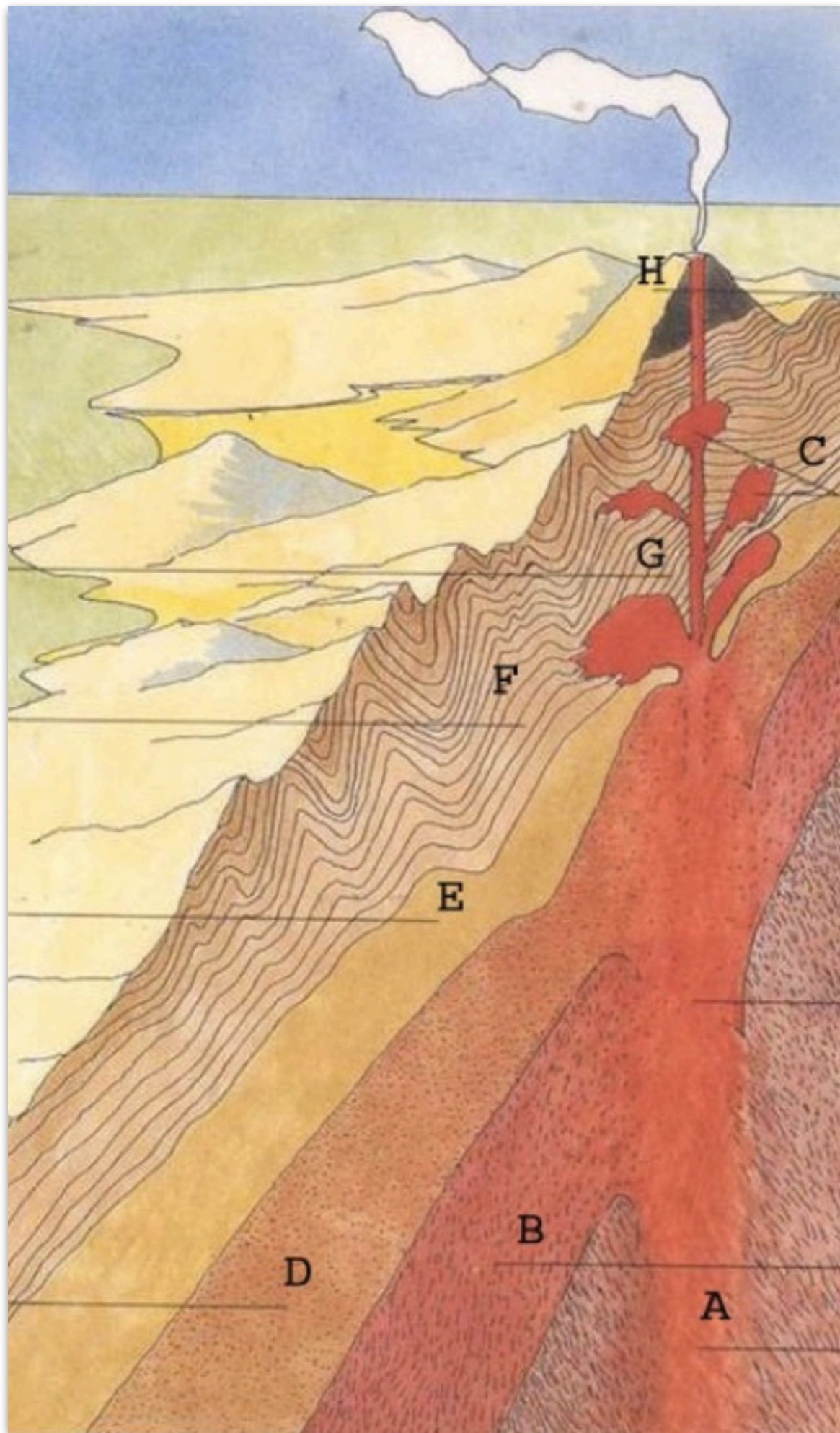
# 1. *La pietra*

Una conoscenza di base dei caratteri naturali delle rocce è indispensabile per affrontare lo studio dei manufatti in pietra

I più utili criteri di classificazione sono basati sull'origine, che ne determina la *composizione*, ovvero la struttura aggregativa e il tipo di minerali presenti, dai quali dipendono i principali caratteri di **lavorabilità** e di *resistenza meccanica*.

- Rocce **magmatiche** (consolidamento di magmi profondi: *intrusive* o *superficiali*)
- Rocce **sedimentarie** (accumulo di materiali depositati nelle acque: *clastiche*, *chimiche* o *organogene*)
- Rocce **metamorfiche**: sono rocce sedimentarie o magmatiche trasformate da forze esterne

L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra



Schema orogenetico che illustra la posizione dei principali tipi di rocce in base alla formazione A: magma; B: strato basaltico; C: rocce filoniane; D: strato granitico; E: rocce metamorfiche; F: rocce sedimentarie; G: rocce metamorfiche per contatto; H: rocce effusive (Brogiolo, Cagnana 2012 da Donati 1990)

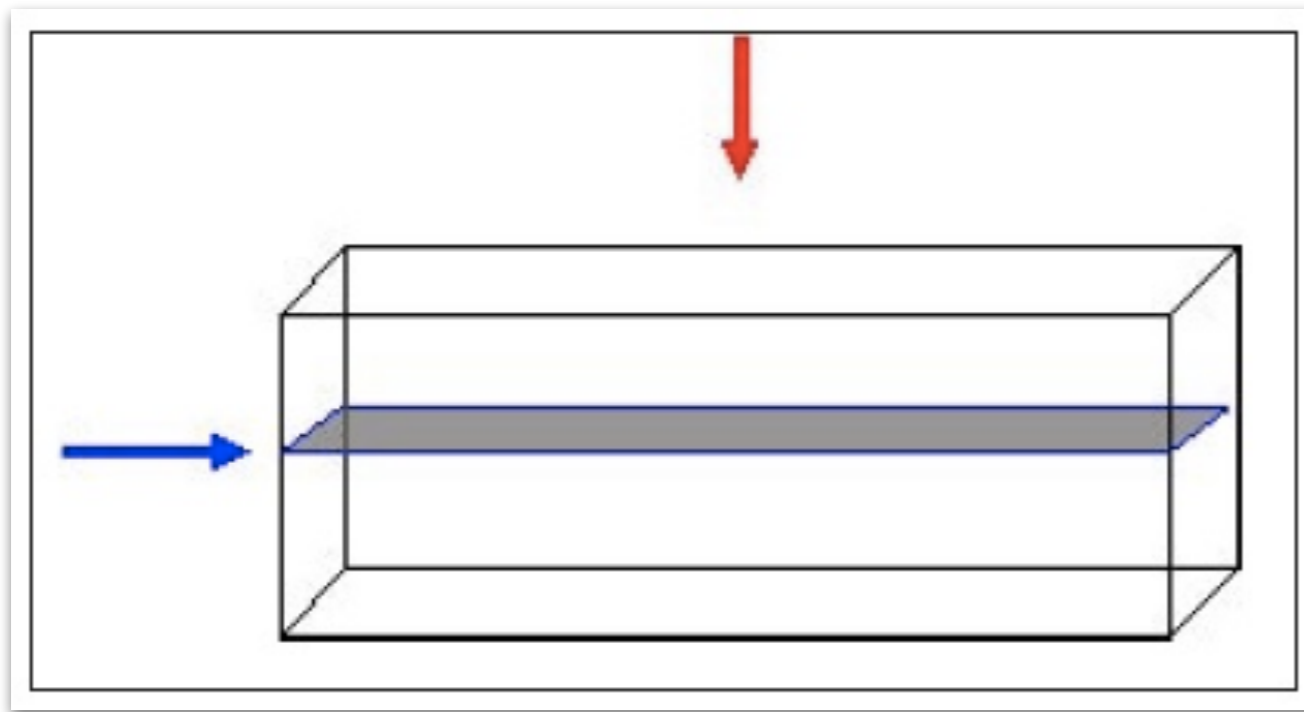
	SILICATICHE	CARBONATICHE	SOLFATICHE
MAGMATICHE INTRUSIVE FILONIANE EFFUSIVE	Graniti Sieniti Dioriti Serpentiniti Porfidi Gabbri Andesiti Trachiti Basalti		
SEDIMENTARIE	Conglomerati Arenarie Marne Calcari Siltiti Argille Breccie Oficalci Dolomie		Gessi
METAMORFICHE	Gneiss Micascisti Calcescisti Filladi Ardesie Scisti verdi Quarziti Argilloscisti		

Classificazione chimica e orogenetica delle rocce  
(Brogiolo, Cagnana 2012)

L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra

Dalla composizione delle rocce dipende la loro **divisibilità** (presenza di *piani naturali* in corrispondenza dei quali il distacco è più facile) e la loro **lavorabilità**.

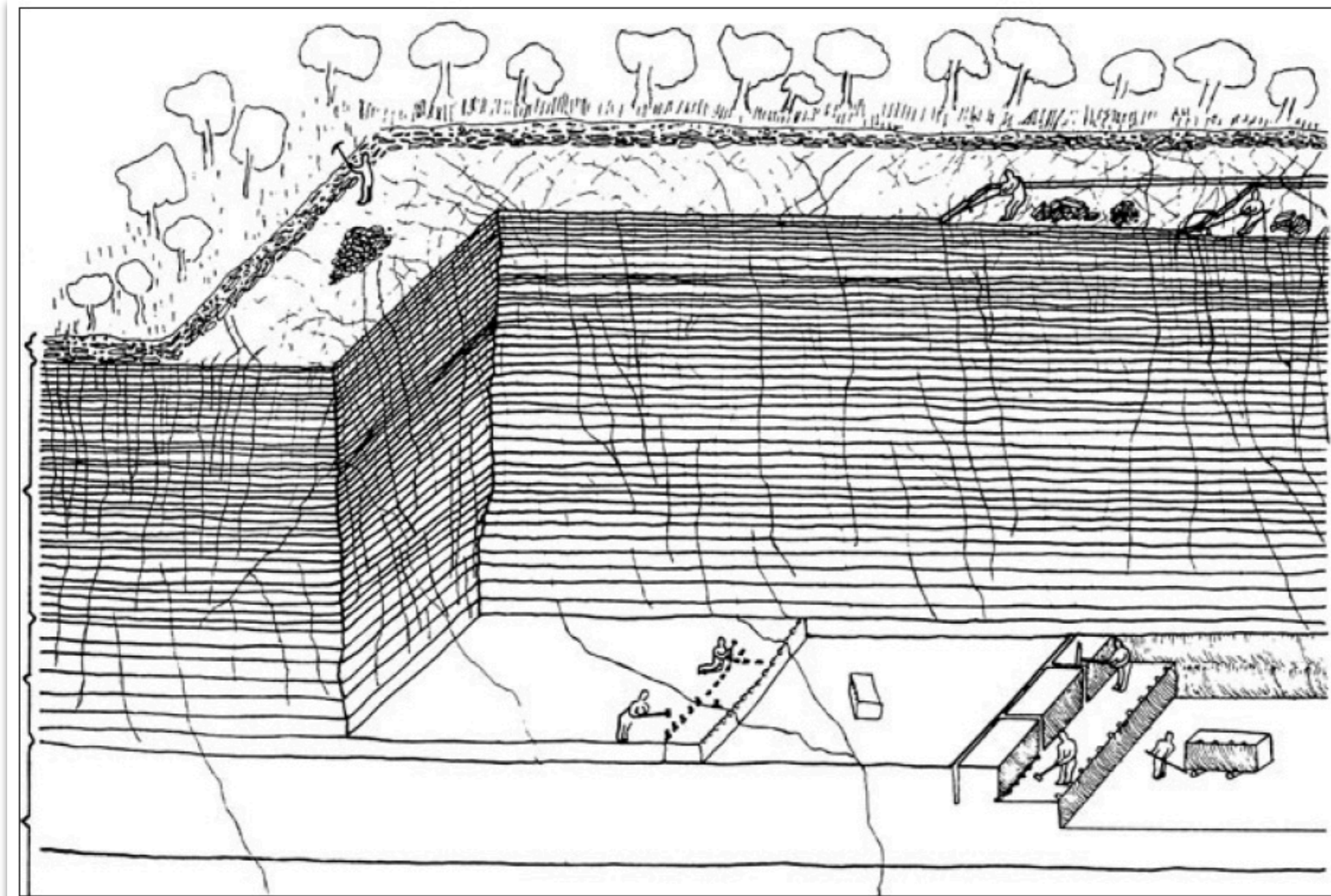
- la *durezza* è una caratteristica dei minerali che si misura in base alla scala di Mohs: 1. Talco; 2. Gesso; 3. Calcite (calcari e marmi) ...; 6-7. Graniti ...; 10. Diamante
- la *tenacità* è la resistenza all'urto (1. Basalti ... ; 6. Graniti; 7. Arenarie; 8. Calcari, Dolomia e Marmi; 9. Serpentiniti ...)
- la *lucidabilità* (vd. i 'marmi')
- la *resistenza a compressione e a trazione-flessione*



Schema di divisibilità (Brogiolo, Cagnana 2012)

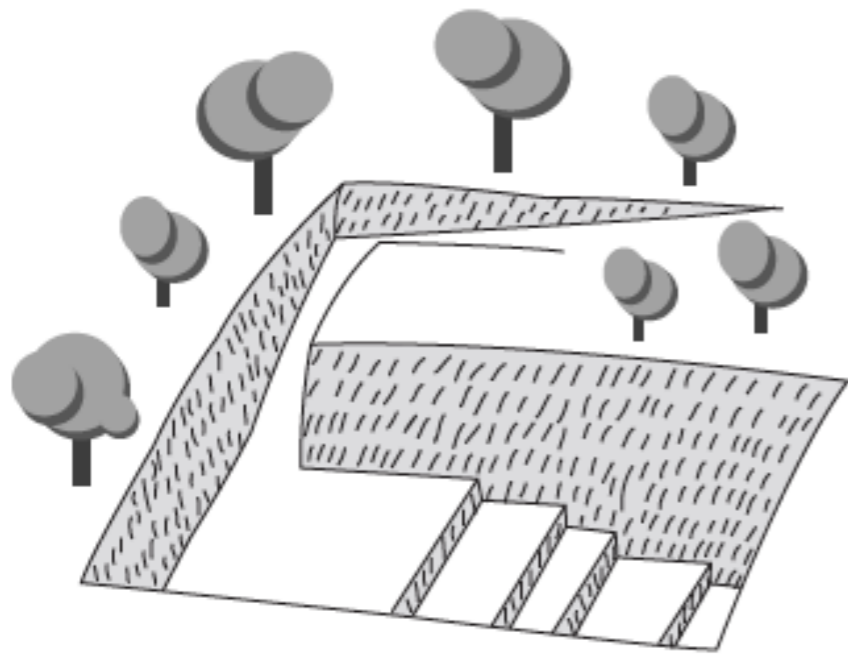
L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra

## 1.1 *L'estrazione della pietra: le cave*

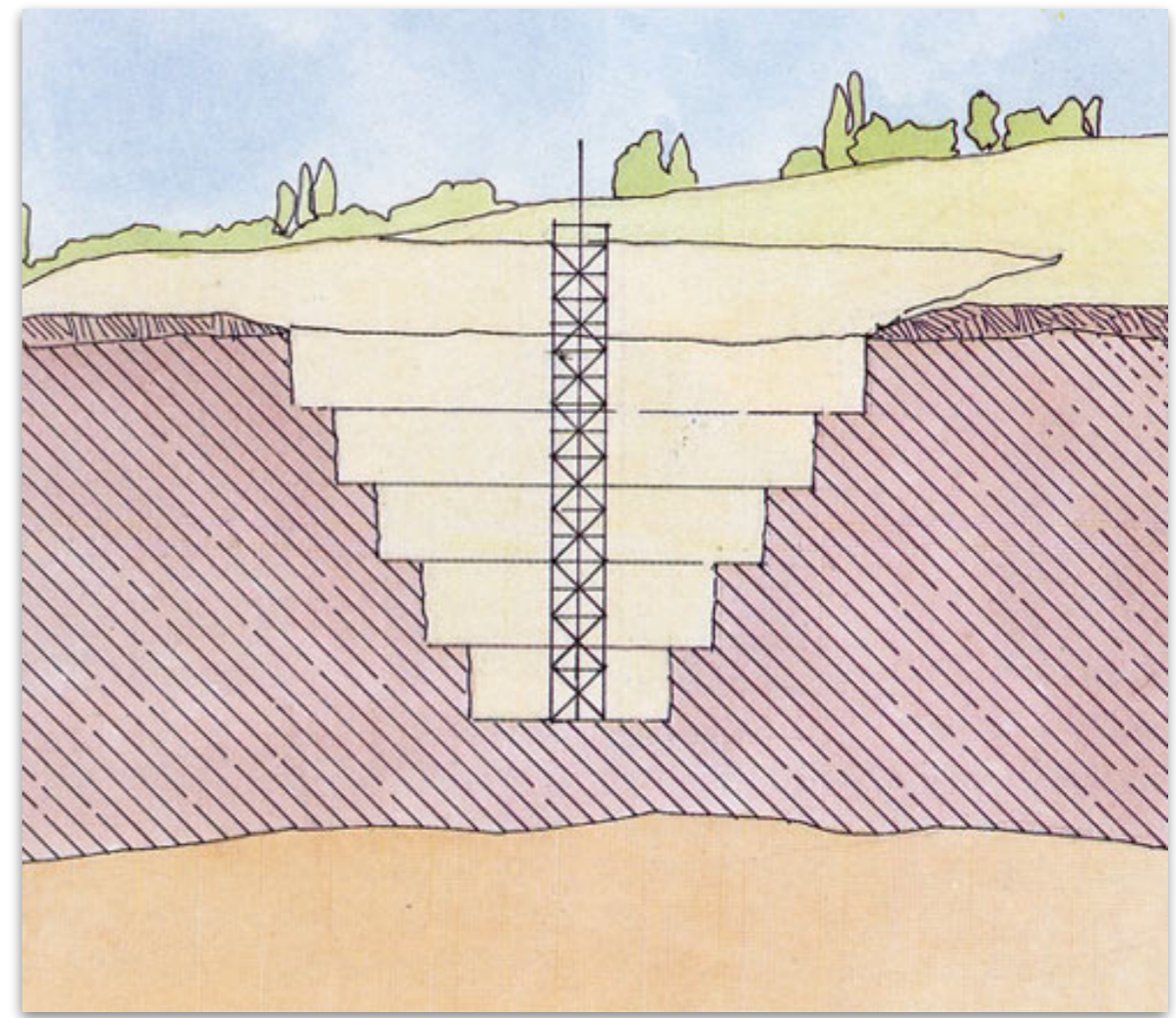


Schema di una formazione calcarea (Brogiolo, Cagnana 2012)

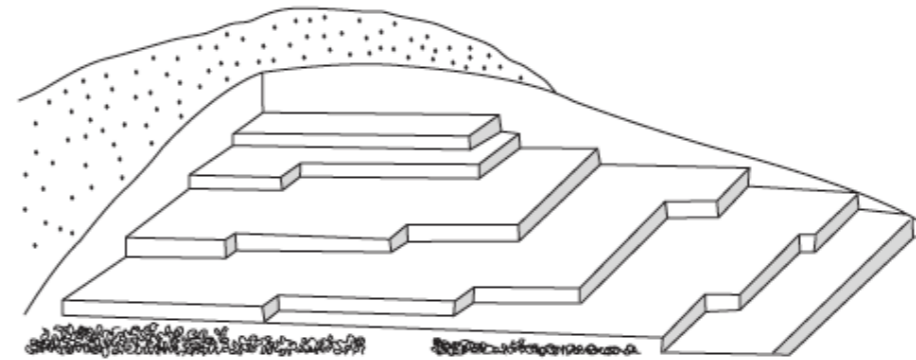
L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra



cave in fossa



Giacimenti di notevole entità con roccia particolarmente omogenea



cave a gradoni

L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra



Francia, cava romana di Saint Rémy



Francia, cava gallo-romana di Macon



Cava in fossa (da Bessac 2009)

L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra





Francia, cava a fossa nel centro di Marsiglia (scavi INRAP)

L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra



Una cava di epoca altomedievale (disegno ricostruttivo delle cave presso Nîmes, Brogiolo Cagnana 2012)

L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra



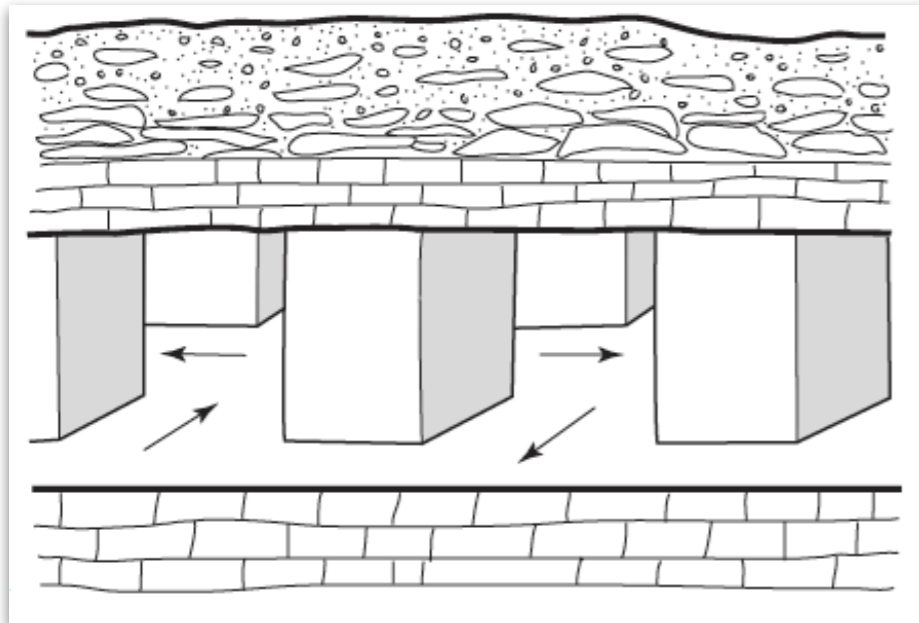
Apuane, cava a gradoni

L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra

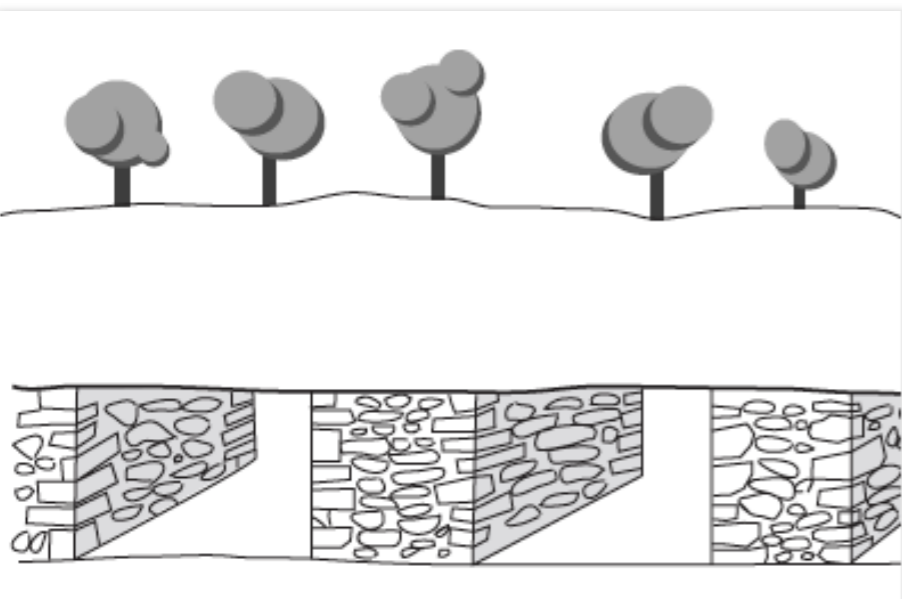


‘lavorazione a tetto’

usata per la coltivazione della lavagna in Liguria



cave a pilastri (Abdul Massih, Bessac 2009)



cave a pilastri di pietre (Abdul Massih, Bessac 2009)

escavazione in galleria

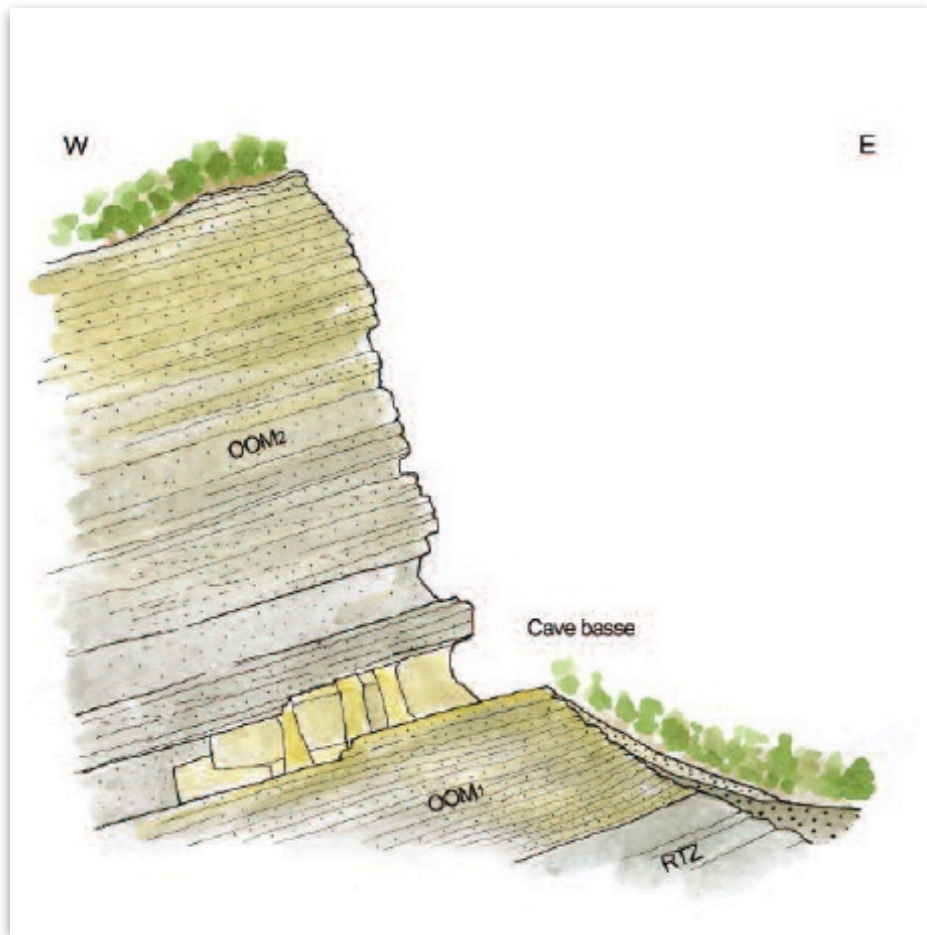


L’approvvigionamento dei materiali:  
la pietra



Apuane, cave in galleria sorrette da pilastri

L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra



Massone (TN), cave basse

Rilievo in sezione delle cave in  
sotterranea di Massone (TN), da  
Avanzini, Salvador 2018.

L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra



Massone (TN), cave alte



Paveri (Arco, TN) piccole cave in galleria

L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra



Rapolano (SI), cave di travertino. Il fronte di cava





Cave di travertino (Chiusdino-SI), il fronte di cava



Le cave di Vigne (Arco, Tn)



Le cave di Carniglia (Bedonia, Val di Taro)

L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra



Fronte di cava in verticale a Petra (Abdul Massih, Bessac 2009)



Piccolo fronte di cava (Laghel, Tn)

L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra

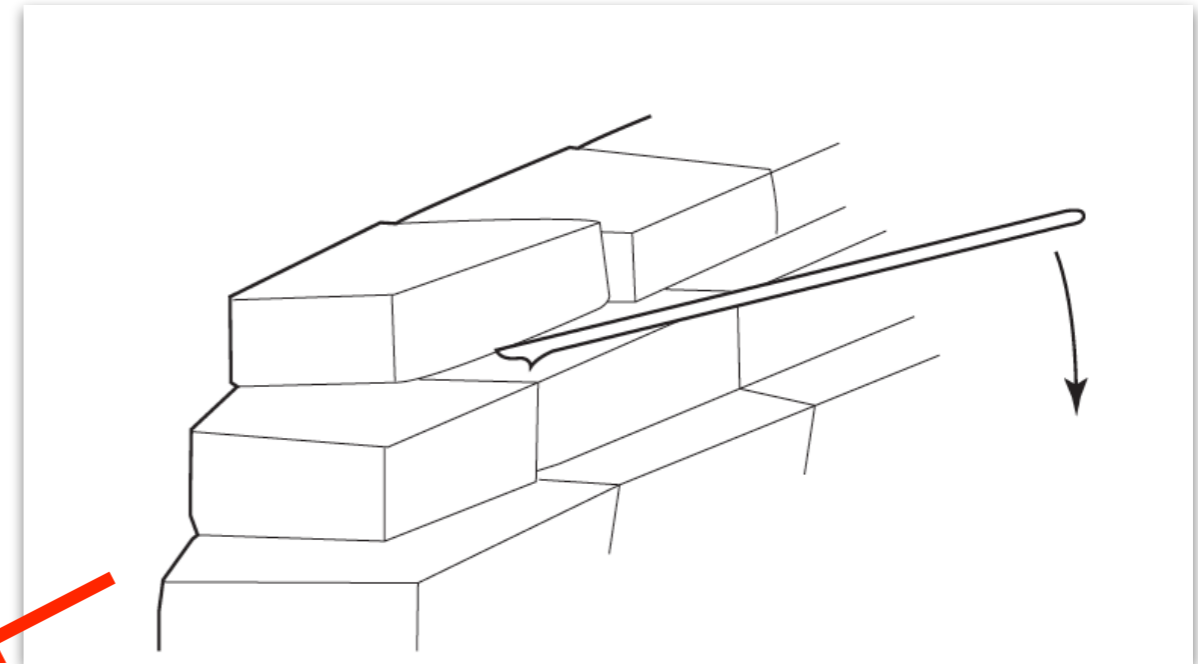


Petriera de 'Le Cannuccie' (Arcidosso, GR)



Fronte di arenaria macigno (Bagno a Ripoli, FI)

## Le *petriere* e la raccolta di materiale erratico



Operazione di estrazione di uno strato naturale con barra a leva ((Abdul Massih, Bessac 2009)

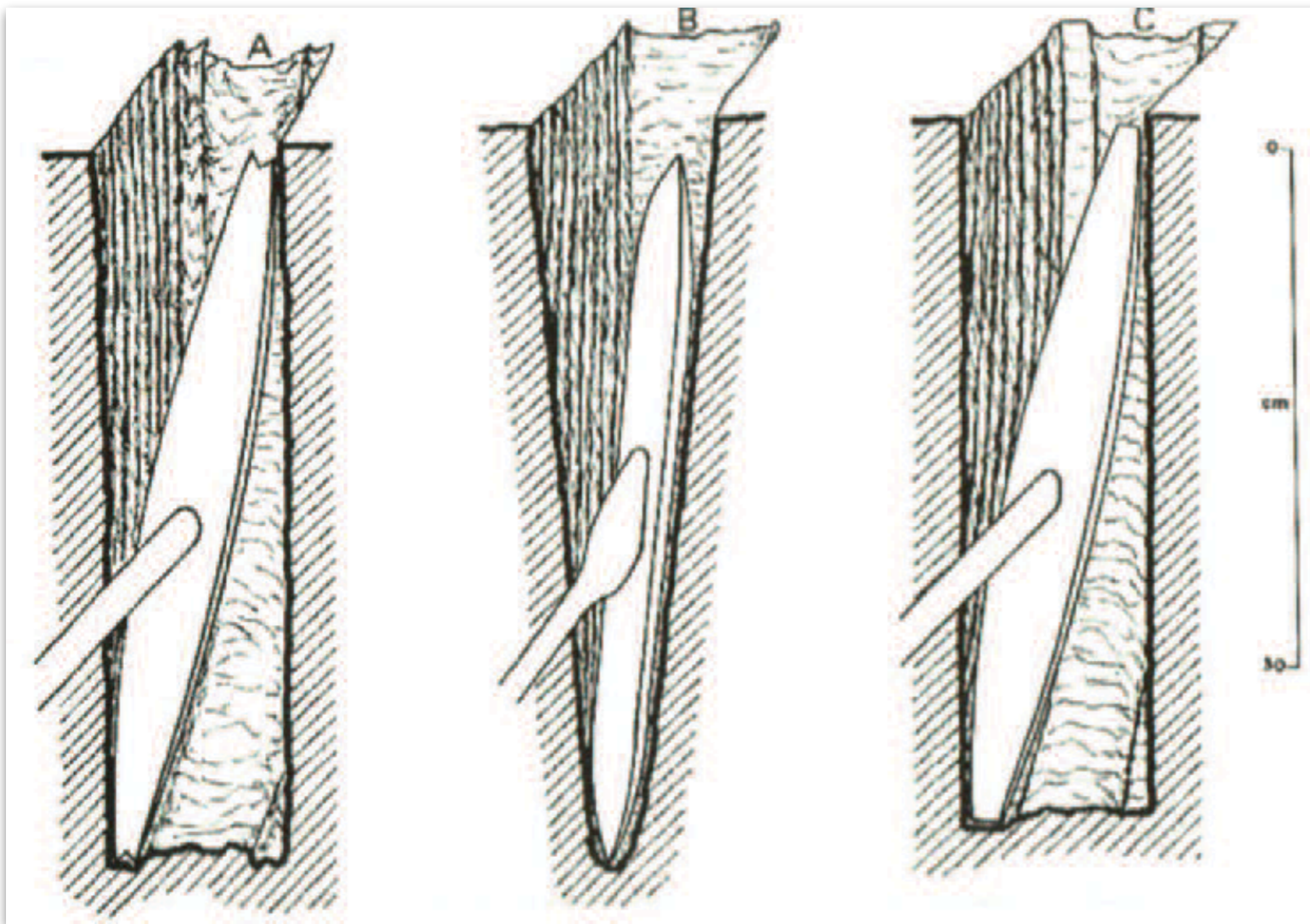
L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra

## *L'estrazione del blocco*



L'altezza dei solchi è determinata dai piani di distacco della roccia





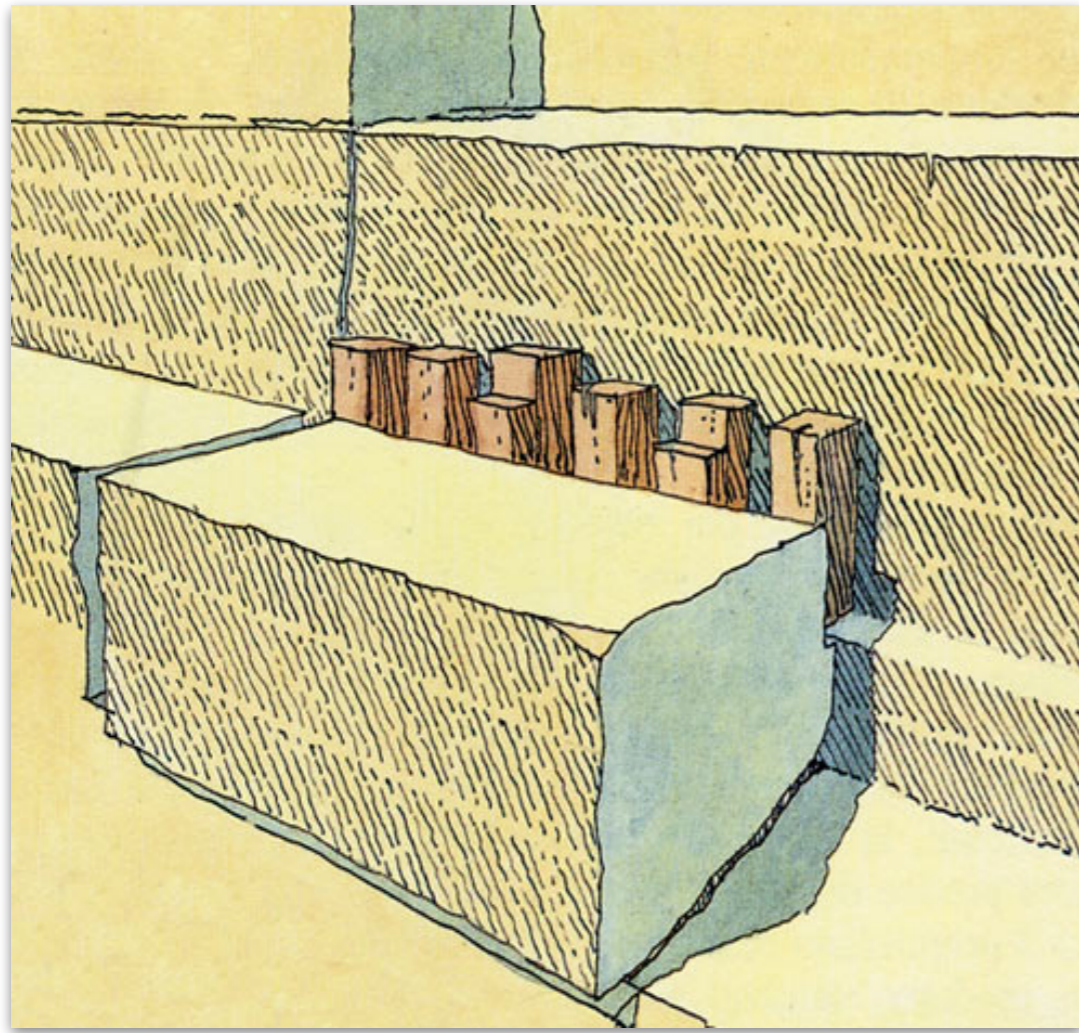
Tipologie di punte del piccone da cava  
(Gutierrez Garcia 2014)



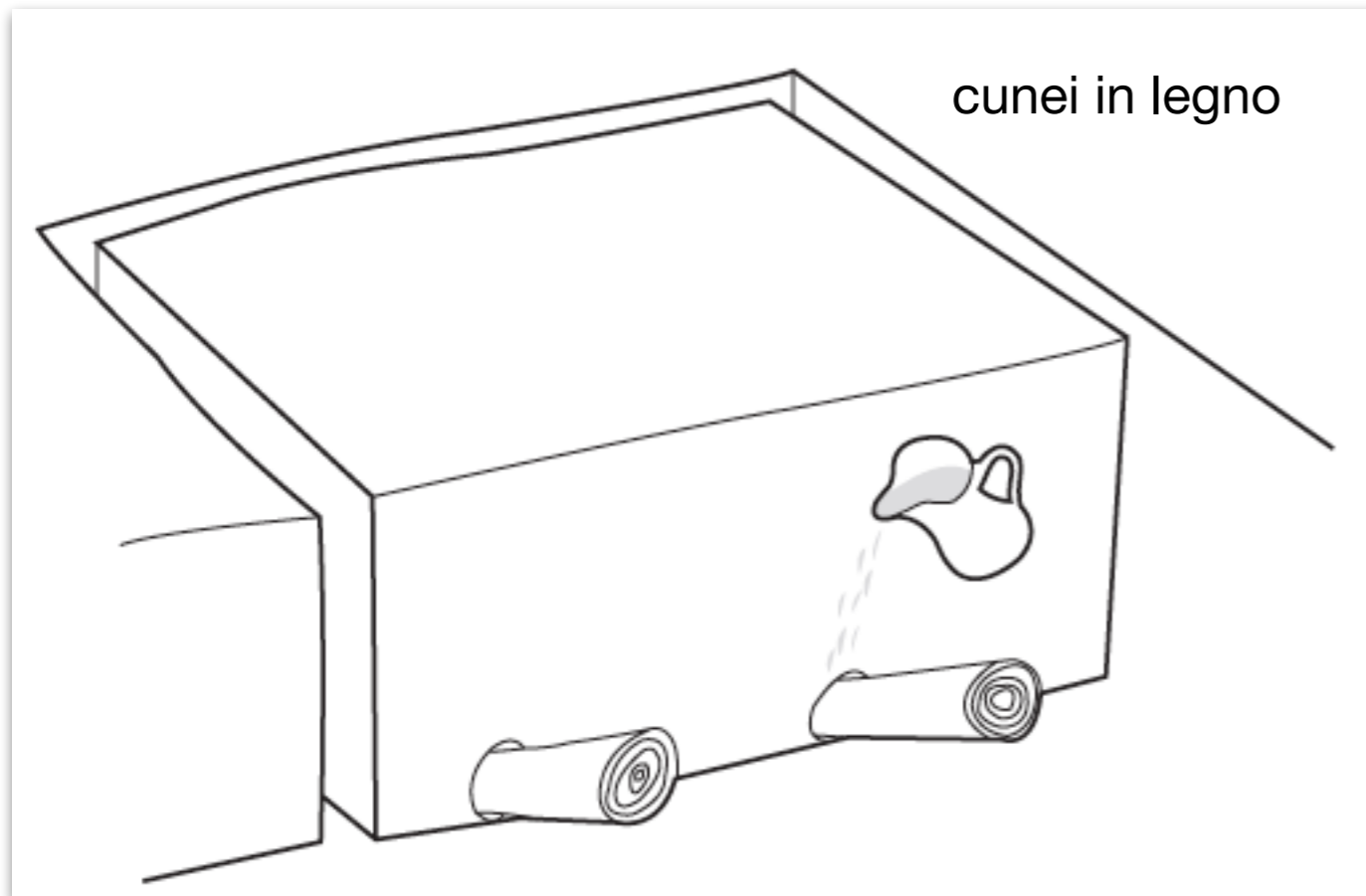
Particolare di un solco di delimitazione  
(cave alte di Massone, TN)

L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra

Il posizionamento dei cunei per l'estrazione del blocco  
(Abdul Massih, Bessac 2009)



cunei in ferro



cunei in legno

L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra

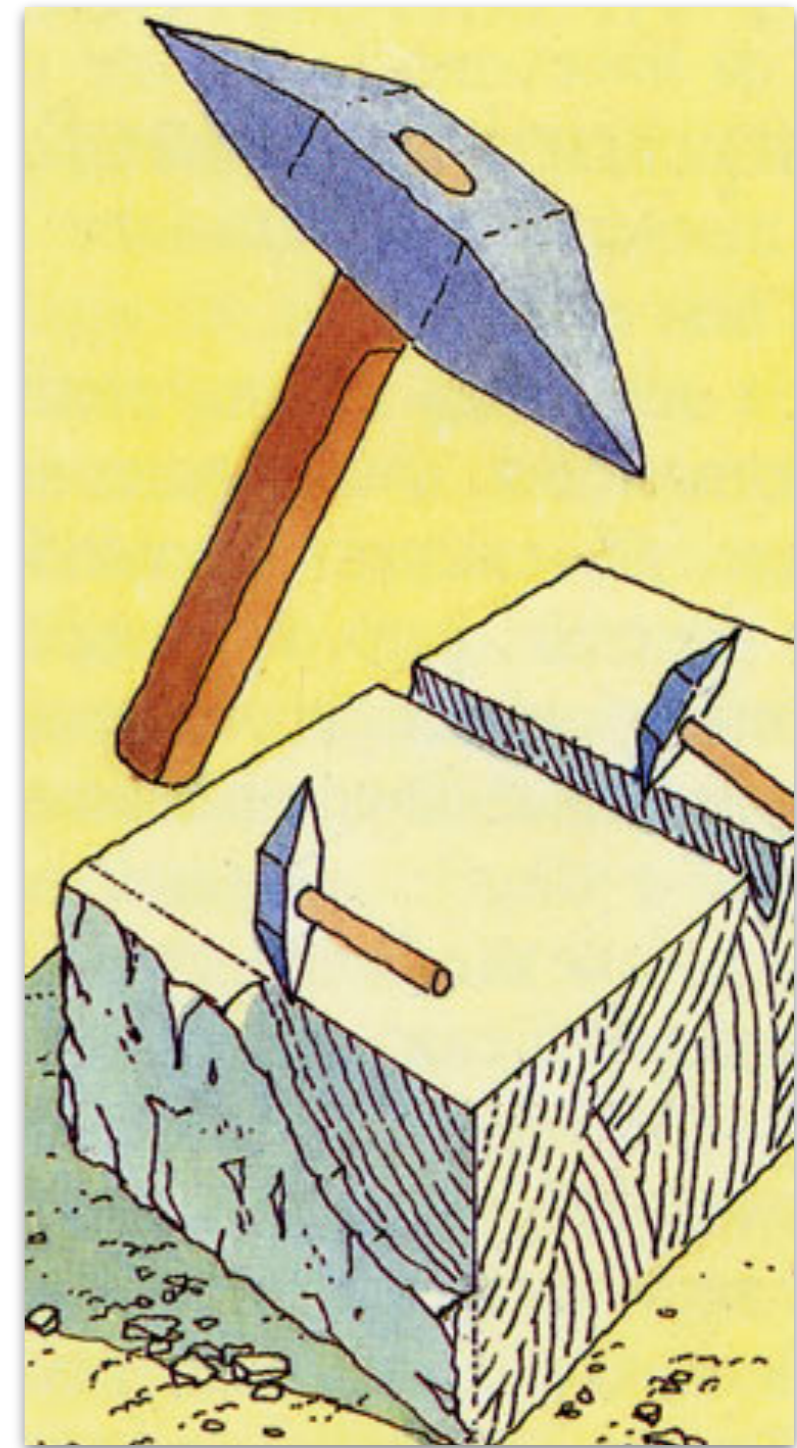
Le 'formelle': le incisioni a V per l'alloggio dei cunei



L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra



Il piccone da cava

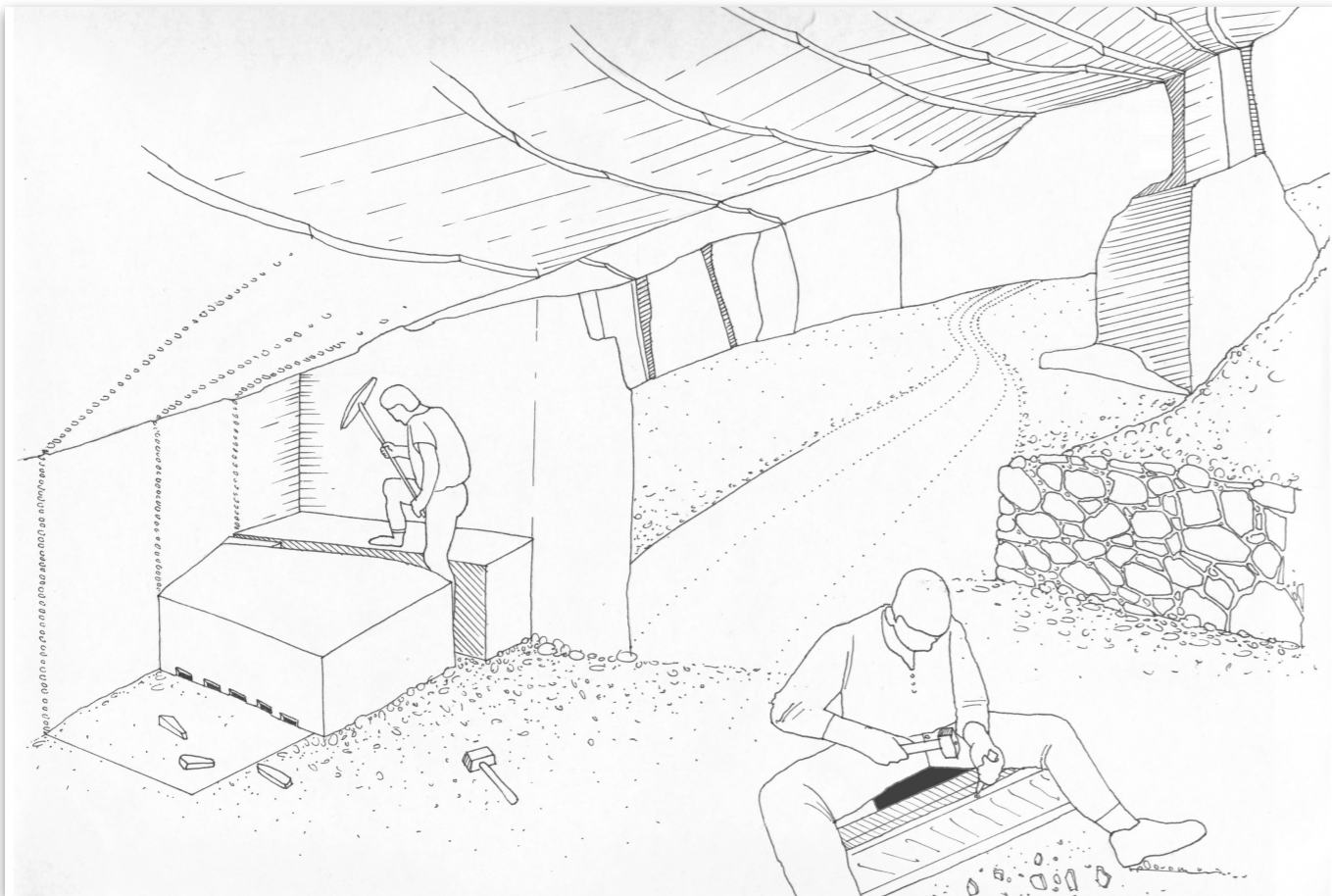


L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra





Cave alte di Massone (TN), blocco staccato e semilavorato in cava



Cavatura e prima lavorazione dei blocchi in cava (disegno P. Vedovetto)

L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra

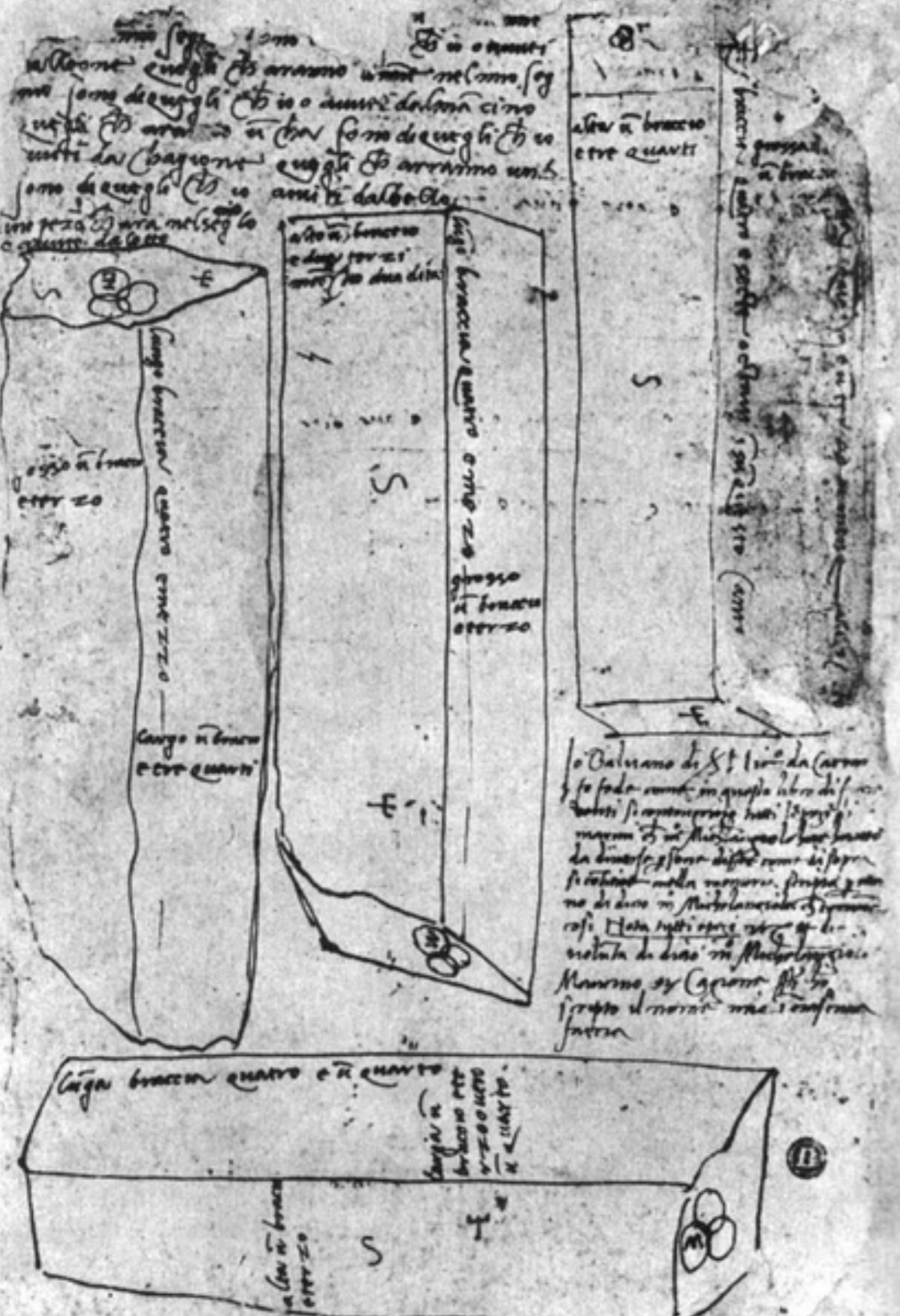


Cave alte di Massone  
(TN), scarichi di materiale  
di scarto



Cave alte di Massone  
(TN), reimpiego del  
materiale di scarto

L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra



Siena, Santa Maria della Scala, pietra semilavorata in cava con il simbolo della scala ('marchio' di proprietà)



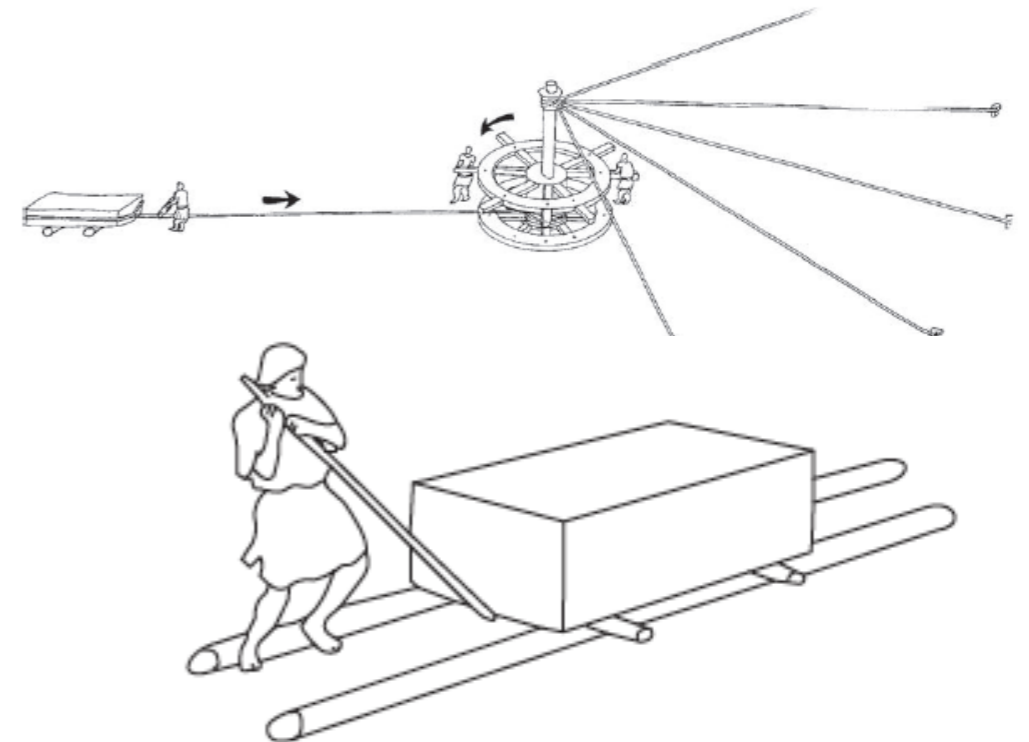
Michelangelo Buonarroti, schizzo esplicativo per cavatori con blocchi e misure ("... ogni blocco è contrassegnato con i tre cerchi intrecciati: è il simbolo con il quale facevo marchiare tutti i miei marmi, a scanso di equivoci")

L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra

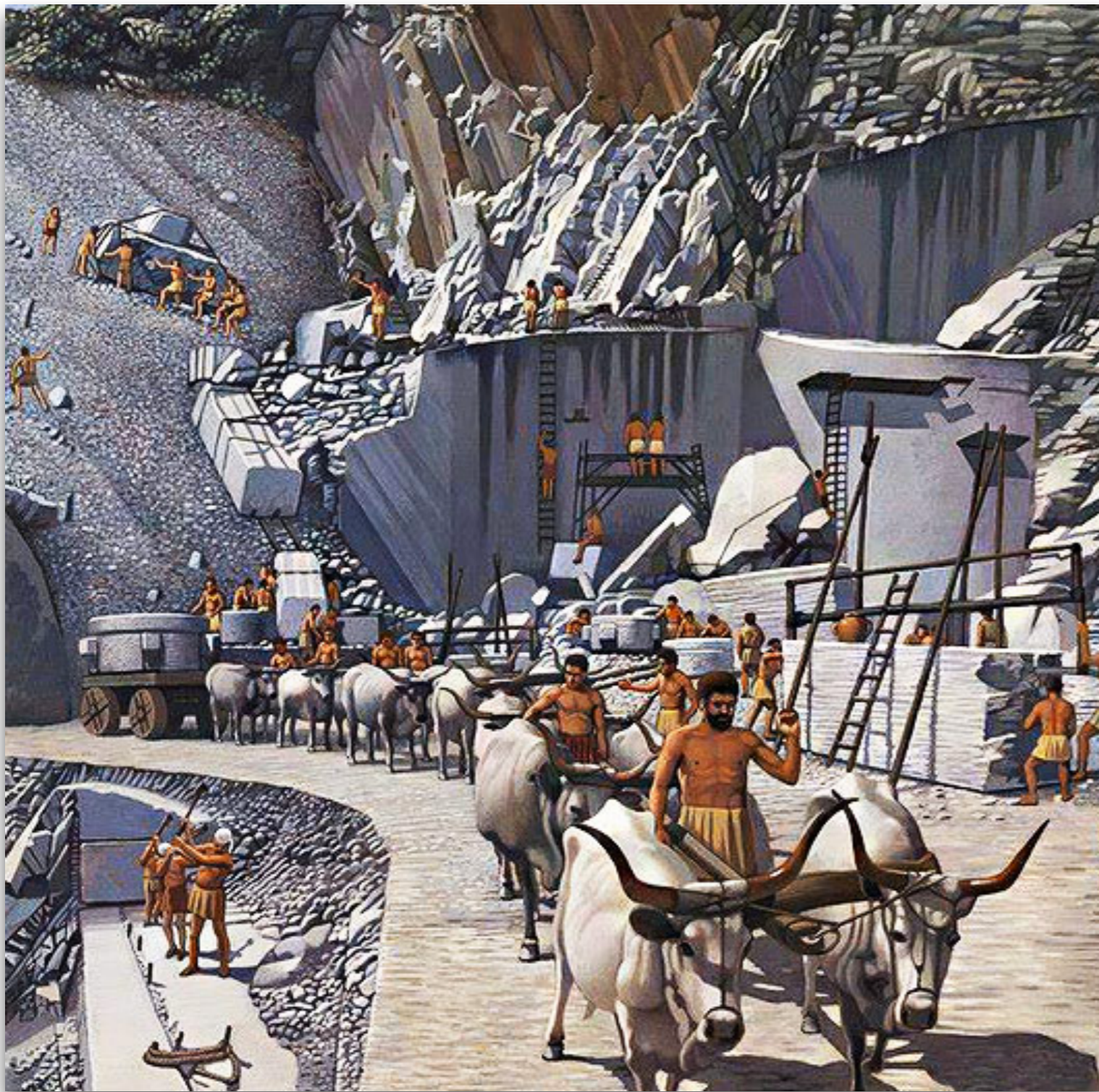
Il trasporto dei blocchi a valle della cava



La “lizzatura” nelle cave di marmo di Carrara



L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra



Il trasporto dei blocchi a dorso di mulo o su carro

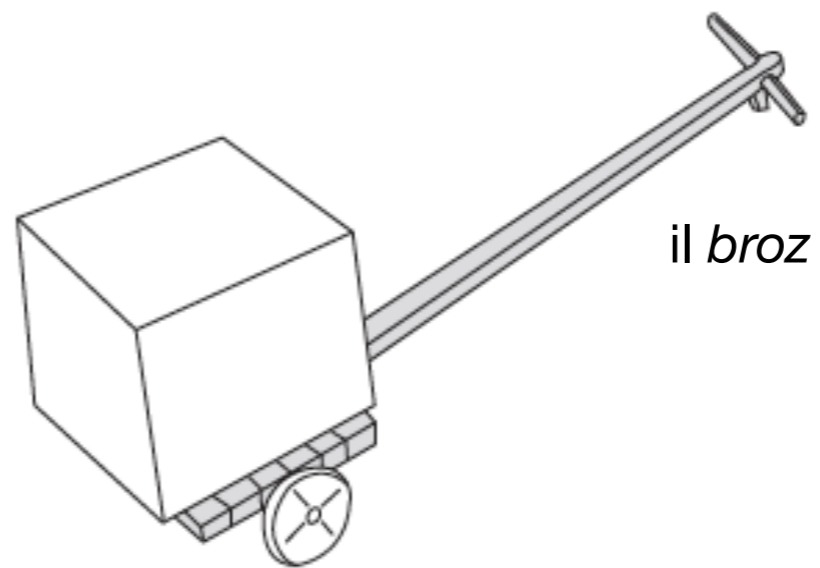


Ambrogio Lorenzetti, *Il Buon Governo*,  
Siena, palazzo Pubblico, particolare

L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra



Tracce dei solchi lasciati dal *broz* sulle vie di cava



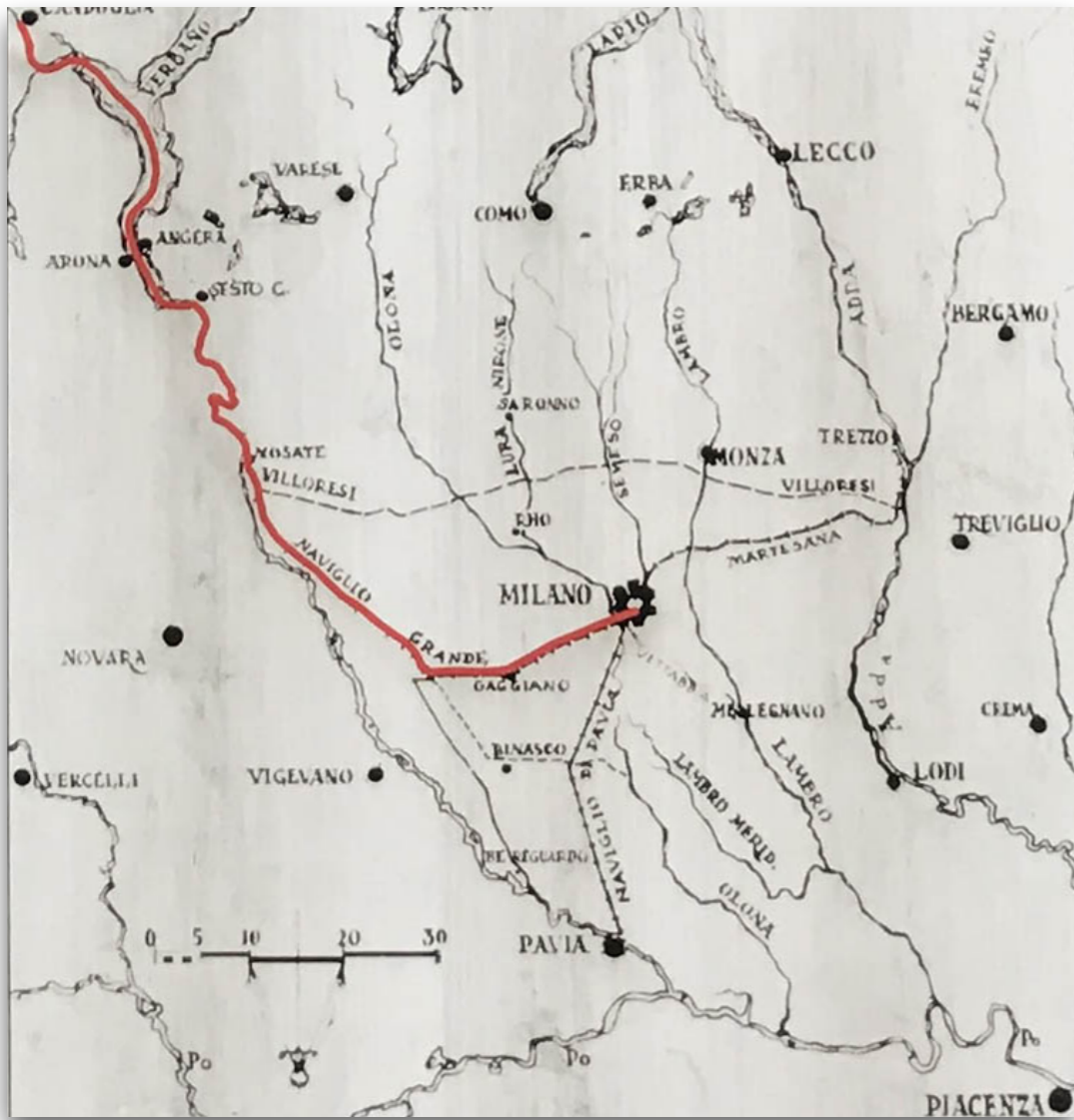
L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra

## Il trasporto fluviale



Operazioni di scarico di pietre da costruzione da un battello, tramite un argano a ruota (Mss. hist. helv. I, 16,p. 81. Burgerbibliothek, Bern), da Erland Brandebourg 1992.

L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra



Il duomo di Milano

Il percorso del marmo sulle vie d'acqua dalle cave di Candoglia a Milano (100 km)

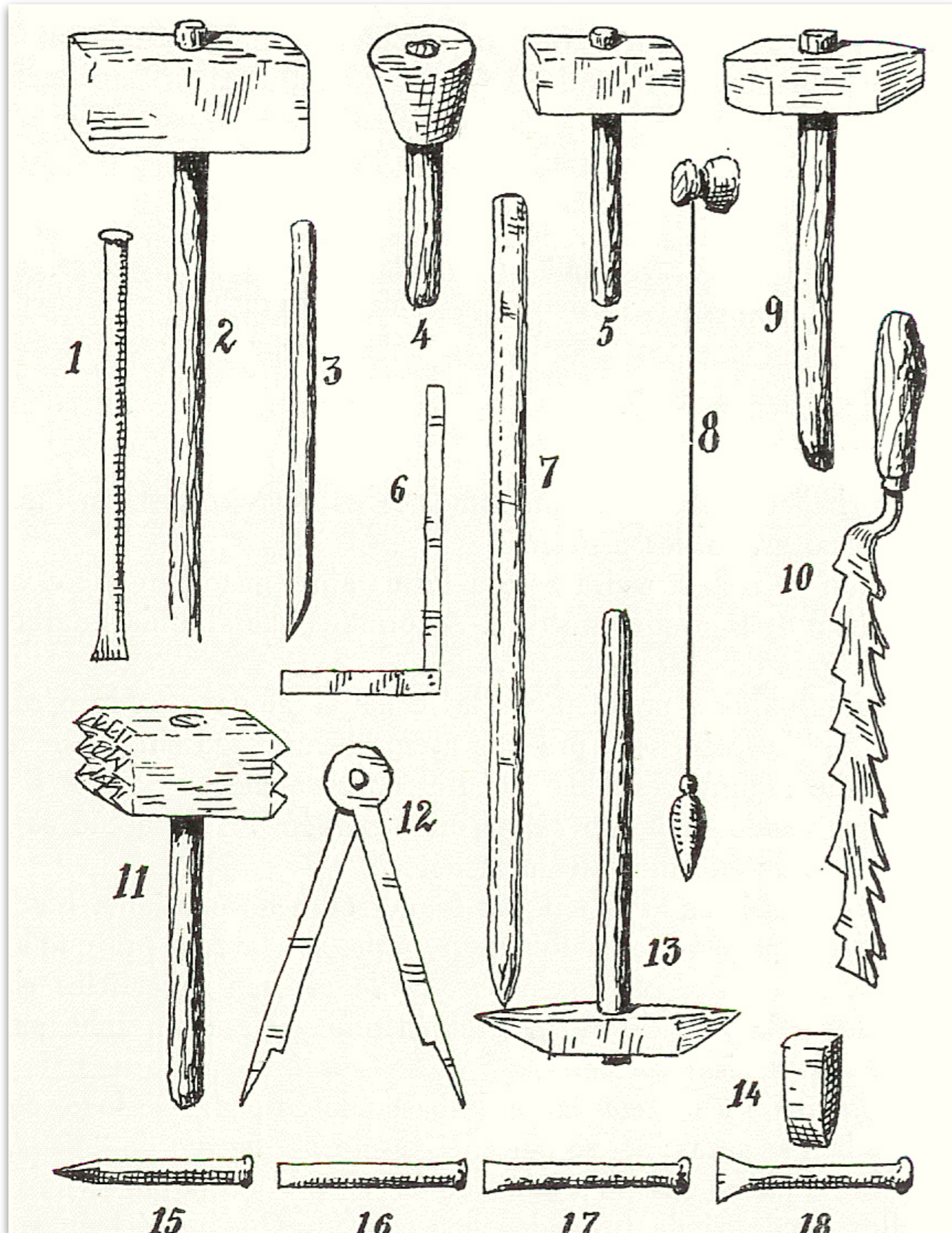


Milano, naviglio (1890)

L'approvvigionamento dei materiali:  
la pietra





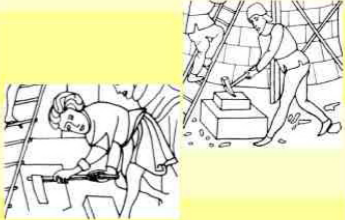
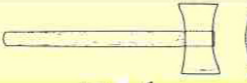

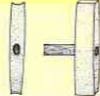


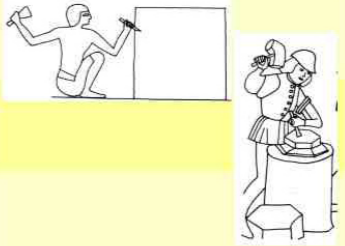


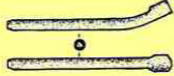


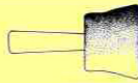
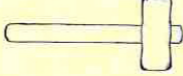
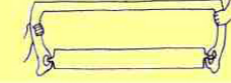





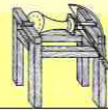



## 1.2 Gi strumenti



Lavorazione del materiale:  
la pietra

# LA PIETRA

## PRINCIPALI STRUMENTI DI LAVORAZIONE

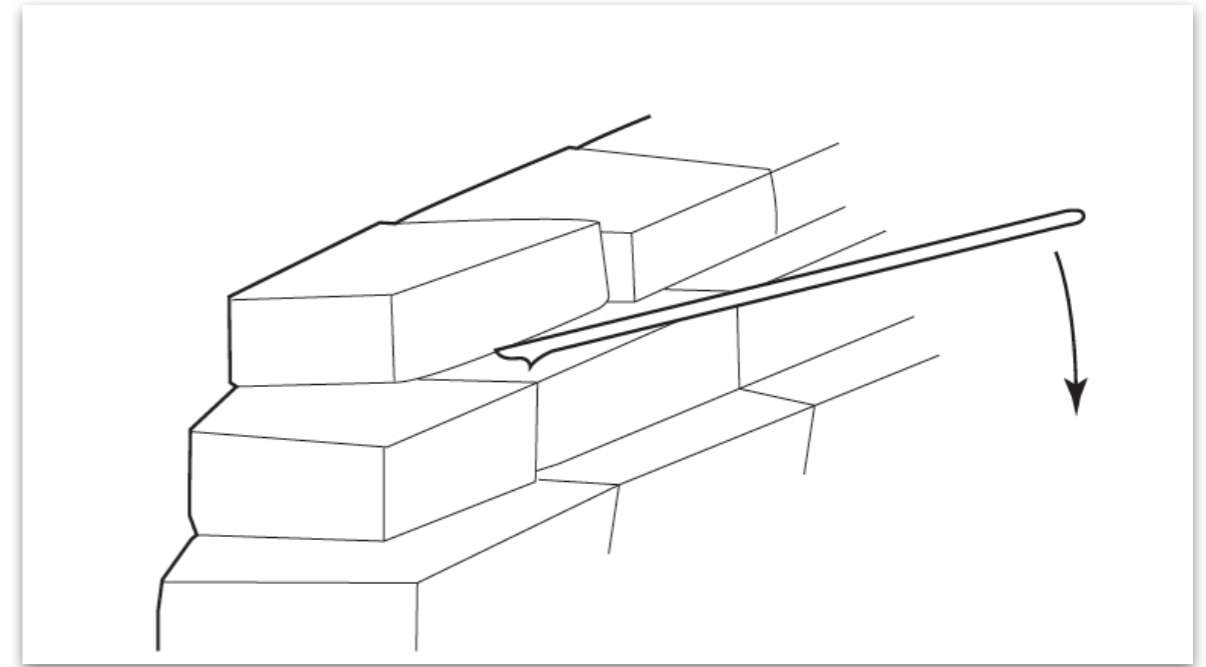
PERCUSSIONE DIRETTA		Piccone da cava		Rompere, scavare solchi nella roccia
		Picco o picchetta		Sbozzare, spianare grossolanamente, scavare alloggi per i cunei
		Martellina		Sgrossare una superficie, spianare
		Ascia		Sgrossare, spianare parti rientranti
		Mazzetta		Eliminare sporgenze, spaccare
		Bocciarda		Finire superfici piane
P. INDIRETTA		Punta o subbia		
		Scalpello	Realizzare gli spigoli di un concio, spianare	
		Gradina	Spianare	
		Sgorbia	Scavare o finire modanature concave	
PERCUSSORI		Mazza		Percuotere cunei
		Mazzuolo di legno		Percuotere strumenti con impugnatura di ferro terminante "a fungo"
		Mazzuolo di ferro		Percuotere strumenti con impugnatura di legno, o di ferro a testa troncoconica
ABRASIONE		Sega		Tagliare secondo un piano
		Raspa		Finire parti modanate, smussare o arrotondare spigoli
		Raschietto		Levigare
		Trapano		Forare, incidere profondamente pezzi fragili
		Tornio		Tornire, perfezionare la sagoma di pezzi "cilindrici"
ALTRI		Cunei		Spaccare secondo un piano, dividere
		Leva		Sollevarre, spostare blocchi

I principali strumenti di lavorazione della pietra

*Strumenti a percussione diretta*



Picconi, mazzuoli, cunei e barre per cavare e spaccare la roccia in fase di estrazione; il piccone a una o due punte e la mazza potevano servire anche per una prima lavorazione del materiale nel piazzale di cava.



la barra a leva



il cuneo

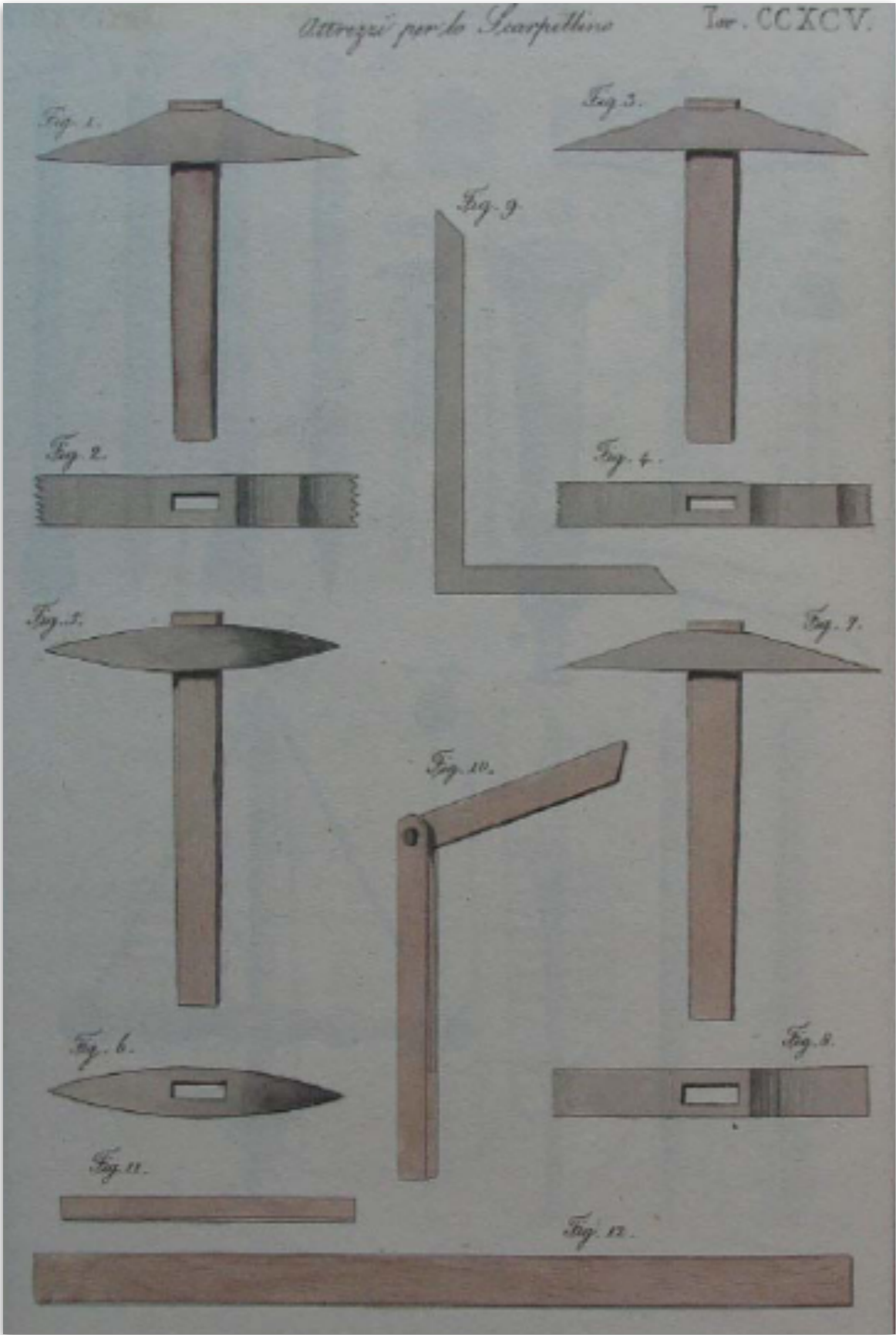
Lavorazione del materiale:  
la pietra



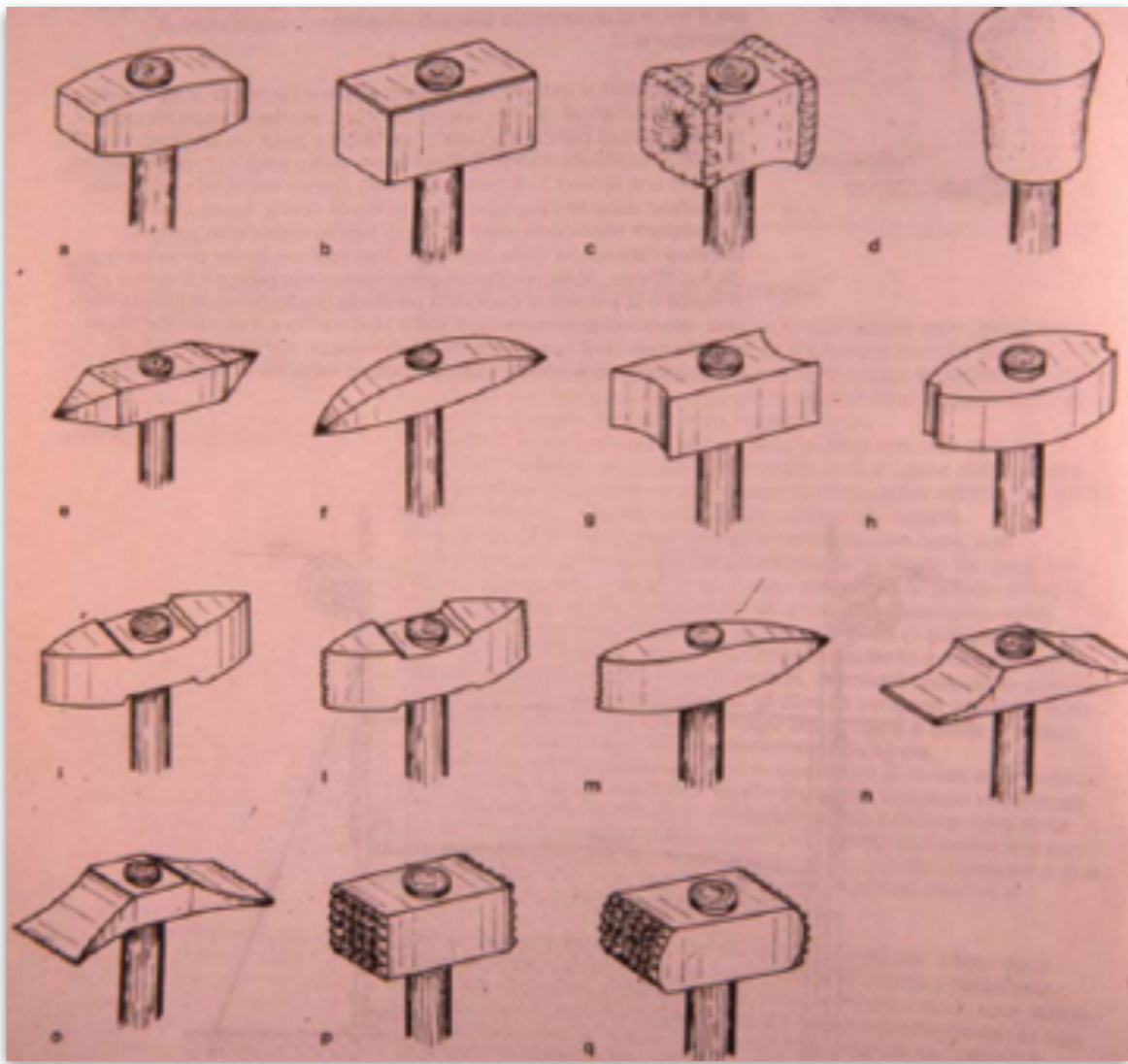
*Tracce di lavorazione* di uno strumento a punta grossa (piccone)



Lavorazione del materiale:  
la pietra



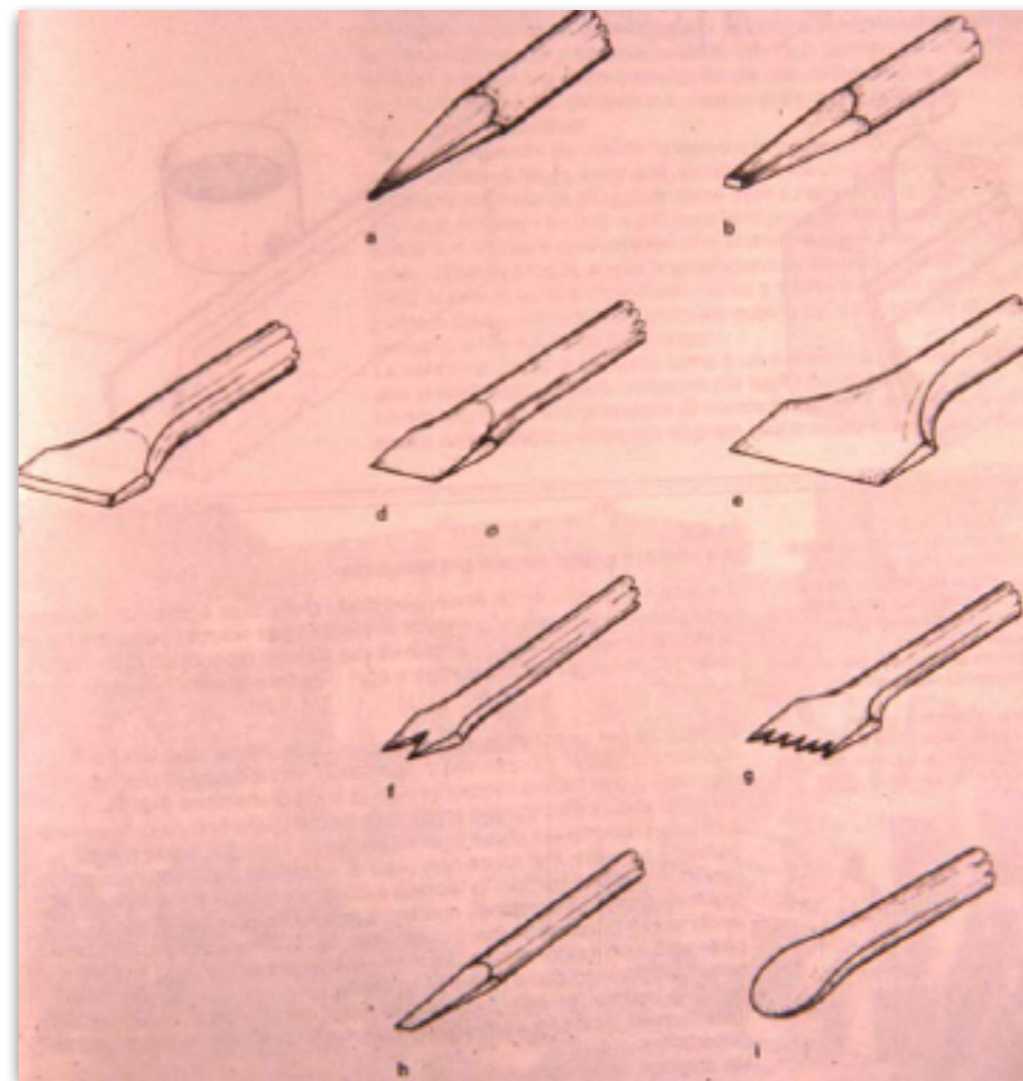
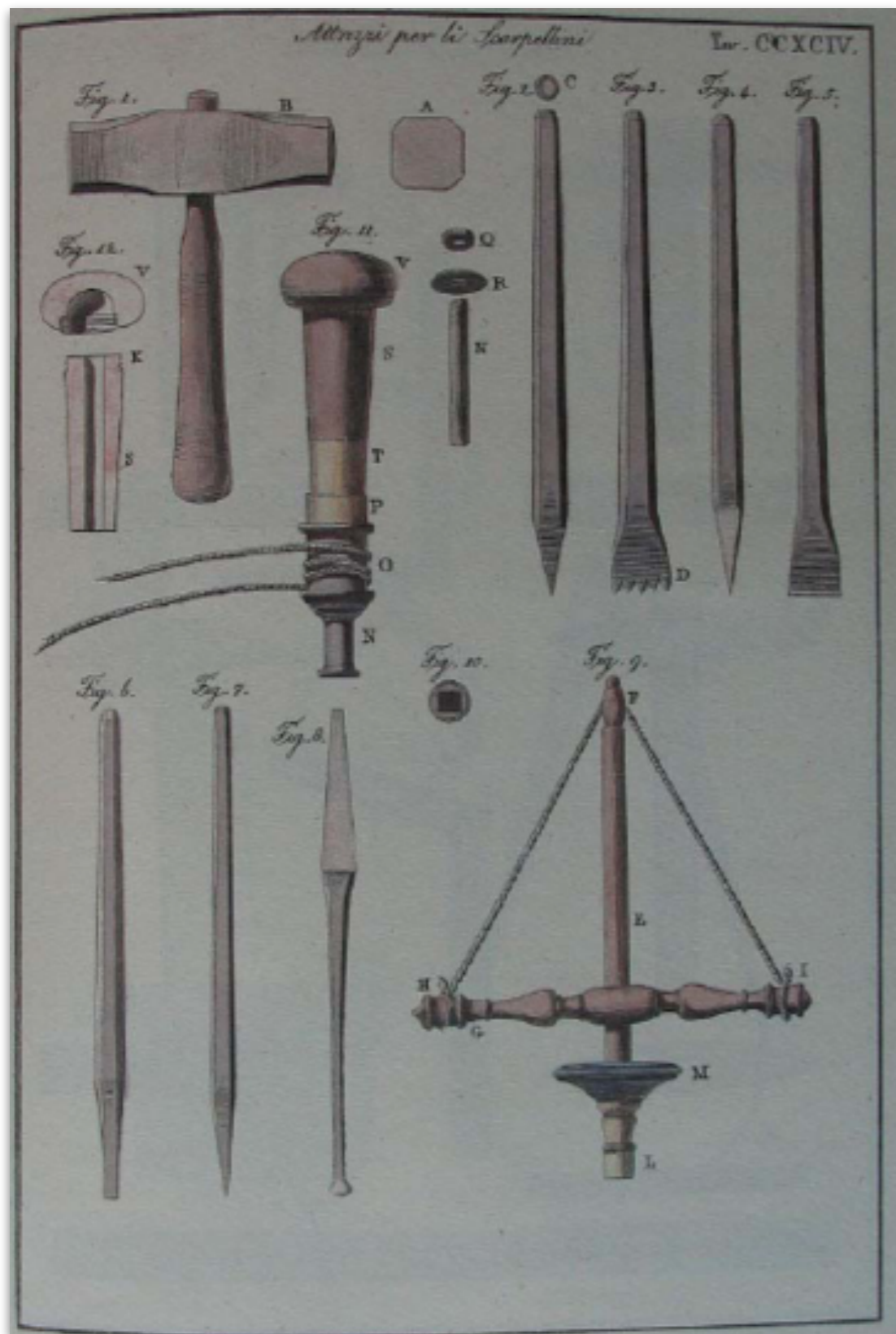
Martellina a lama liscia (ascettino) o dentata e il picco(ne)



Mazze, martelline e bocciarde

Lavorazione del materiale:  
la pietra

Strumenti a percussione indiretta (poggiata)



Punte (subbie), scalpelli, gradine

Percussori, punte, scalpelli e gradine, trapani

Lavorazione del materiale:  
la pietra

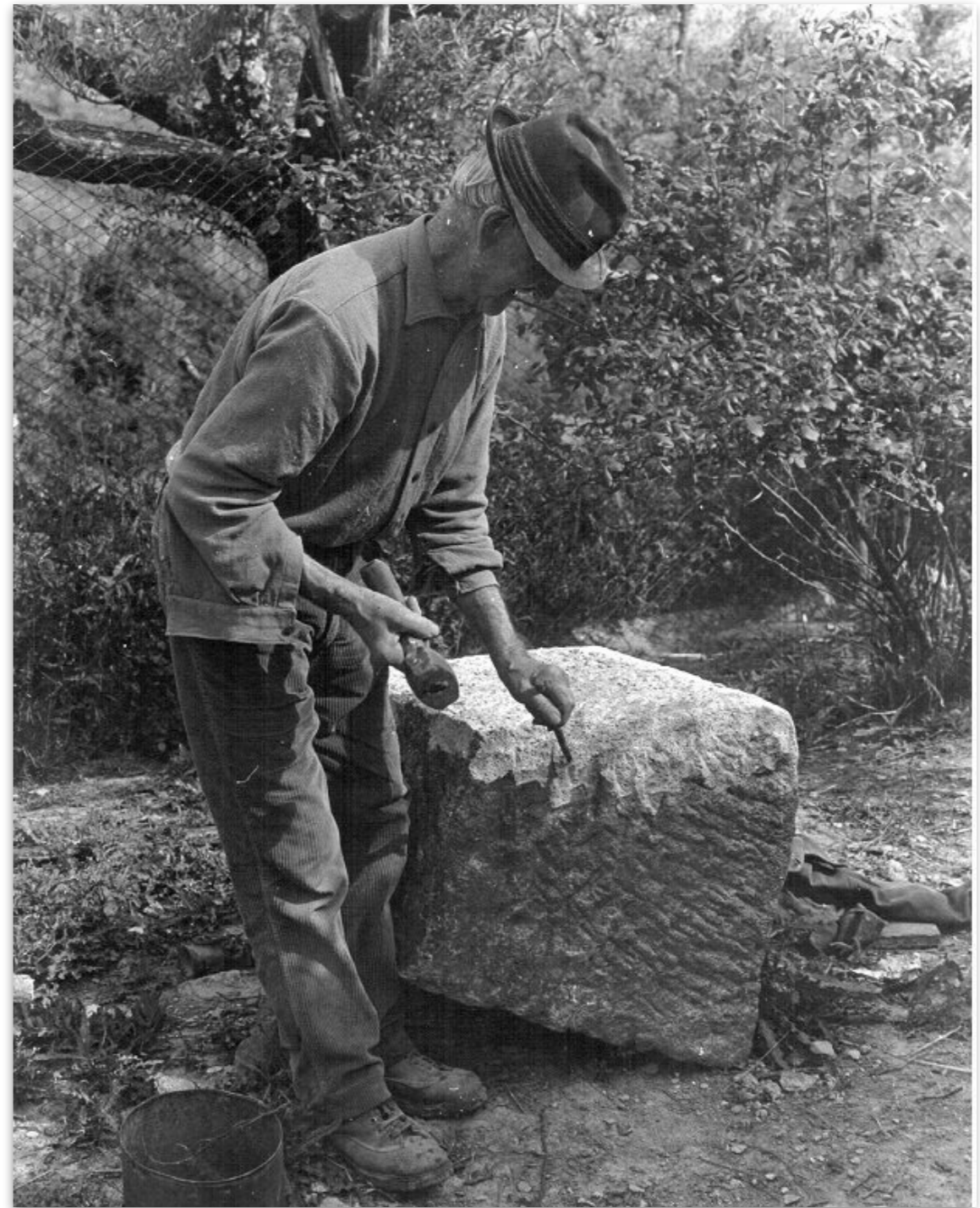


Gli strumenti dello scalpellino: scalpelli, sgorbie e gradine



Bocciarda

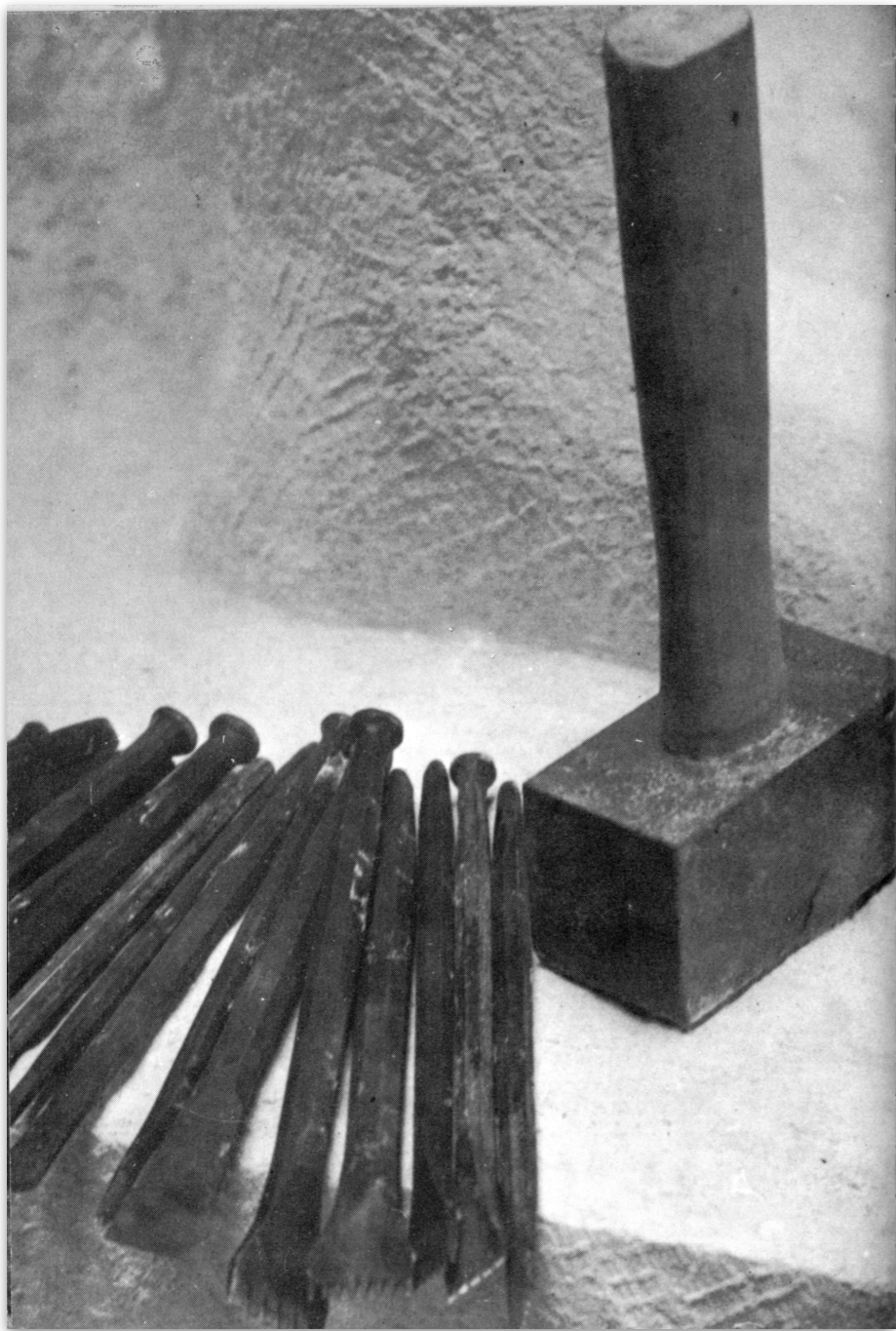
Lavorazione del materiale:  
la pietra



Il blocco di pietra viene sbozzato con strumenti a punta (subbie)

Lavorazione del materiale:  
la pietra





Arrivato in cantiere, il blocco viene squadrato tramite l'ausilio di squadre e le facce del concio vengono spianate e rifinite

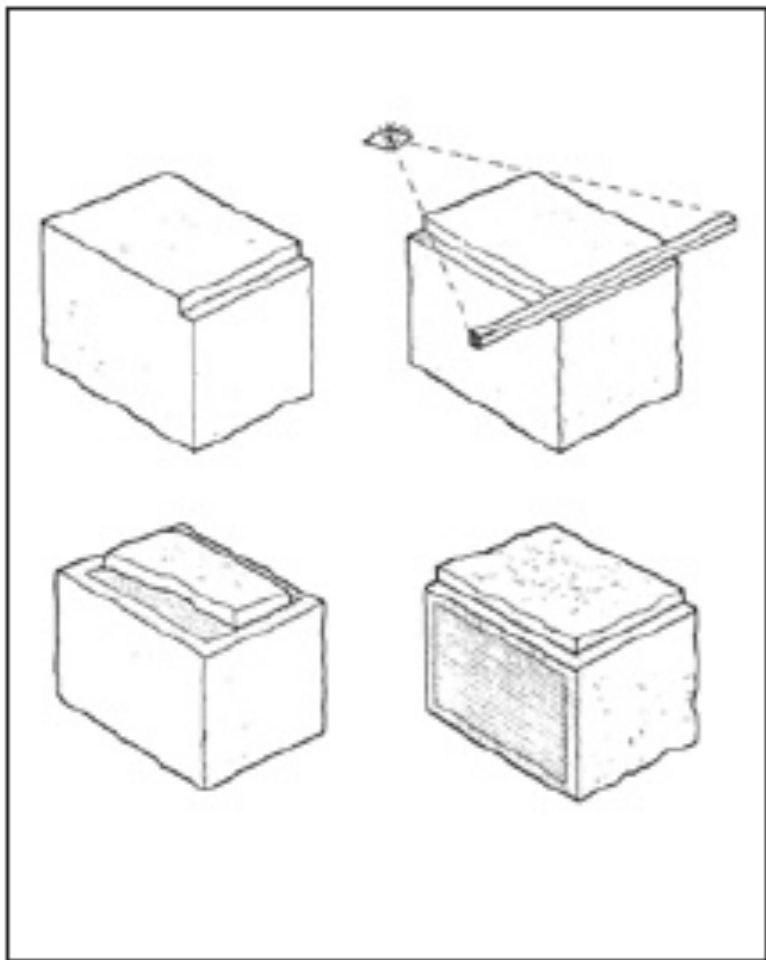


Lavorazione del materiale:

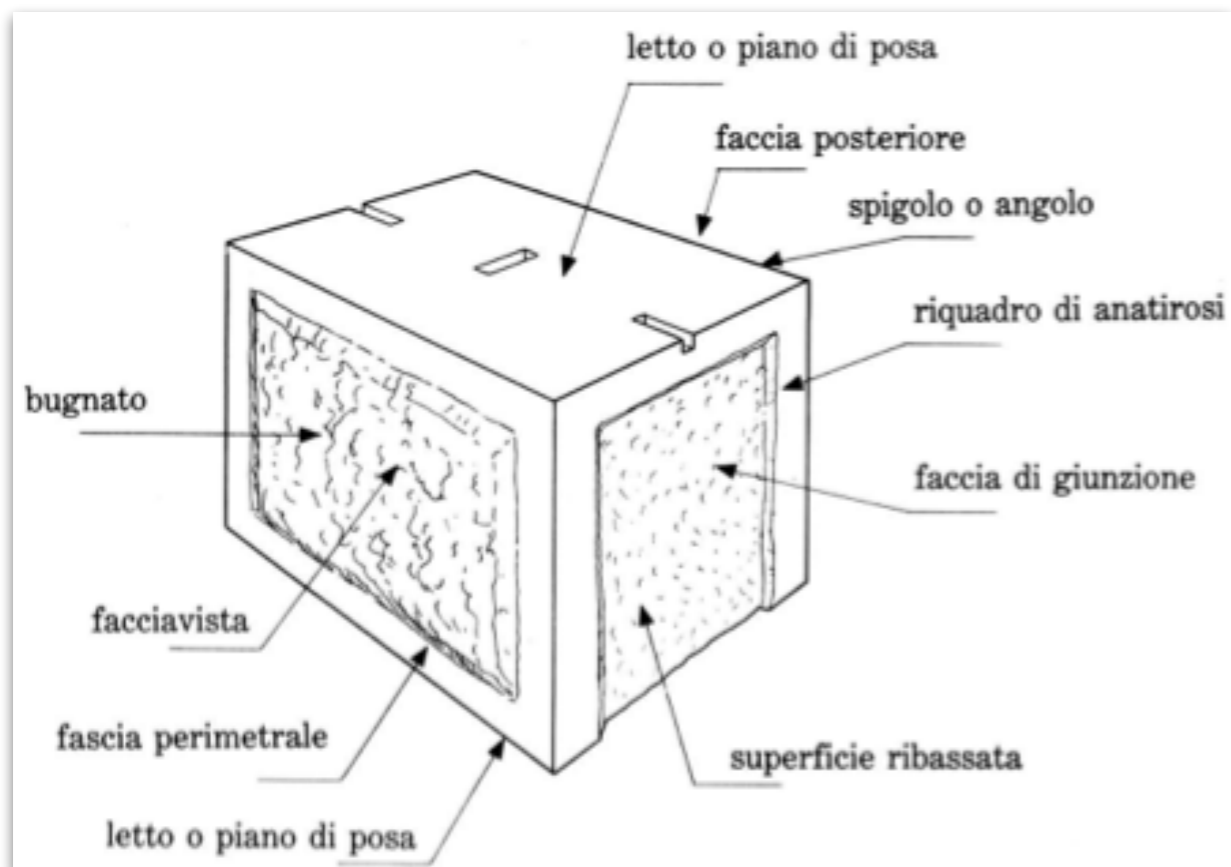
la pietra

### *Fasi della riquadratura di un concio*

- realizzazione del primo spigolo con scalpello e mazzetta
- traguardo (dopo avere individuato il secondo spigolo con la squadra a 90 gradi) per l'individuazione del terzo e quarto spigolo
- spianatura della faccia così delimitata (nastrino) con punte o lame
- ribaltamento del concio e individuazione del secondo spigolo della seconda faccia con la squadra a 90 gradi



La fascia perimetrale (nastrino o fascetta)



Lavorazione del materiale:  
la pietra



Da sinistra: scalpello, gradine, scalpello a testa bocciardata, bocciarda, martellina a lama dentata, scalpello, mazzetta, punta, scalpello a lama larga



Fasi della riquadratura di un concio: a) lavorazione a percussione indiretta con uso di scalpello e mazzuolo in legno (Abdul Massih, Bessac 2009); b) lavorazione a percussione diretta con uso della martellina liscia su una roccia molto tenera (gesso) (Abdul Massih, Bessac 2009).

Lavorazione del materiale:  
la pietra



Martellina dentata

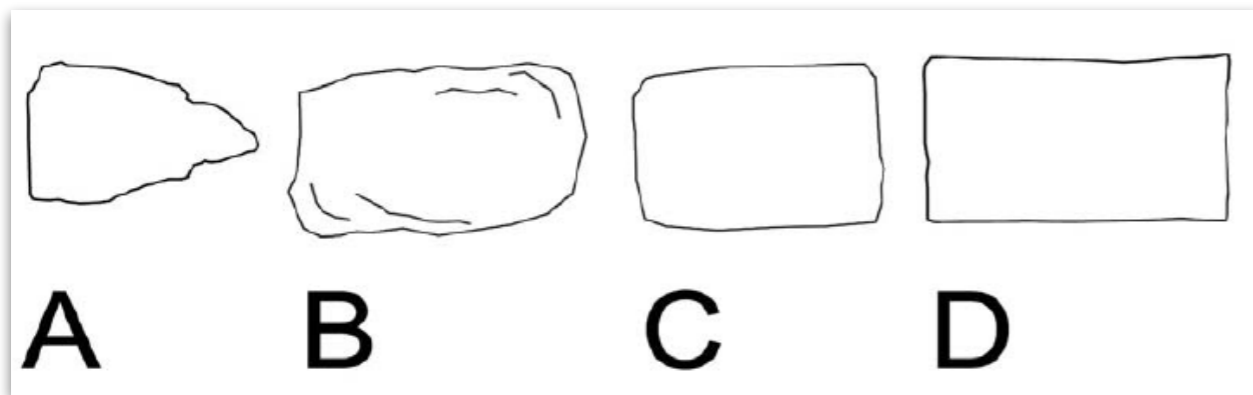


Mazzuolo



Rifinitura a gradina del blocco di pietra

Lavorazione del materiale:  
la pietra



Esempi di lavorazione delle pietra (da Nucciotti 2008)

**(A) Pietre spaccate:** il materiale da costruzione viene impiegato quasi nelle stesse condizioni in cui viene estratto, eventualmente in seguito ad una riduzione delle dimensioni ottenuta con strumenti grossolani (martello da cava o punte)

**(B) Pietre sbozzate:** le pietre spaccate vengono ridotte con strumenti grossolani a una forma vagamente parallelepipedica.

**(C) Pietre sbozzate a squadra:** gli spigoli delle pietre sbozzate vengono regolarizzate con strumenti a punta o martelli da cava per renderli più definiti. Talvolta le pietre sbozzate a squadra presentano spigoli ‘taglienti’ (es. gli elementi di calcare) sebbene non perfettamente lineari.

**(D) Pietre squadrate:** le pietre sbozzate vengono ‘conciate’ con lo scalpello o (raramente) con altri strumenti a lama piana o dentata. Gli spigoli vengono tracciati con precisione e presentano un andamento lineare e (tendenzialmente) ortogonale. Talvolta il residuo di questa lavorazione è osservabile dalla presenza di un caratteristico ‘nastrino’ perfettamente spianato sul perimetro della faccia dei conci

*Come si lavora la pietra*

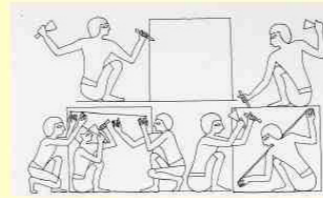
Lavorazione del materiale:  
la pietra

# LA PIETRA

## UNA QUESTIONE DI INCLINAZIONI

Lo scalpellino colpisce la pietra tenendo gli strumenti di lavoro secondo precise inclinazioni: quelle dimostrate più efficaci (sapere empirico).

Le rocce resistono meglio a compressione che a trazione (conoscenza scientifica).



XIV sec a.C. lavoro al saggio



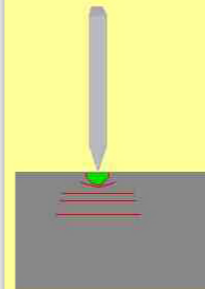
XX sec. lavoro nelle cave di marmo di Carrara



Scalpello al lavoro. Iniz. XIX secolo. Modena. Duomo

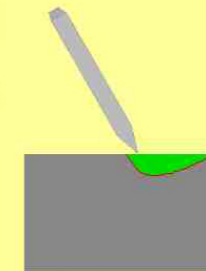
MATERIALE	RESISTENZA A COMPRESIONE	RESISTENZA A TRAZIONE
Basalto	3200 Kg/cm <sup>2</sup>	80 Kg/cm <sup>2</sup>
Porfido	1900 Kg/cm <sup>2</sup>	60 Kg/cm <sup>2</sup>
Granito	1800 Kg/cm <sup>2</sup>	40 Kg/cm <sup>2</sup>
Tuffi vulc.	80 Kg/cm <sup>2</sup>	10 Kg/cm <sup>2</sup>
Gnais	1300 Kg/cm <sup>2</sup>	120 Kg/cm <sup>2</sup>
Ardesia	1100 Kg/cm <sup>2</sup>	500 Kg/cm <sup>2</sup>
Marmo	1300 Kg/cm <sup>2</sup>	40 Kg/cm <sup>2</sup>
Calcari	1100 Kg/cm <sup>2</sup>	50 Kg/cm <sup>2</sup>
arenaria	800 Kg/cm <sup>2</sup>	30 Kg/cm <sup>2</sup>
Travertino	400 Kg/cm <sup>2</sup>	30 Kg/cm <sup>2</sup>
Laterni	175 Kg/cm <sup>2</sup>	70 Kg/cm <sup>2</sup>
Malta	50-400 Kg/cm <sup>2</sup>	10-40 Kg/cm <sup>2</sup>
Legno	500 Kg/cm <sup>2</sup>	500 Kg/cm <sup>2</sup>
Chisa	8000 Kg/cm <sup>2</sup>	1400 Kg/cm <sup>2</sup>
Acciaio	20000 Kg/cm <sup>2</sup>	8000 Kg/cm <sup>2</sup>

Valori di resistenza dei principali materiali da costruzione



effetto: **limitata triturazione e lesioni**

Un colpo impresso perpendicolarmente alla superficie della pietra trasmette una forza che risulta meno efficace perché lavora nella direzione di maggior resistenza della pietra (compressione) producendo lesioni interne.



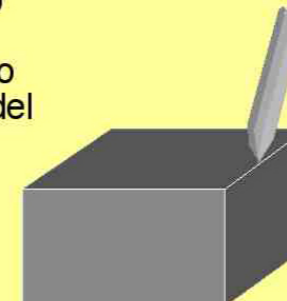
effetto: **distacco della scheggia**

Un colpo impresso con una inclinazione compresa tra 30° e 80° sulla superficie della pietra trasmette una forza che risulta più efficace perché una parte di essa agisce nella direzione di minor resistenza del materiale (trazione).

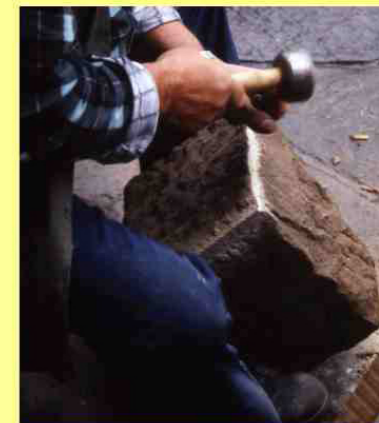


Un cantiere del XVIII secolo, dall'Encyclopédie di Diderot e d'Alembert

Lo scalpello viene utilizzato lungo lo spigolo in modo che il colpo sia diretto verso l'interno del concio.



Lo scalpello che vuole realizzare una pietra squadrata inizia l'opera da uno spigolo.



Scalpellino al lavoro

Se lo scalpello, che colpisce la pietra in prossimità del bordo, è inclinato verso l'esterno la massa di materiale che oppone resistenza al colpo è troppo esigua per contrastare la forza. In tal modo il bordo si frattura.



*Come si lavora la pietra*

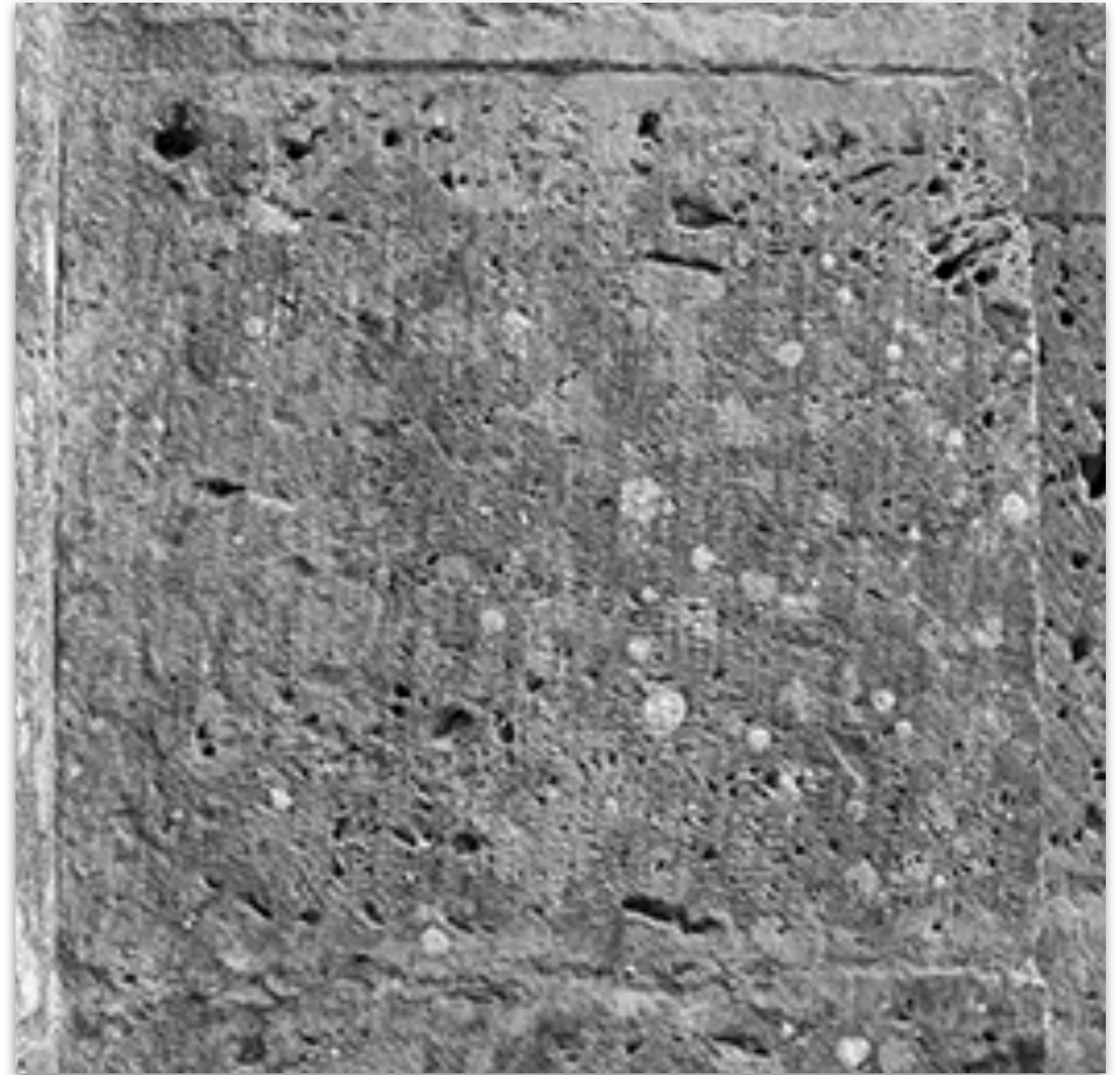


*Tracce di lavorazione: strumenti a lama liscia (martellina a lama liscia/ascettino)*



Lavorazione del materiale:  
la pietra

Tracce di lavorazione degli strumenti a **lama dentata** (gradina)



Tracce di lavorazione degli strumenti a **lama dentata** (martellina dentata)



Lavorazione del materiale:  
la pietra



Tracce di lavorazione di strumenti a lama dentata (martellina a lama dentata e gradina)



A sinistra, tracce di lavorazione a lama dentata (gradina); a destra, restauri con strumenti a lama liscia (ascettino)

Lavorazione del materiale:

la pietra



Realizzazione di  
una semicolonna  
con strumenti a  
lama dentata  
(gradina)



Tracce di lavorazione di  
strumenti a lama  
dentata (gradina) nella  
cattedrale di S. Maria  
del Fiore a Firenze

Lavorazione del materiale:  
la pietra

## La bocciarda

Tracce di lavorazione di strumenti a lama dentata  
(bocciarda)



Lavorazione del materiale:  
la pietra

## 2. I laterizi



L'approvvigionamento dei materiali:  
i laterizi

## Argilla cruda e cotta

L'**argilla** è una roccia sedimentaria incoerente. La *plasticità*, ovvero la proprietà di assumere, sotto pressione, una determinata forma e di mantenerla anche dopo che la pressione è cessata, è la caratteristica che ne consente la *foggiatura*.

Estonia, giacimento di argilla del Quaternario (400 mila anni)



E' costituita prevalentemente da minerali appartenenti al gruppo dei silicati (caolinite, montmorillonite, ecc.) ed è una roccia *refrattaria*: con la cottura ad alte temperature può quindi dare luogo a prodotti molto resistenti al calore.

L'approvvigionamento dei materiali:  
i laterizi

I minerali argillosi, come il caolino, in origine sono di colore bianco. Queste formazioni sono però piuttosto rare, dato che la maggior parte dei depositi argillosi è di origine *alluvionale*; in seguito al trasporto, le argille si arricchiscono di ossidi metallici (soprattutto di ferro) che ne causano la colorazione (giallo, rosso, bruno, nero e, più raro, verde-grigio).



L'approvvigionamento dei materiali:  
i laterizi

## L'argilla cruda

**L'ARGILLA: l'argilla cruda**

**ARGILLA GRASSA:** tende a sgretolarsi con l'essiccazione → pisé

**ARGILLA MAGRA:** mischiata con sabbia, meno plastica e con una minore riduzione di volume dovuta all'essiccazione.

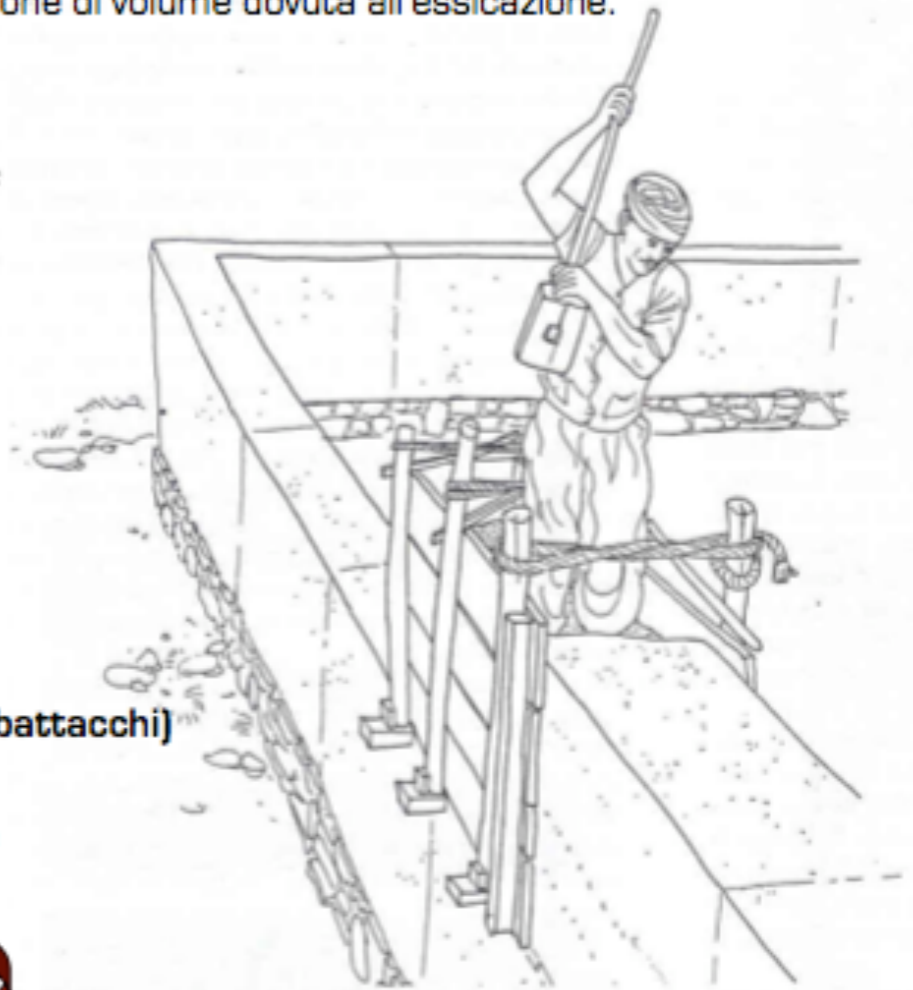


**PREPARAZIONE:** l'argilla viene depositata in una fossa piena d'acqua scavata in prossimità di una fonte, impastata con lo sgrassante (vegetale: paglia, erba secca, pula di cereali, cenere...minerale: sabbia, ghiaietto) [argilla grassa+paglia → torchis]

**GETTO IN CASSAFORMA (palanche di legno dette sbattacchi)**

**MESSA IN OPERA:** intelaiature legnee + zoccolo di pietra alla base per diminuire l'umidità. La costruzione avviene per tratti (2-3m) e d'altezza di massimo 1m. Il materiale viene pestato e costipato tramite il MAZZAPICCHIO

Argilla più compatta e libera dall'umidità

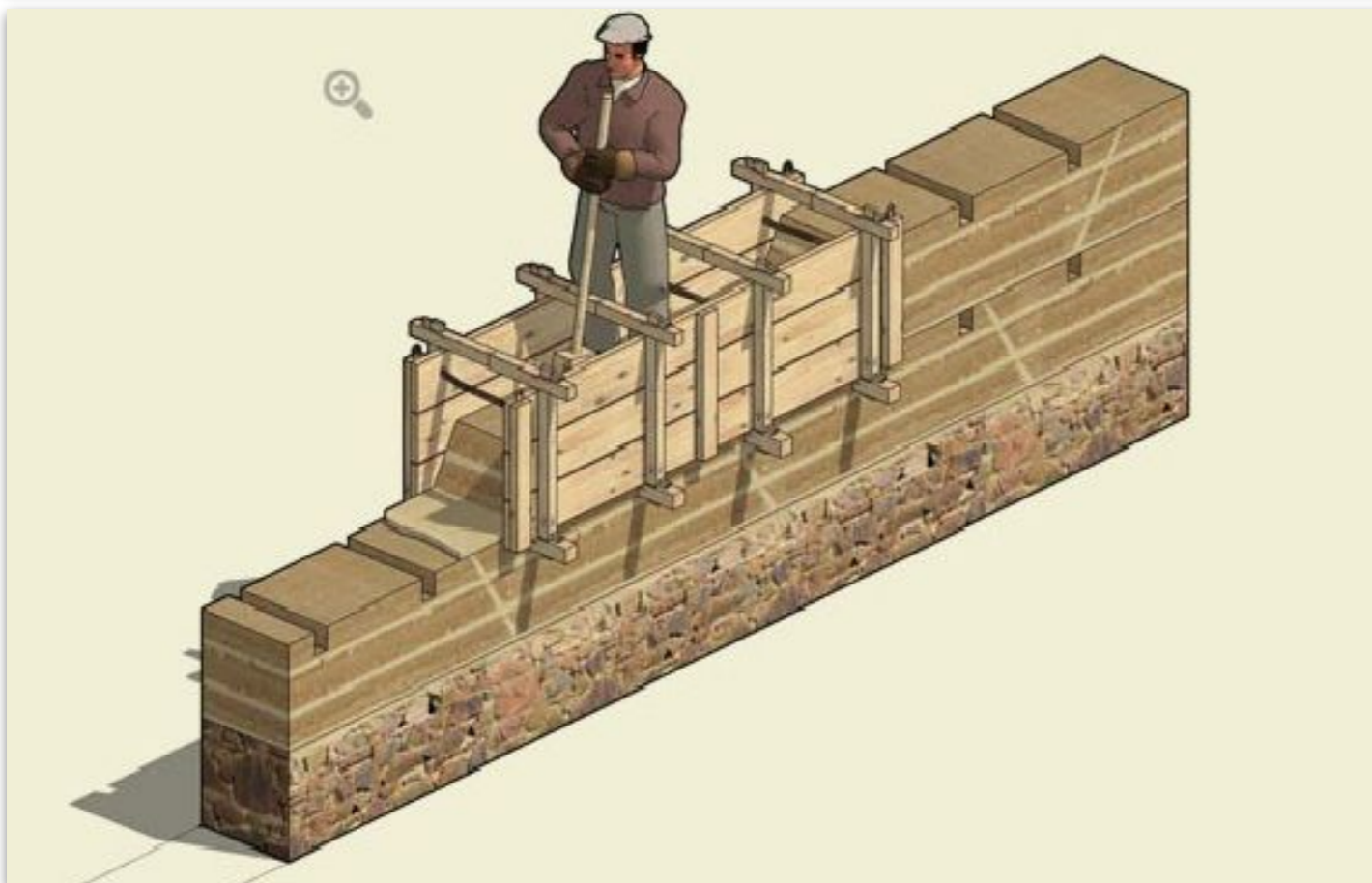
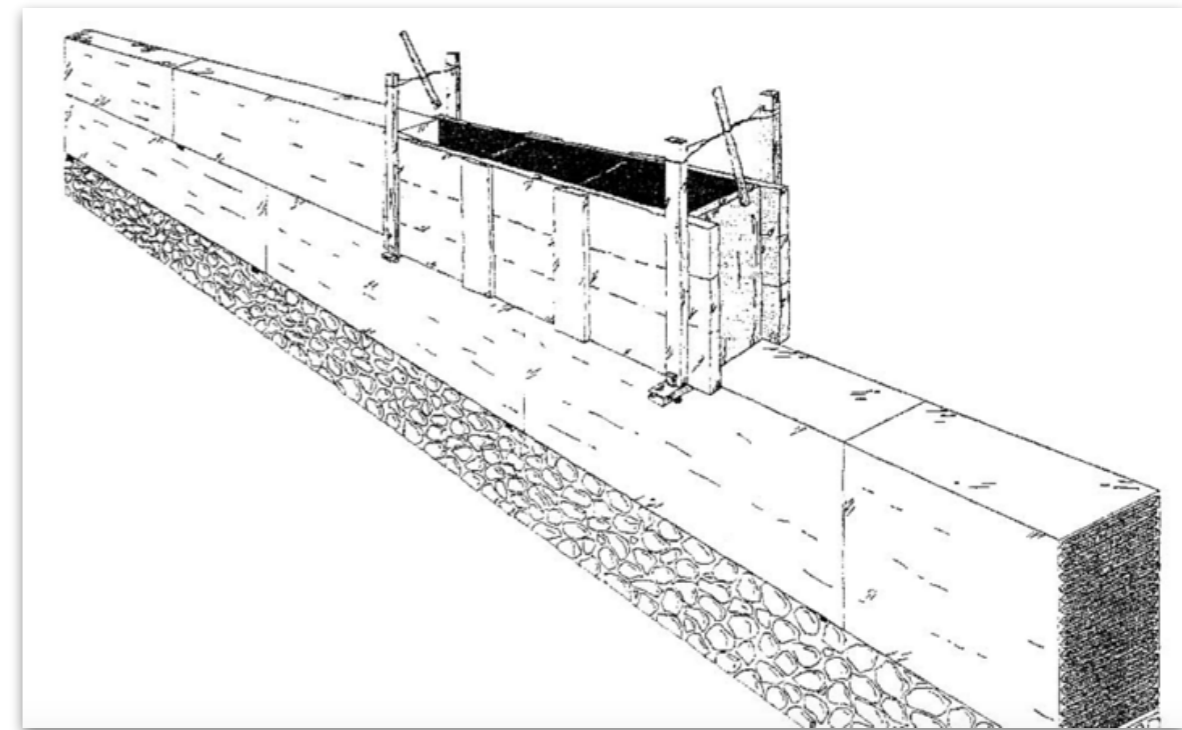


Le due tecniche principali impiegate per le costruzioni, fin dal terzo millennio a.C., sono:

- il **pisé**: preparazione e uso di grandi 'blocchi' pressati entro cassoni lignei
- l'**adobes**: in mattoni crudi

L'approvvigionamento dei materiali:  
l'argilla cruda

Il *pisè* (fr. *pisé*; es. *tapial*)

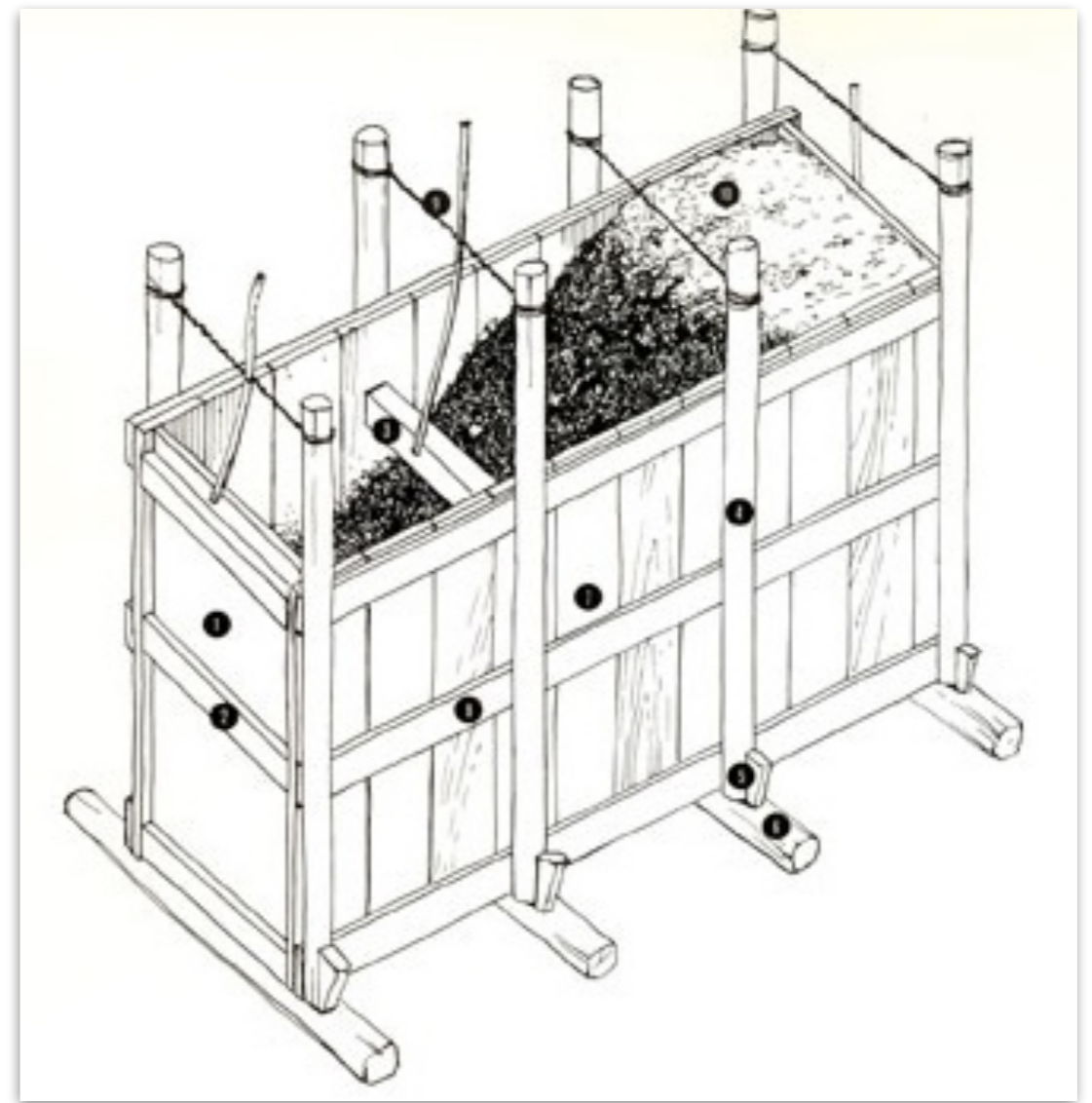


L'approvvigionamento dei materiali:  
l'argilla cruda





Il *pisé*



L'approvvigionamento dei materiali:  
l'argilla cruda



L'approvvigionamento dei materiali:  
l'argilla cruda



Casa in *pisé*, dal *Traité sur la construction des manufactures et maison de campagne* di Jean-Baptiste Rondelet (1802-17)

Esempi di architettura in *pisé* erano molto diffusi nell'architettura rurale del XVIII-XIX secolo. Nel trattato di Rondelet il tema viene trattato per la prima volta in una forma chiara ed esaustiva.

L'approvvigionamento dei materiali:  
l'argilla cruda



Qasba del XVII secolo nell'oasi di Skoura in Marocco: gli edifici sono costruiti con la tecnica del *pisé*.

L'approvvigionamento dei materiali:  
l'argilla cruda

## L' adobe

Per la preparazione di mattoni, tegole e coppi, l'impiego di cassette lignee (*modani*) senza fondo è il sistema più pratico e conveniente.

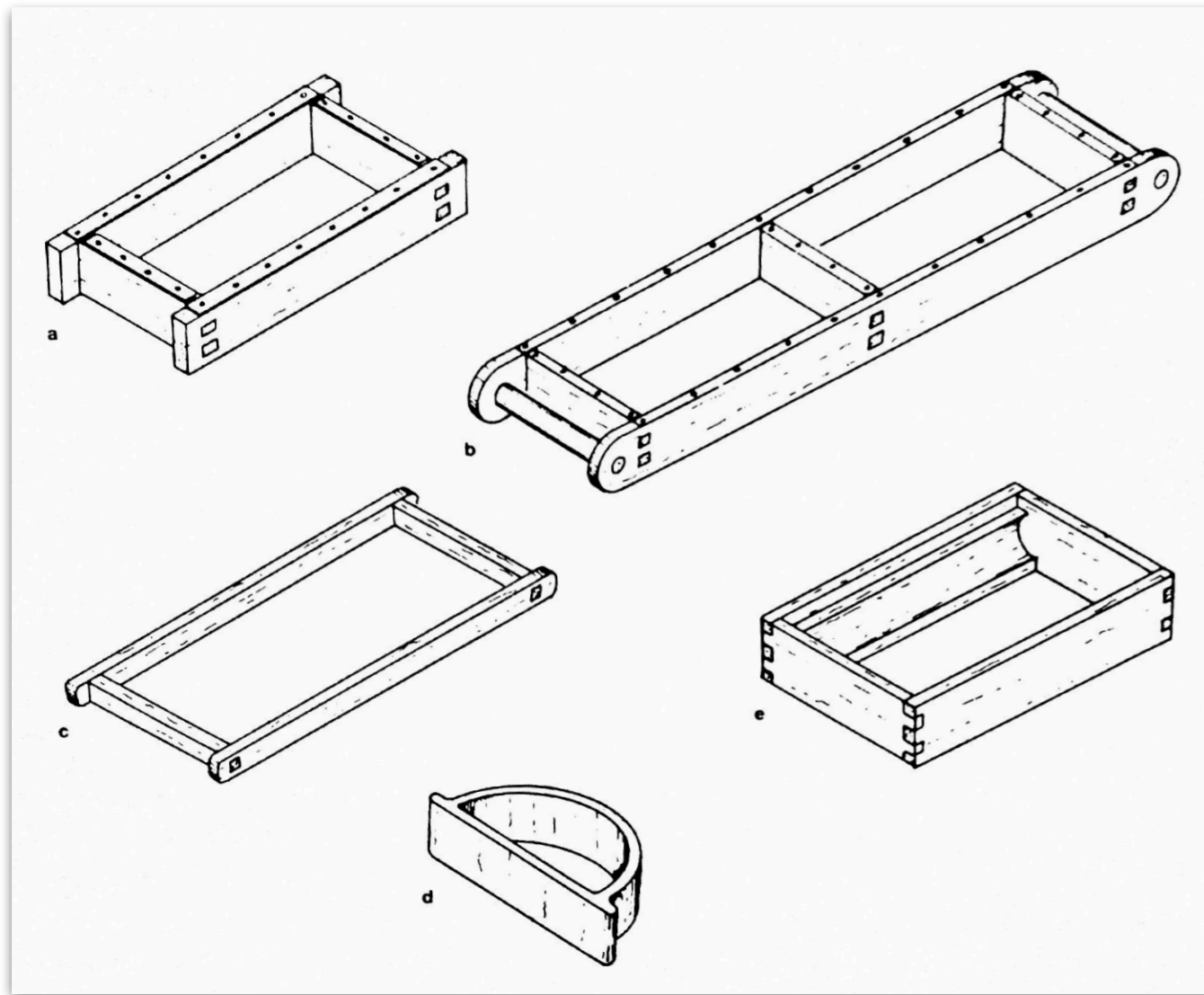


Con l'essiccazione all'aria l'argilla raggiunge una durezza detta '*cuoio*'. Ciò consente all'argilla di acquisire una resistenza sufficiente ad essere impiegata come materiale da costruzione.



L'approvvigionamento dei materiali:  
l'argilla cruda

## Tipologie di modani (Menicali 1992)



*Mattoni crudi*: preparazione di parallelepipedi di argilla sgrassata lasciati ad essiccare al sole. Il materiale si può mettere in opera senza cassaforma.

La *formatura* può essere eseguita in ogni stagione, tranne quella delle piogge, e necessita di una zona di essiccazione con copertura adeguata



modano

L'approvvigionamento dei materiali:  
l'argilla cruda

Il processo di *essiccazione*



Muratura in *adobe*



L'approvvigionamento dei materiali:  
l'argilla cruda



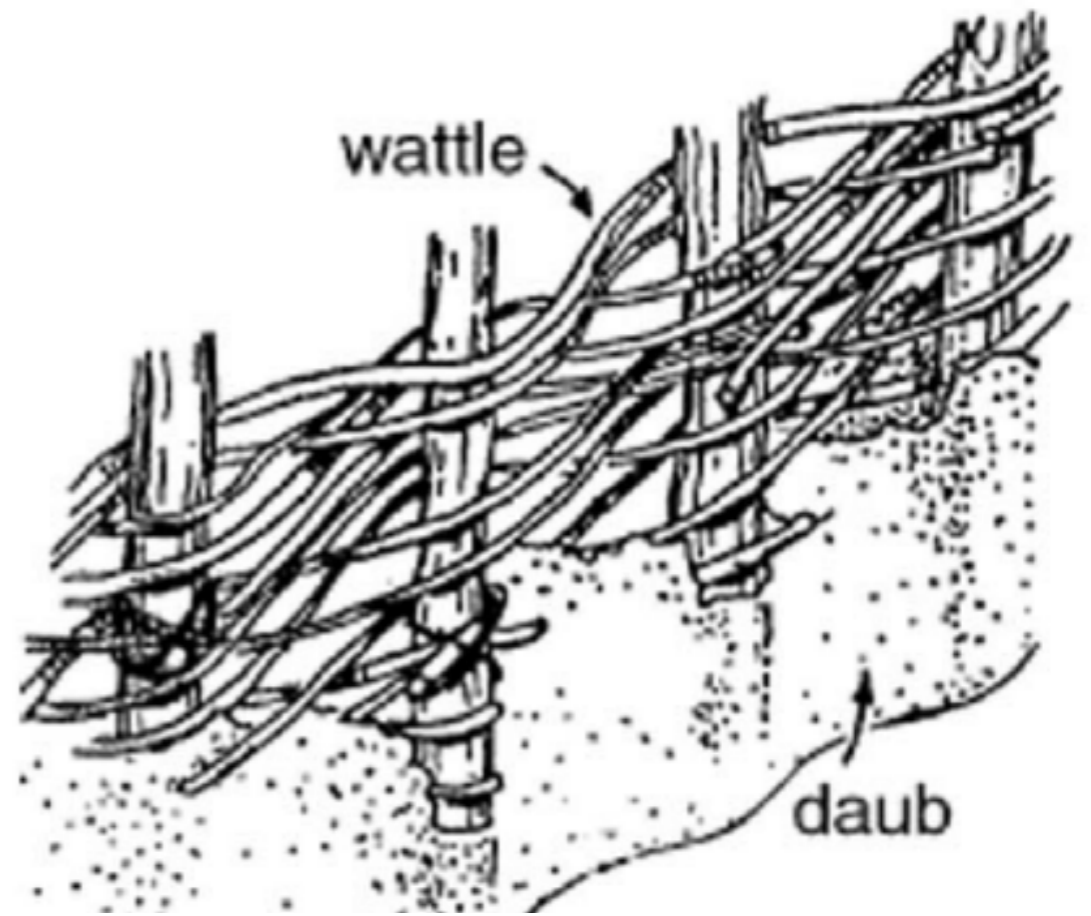
Degrado delle murature  
in mattoni crudi







Muratura in *daub* (a graticcio)



Casa a Bad Langensalza - Germania



## 2.1. L'argilla cotta: le fornaci

Per la produzione di *manufatti ceramici* la cottura costituisce l'elemento più delicato o il 'banco di prova' dell'intero ciclo. In seguito all'esposizione ad alte temperature (fino a 1100-1200 gradi) le trasformazioni dell'argilla sono irreversibili: si libera l'acqua chimicamente combinata e da materia plastica essa diviene un materiale solido e compatto.



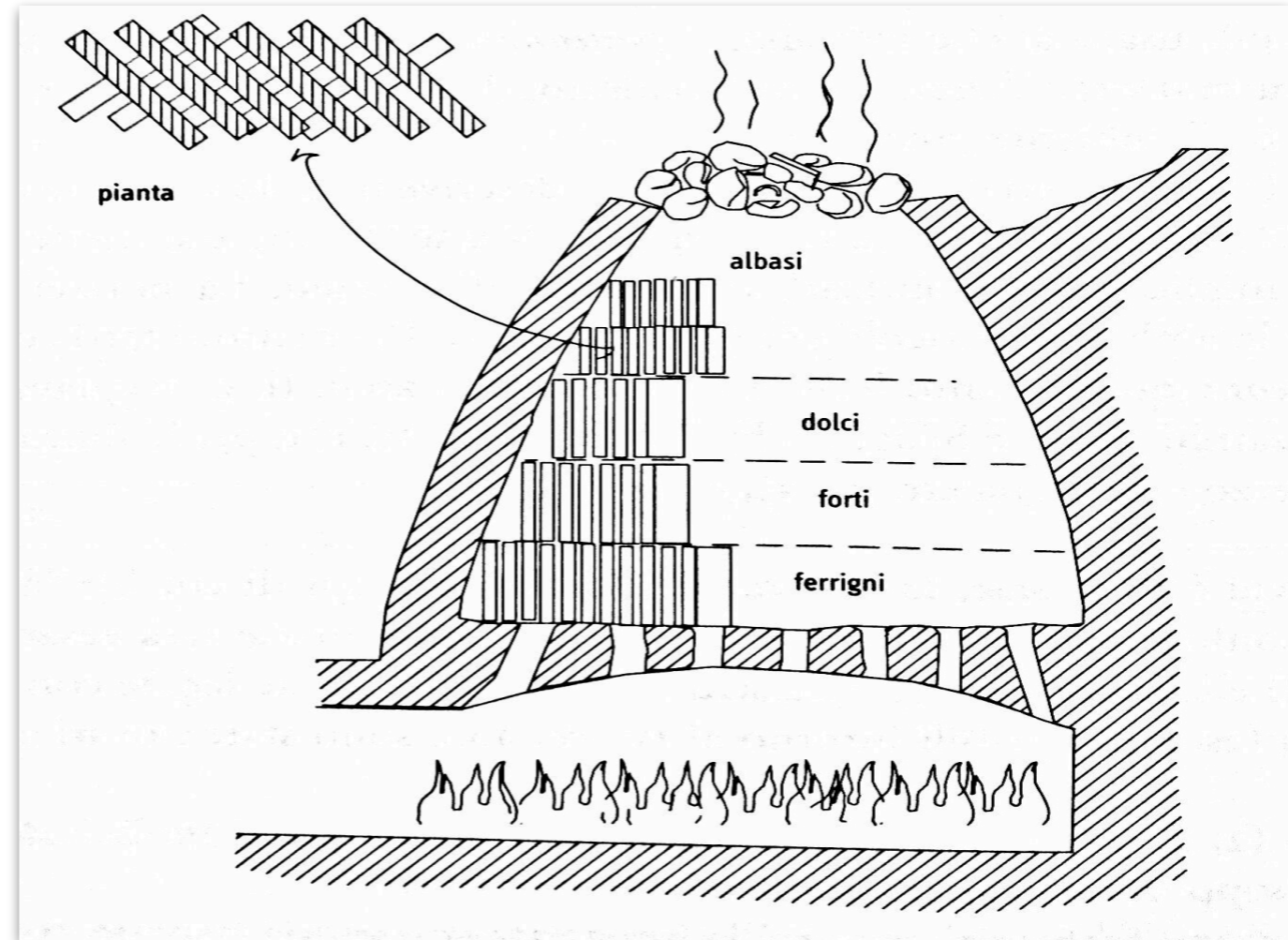
L'approvvigionamento dei materiali:  
le fornaci

Dall'antichità fino all'epoca industriale le **fornaci** erano di tipo *intermittente* (ovvero con interruzione del funzionamento per le operazioni di carico e scarico) e a fiamma diretta, cioè con contatto tra gas, fumo, fiamme e materiali da cuocere.

Le più attestate sono quelle con *tiraggio di tipo 'verticale'*, ovvero con camera di combustione sottostante alla camera di cottura, separate da un piano forato, sorretto da appositi sostegni, sul quale erano disposti i materiali essiccati da cuocere.

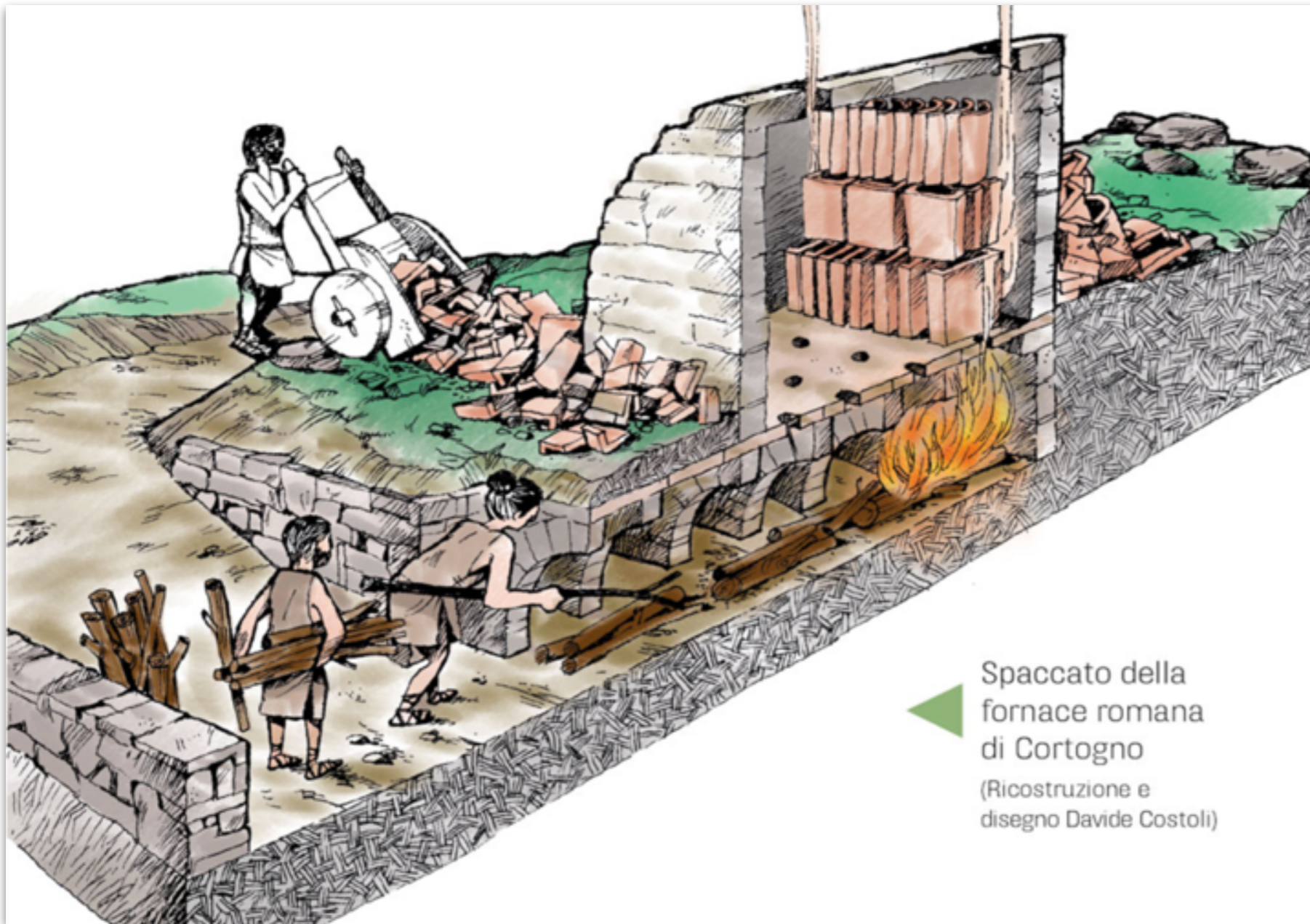
Nelle **fornaci per laterizi** il piano forato poteva anche mancare e i mattoni potevano venire impilati in modo da formare interstizi che consentissero il passaggio dell'aria calda. Frequente era la presenza di un corridoio di accesso, chiamato *prefurnio*, usato per introdurre il combustibile e per aumentare il tiraggio.

Il *controllo del fuoco* era l'operazione più importante e impegnativa e l'aumento improvviso della temperatura causava la combustione dell'impianto e quindi la perdita dell'ultimo carico.



Fornace di età romana (Giuliani 2010)

L'approvvigionamento dei materiali:  
le fornaci



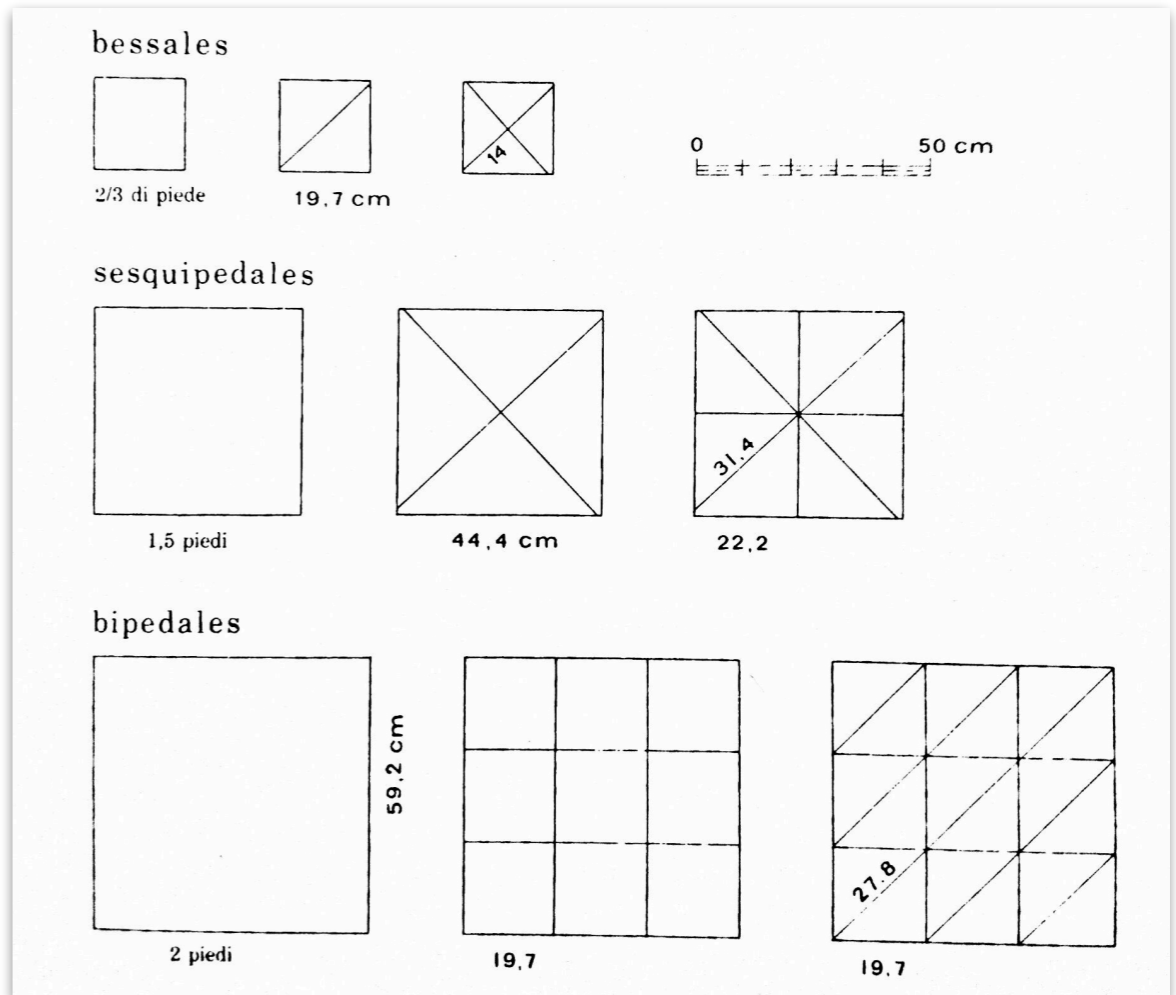
Spaccato della fornace romana di Cortogno  
(Ricostruzione e disegno Davide Costoli)

Una imponente produzione e diffusione di laterizi si impose nel Mediterraneo occidentale dopo Augusto e giunse, nonostante una breve flessione nel III secolo, fino all'età tardo antica.

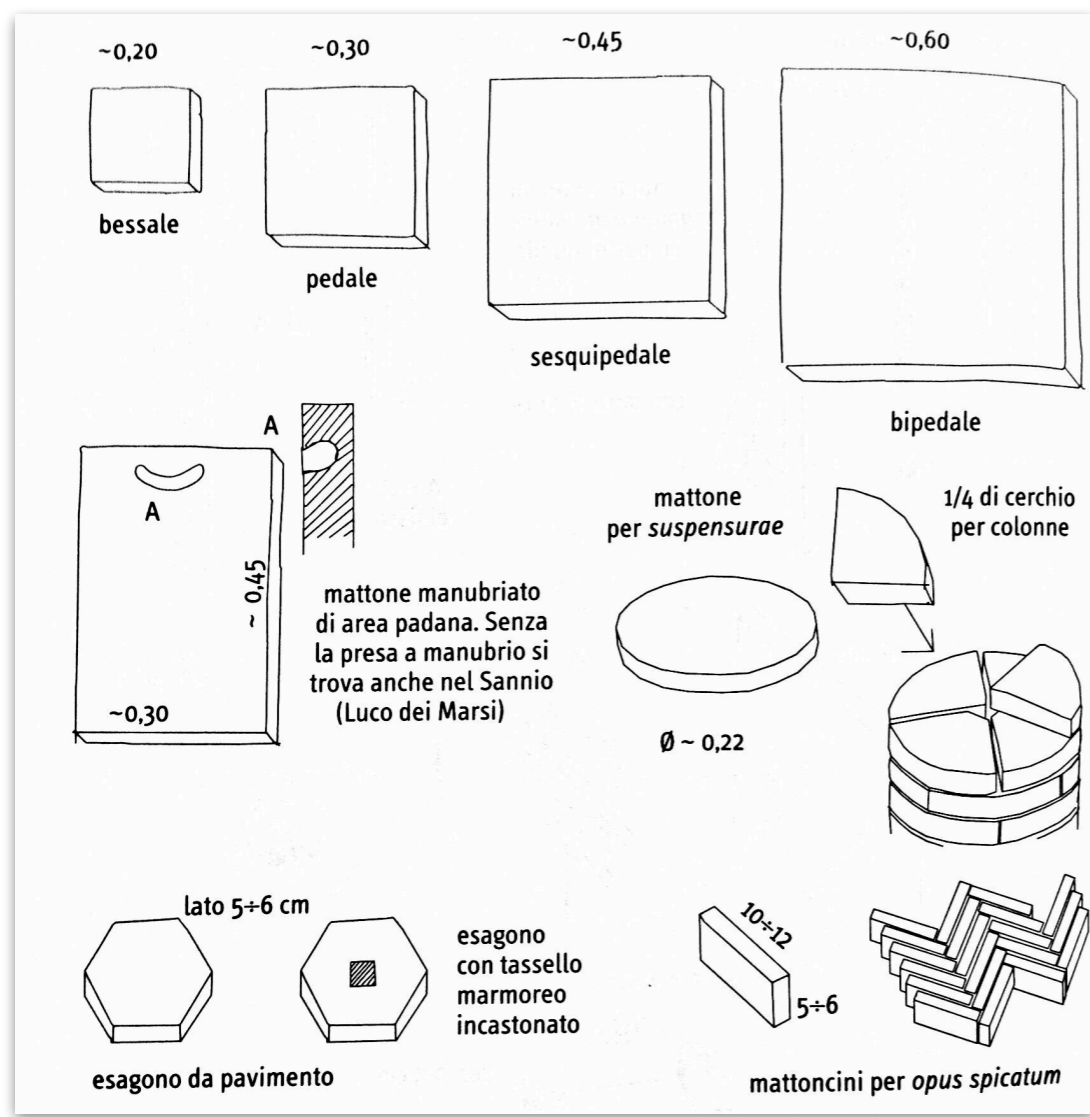


Caratteristiche principali di mattoni e tegole erano le grandi dimensioni, basate su multipli del piede e il sistema di bollatura del *magister tegularius*, che rispondeva a diverse esigenze e ricopriva molteplici significati.

L'approvvigionamento dei materiali:  
le fornaci



Le diverse pezzature dei mattoni romani (Cagnana 2000 e Adam 1989)



Diverse tipologie di laterizi (Giuliani 2010)

L'approvvigionamento dei materiali:  
le fornaci



Disegno ricostruttivo del ciclo produttivo dei laterizi

L'approvvigionamento dei materiali:  
le fornaci



Le fornaci romane di Lonato del Garda

L'approvvigionamento dei materiali:  
le fornaci





*Tegularius* di Ravenna.

Tegola altomedievale iscritta, che menziona un *magister tegularius*. Il segno di croce che precede il testo suggerisce trattarsi di una iscrizione funeraria (fine X-in. XI sec.). Il termine *magister* indicherebbe un artigiano libero, il cui lavoro doveva essere associato, nelle officine, a quello di servi (Fiorilla 1986).

San Simpliciano. Tegola con bollo di Agilulfo e Adaloaldo (604-616 d.C.)

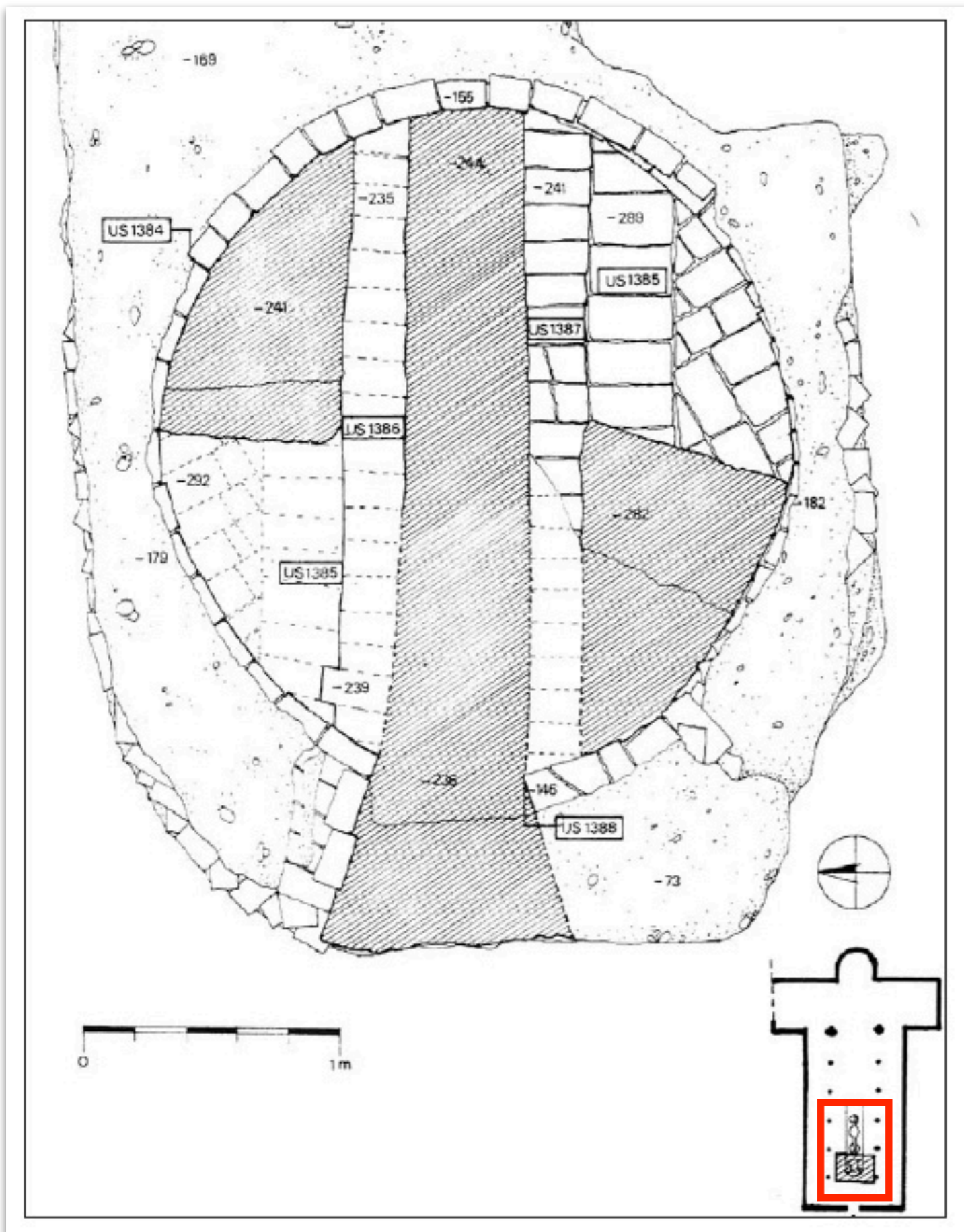


Dopo il crollo dell'impero romano, la produzione laterizia diventa via via sempre più rara fino quasi a scomparire. Bisognerà aspettare il X e soprattutto l'XI-XII secolo per il riapparire di una produzione non sporadica di tegole e mattoni.

Le prime fornaci attestate dai documenti producono tegole.

**Perché ?**

L'approvvigionamento dei materiali:  
le fornaci

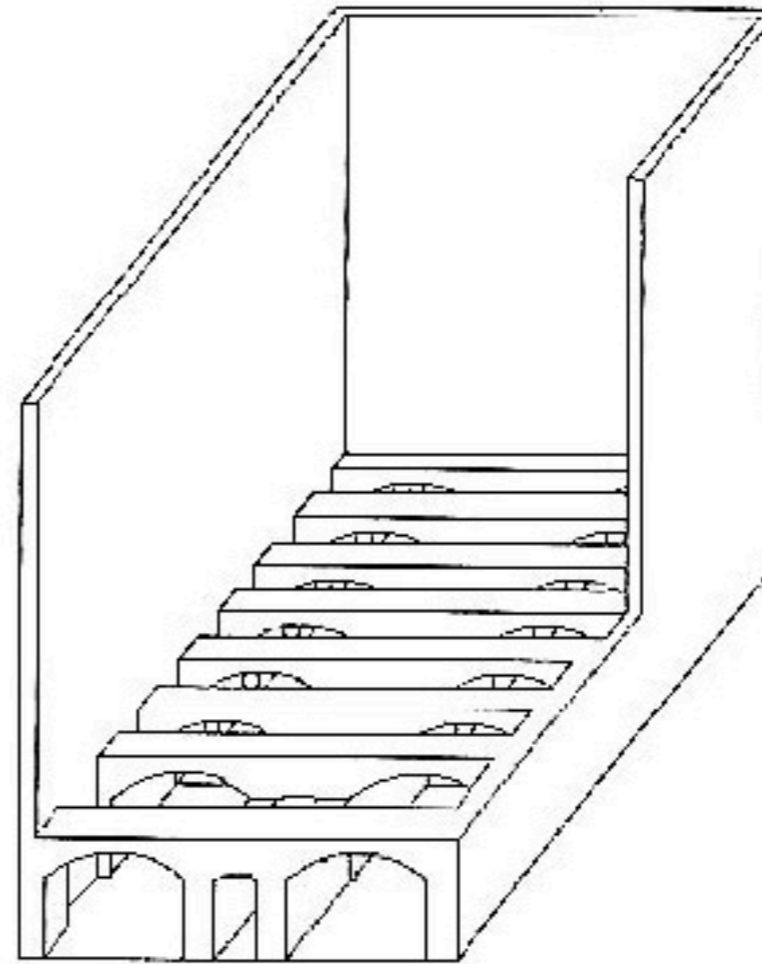


Messa in luce da scavi archeologici, la fornace era stata allestita nella navata centrale della chiesa, in occasione del cantiere di XII secolo. La *camera di combustione*, costituita da una struttura circolare del diametro di 2,5 metri, era conservata integralmente ed era separata dalla *camera di cottura* tramite una suola forata. Un'unica bocca serviva le due parti.

Lo studio mensiocronologico dei mattoni ha dimostrato che la fornace è stata edificata per produrre i mattoni del transetto della chiesa. E' dunque un tipo di impianto da collegare all'opera di *magistri itineranti*.

L'approvvigionamento dei materiali:  
le fornaci

Fornace per laterizi (XII sec.), chiesa di S. Reparata a Lucca



Fornace per laterizi,  
Montopoli Valdarno  
(PI)

Resti di fornace di tipo verticale, a pianta rettangolare. La camera di combustione era suddivisa in tre settori da due muri in laterizi che sorreggevano due serie di archetti. Sul lato anteriore si trovavano tre bocche (quella al centro di dimensioni minori) corrispondenti ad altrettanti corridoi. Non era necessaria una suola forata, dato che il carico di laterizi veniva impilato sui muretti, molto ravvicinati. Dopo l'ultimo utilizzo, (fine XIV-inizio XV sec.), un imprevisto aumento della temperatura provocò la parziale fusione del carico e il successivo crollo della camera di cottura (Baldassarri, Meo, Sacco, 2006).

Si trattava di un impianto stabile, sorto in area extraurbana, ma vicino a importanti città che, in piena crescita a partire dal XIII secolo, alimentarono un fiorente mercato dell'edilizia.

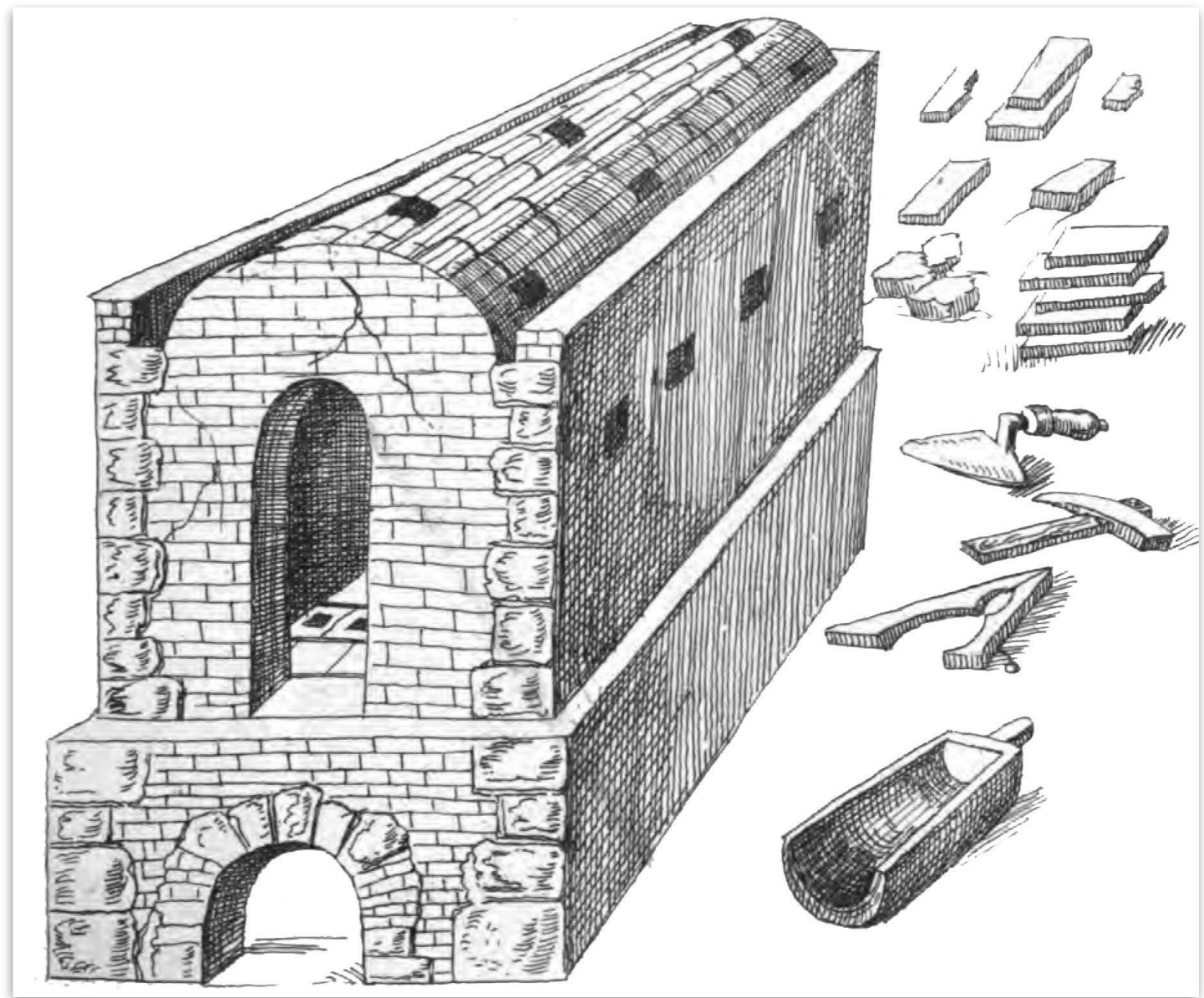
L'approvvigionamento dei materiali:  
le fornaci



Fornace per laterizi (XV secolo), Ponte a Bozzone (SI)

L'approvvigionamento dei materiali:  
le fornaci

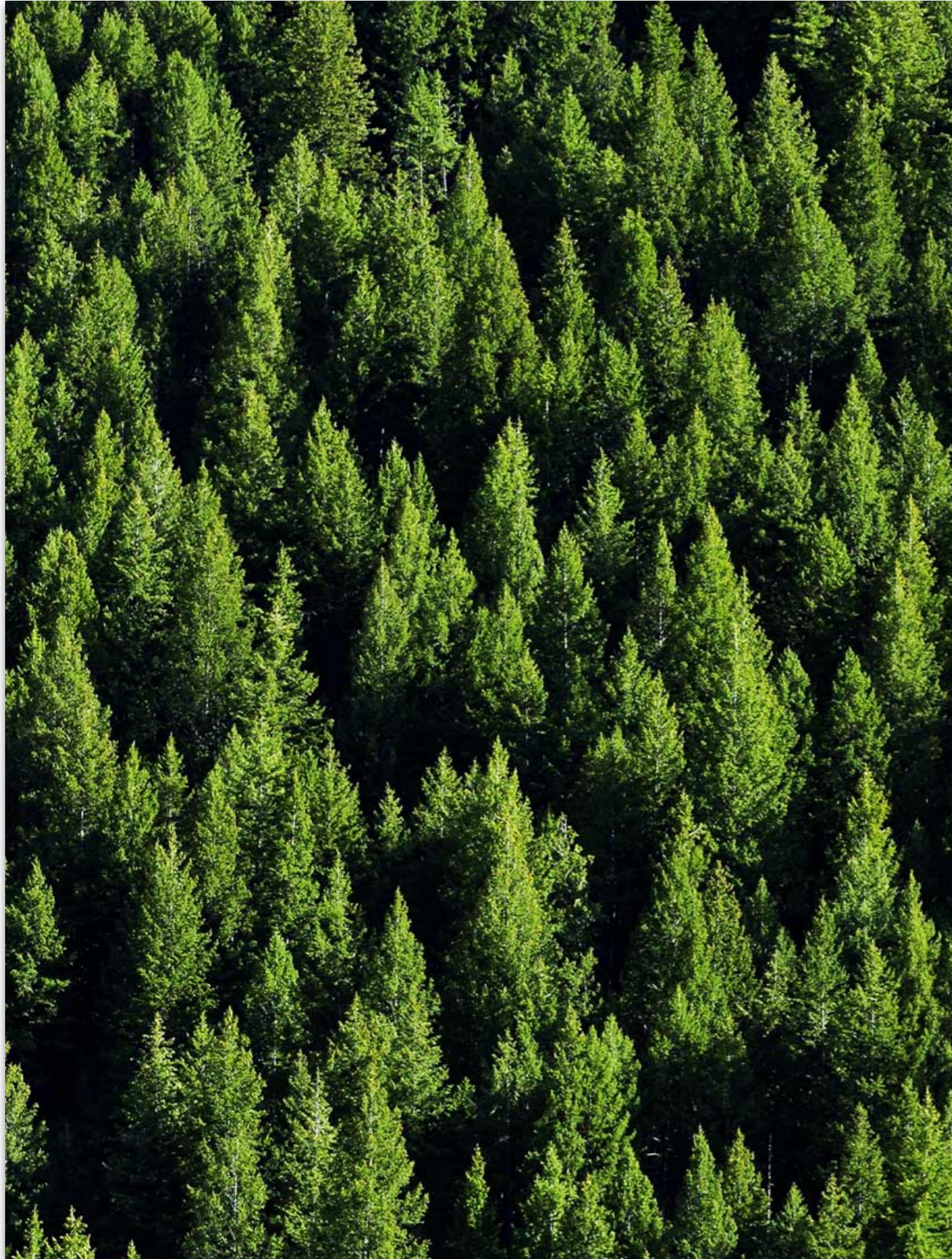
Fornace per laterizi, Bibbia di Utrecht, Ms.  
Add. 38122, XV sec.



Fornace di tipo verticale, a pianta rettangolare, di età moderna  
(XVI-XVII sec.)

L'approvvigionamento dei materiali:  
le fornaci

### 3. *Il legno*



Le piante che forniscono la maggior parte del legname sono le *conifere* (o resinose) come pino, abete, larice, cipresso ecc, e le *latifoglie*, come castagno, faggio, frassino, quercia, pioppo, ontano ecc.

Il periodo più adatto per il taglio degli alberi è tra dicembre e marzo

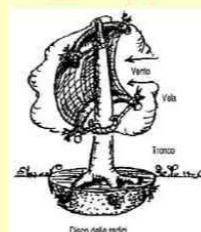
L'approvvigionamento dei materiali:  
il legno

### 3. Il legno

# IL LEGNO

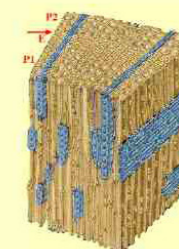
## LA RESISTENZA DIPENDE DALLE FIBRE

Oggi sappiamo che:



Claudio Marchetti, Stabilità degli alberi Dagli atti del convegno "L'Albero in chiave storica" a Milano nel 1997

Il tronco dell'albero deve resistere all'azione del vento sulle foglie tenendo ben salde le radici nella terra.



I fasci di fibre nel tronco sono disposti in modo da ottimizzare la resistenza alla flessione.

Schema di posizione di un nodo. In azzurro il sistema radiale; in marrone il sistema tangenziale. P1 indica il legno vecchio, P2 quello più recente della stessa anno e P3 quello proveniente dall'anno successivo. La freccia indica il confine tra P1 e P2.  
Gianni Bodini, Profondamente legno. In Mykita. n. 1, bozza on line. Dicembre 2001/Gennaio 2002

La resistenza del legno cambia molto nelle direzioni contro fibra o secondo fibra.

(a)		(b)	
DESCRIZIONE DEL LEGNAME	CARICO DI SUPPORTO IN KG PER CM²	DESCRIZIONE DEL LEGNAME	CARICO DI SUPPORTO IN KG PER CM²
Abete bianco	300	Abete rosso	300
Abete rosso	300	Abete rosso	300
Betulla	210 a 230	Faggio 1	350
Faggio bianco	310 a 330	Faggio 2	350
Faggio olivastro	210 a 230	Fraxino	350
Fraxino	300 a 330	Fraxino 2	350
Olivo	300	Larice	300
Olivo	300 a 330	Quercia	300
Ontano	210 a 230	Quercia	300
Pino d'Austria (pino pice)	110 a 130	Quercia 2	300
Pino domestico	110 a 130		
Platanocornicola	210 a 230		
Quercia	200 a 230		

da D. Donghi, Manuale dell'architetto, Torino 1925

Per ottenere legname resistente agli sforzi meccanici bisogna lavorarlo senza danneggiare le fibre.

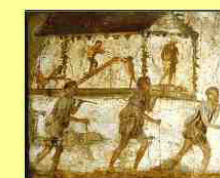
Questo spiega perchè:

la maggior parte degli strumenti per lavorare il legno agisce lungo le fibre, dove si fatica meno e dove si ottiene un prodotto più resistente:

- asce
- seghe da tavola
- pialle
- strumenti da spacco

quando è necessario lavorare contro fibra gli strumenti cambiano:

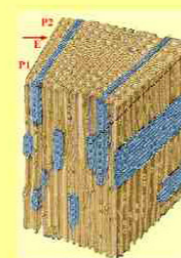
- scuri
- segoni da tronco
- trapani
- scalpelli e sgorbie



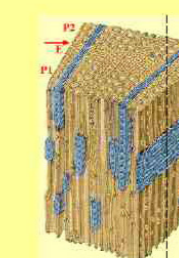
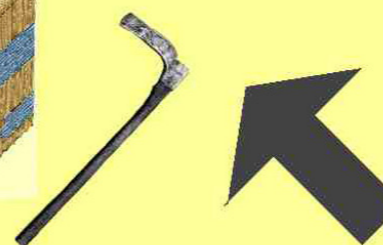
Poces bene di fuligine L'alfresco, par. I sec. d.C., Pompei, oggi Museo Archeologico di Napoli



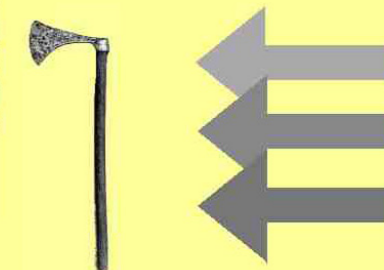
Monaco che taglia un albero, Bibl. Mus. Digione, Ms. 173, XII secolo



direzione del colpo

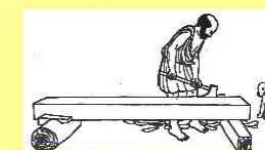


direzione del colpo



Sec. XV, Parigi

La scure per abbattere gli alberi ha la lama con corto filo tagliente: serve una forza concentrata per superare una forte resistenza.



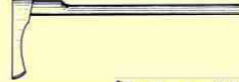

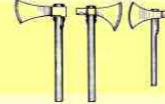
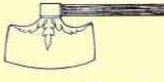



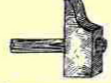




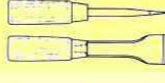

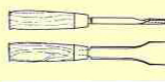


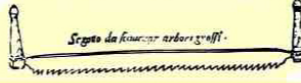

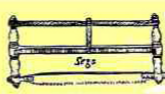

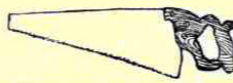




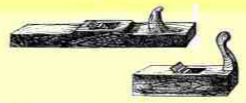







da J. P. Adams, La construction romaine: mae-bux et techniques, Paris 1994

L'ascia ha la lama con lungo filo tagliente, la stessa forza può venire distribuita per superare una minore resistenza.

Le fine del legno

### 3. Il legno

## IL LEGNO PRINCIPALI STRUMENTI DI LAVORAZIONE

TAGLIARE		Scure da boscaiolo		Abbatere alberi, tagliare contro-fibra
		Accetta		Tagliare rami o parti lignee di dimensione limitata
		Ascia		Squadrare tronchi, tagliare secondo le fibre
		Ascia torta o zappa		Squadrare o rifinire piani, lavorare parti concave
BATTERE		Martello a penna semplice		Conficcare chiodi, percuotere scalpelli
		Martello a penna paccata		Conficcare ed estrarre chiodi
		Mazzuola di legno		Percuotere scalpelli e sgorbie, battere per connettere pezzi
INCIDERE		Scalpello		Asportare legno da zone non accessibili con seghe e asce
		Sgorbia		Intagliare
SEGARE		Sega da segantino		Ricavare tavole, travetti o simili a partire da un tronco
		Segone		Tagliare tronchi o travi
		Sega a telaio		Ricavare elementi di dimensioni minori
		Saracco (sega ad un manico)		Ricavare elementi di dimensioni minori nel senso della fibra
		Seghetto		Eseguire intagli
RIFINIRE		Raspa		Finire parti modanate, smussare o arrotondare spigoli
		Raschiatoio		Levigare
		Pialla		Spianare
FORARE		Trapano		Realizzare fori
		Succhiello		Realizzare fori
		Trivello		Realizzare fori

Strumenti per la lavorazione del legno nelle diverse fasi di lavoro



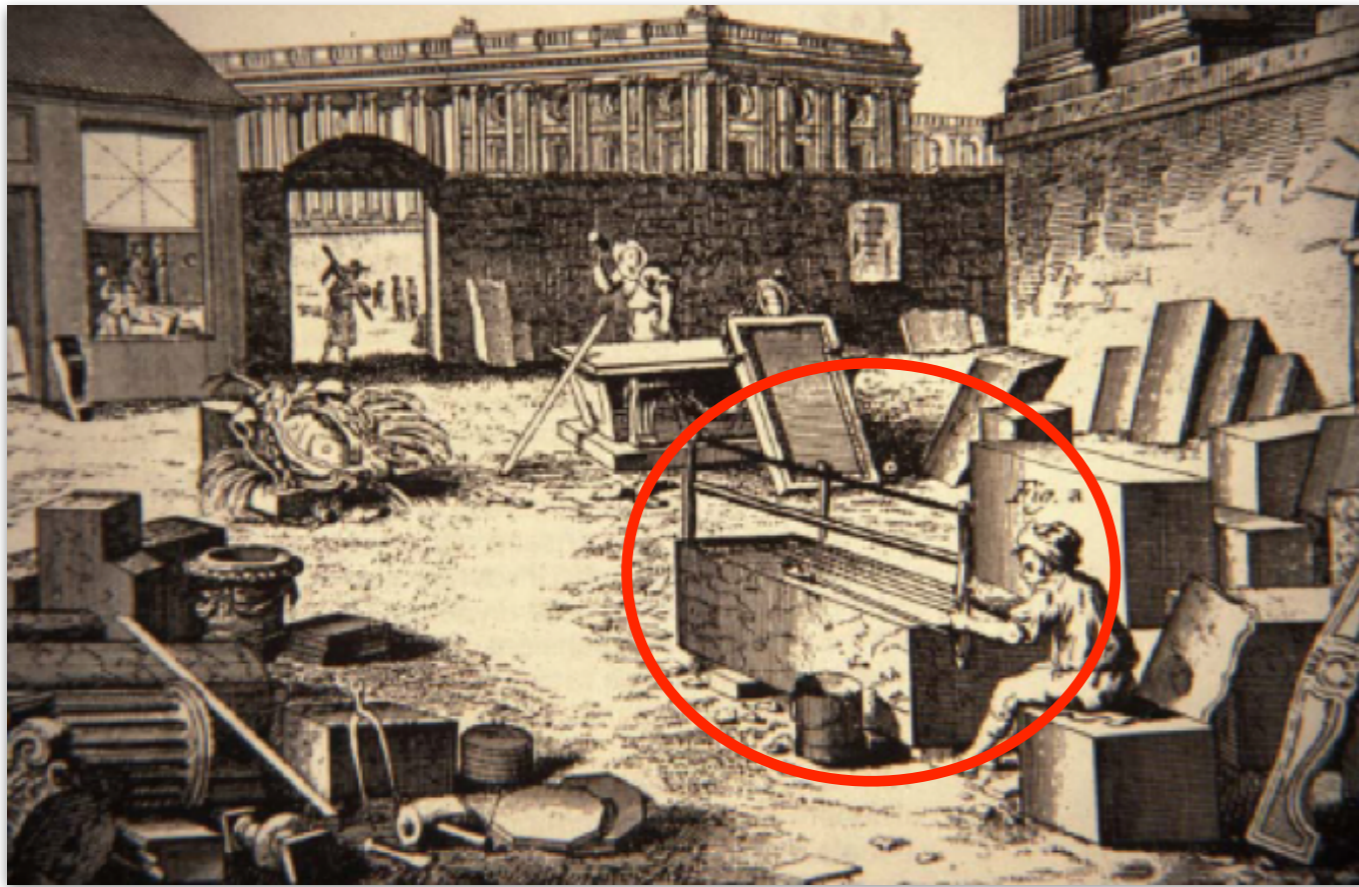


Colonna Traiana: soldati che abbattono gli alberi tramite scuri (taglio a V alla base dell'albero, sul lato previsto della caduta) e picconi.

A questa operazione poteva fare seguito la segagione, operata sul alto opposto, con il 'segone' o sega a due manici.

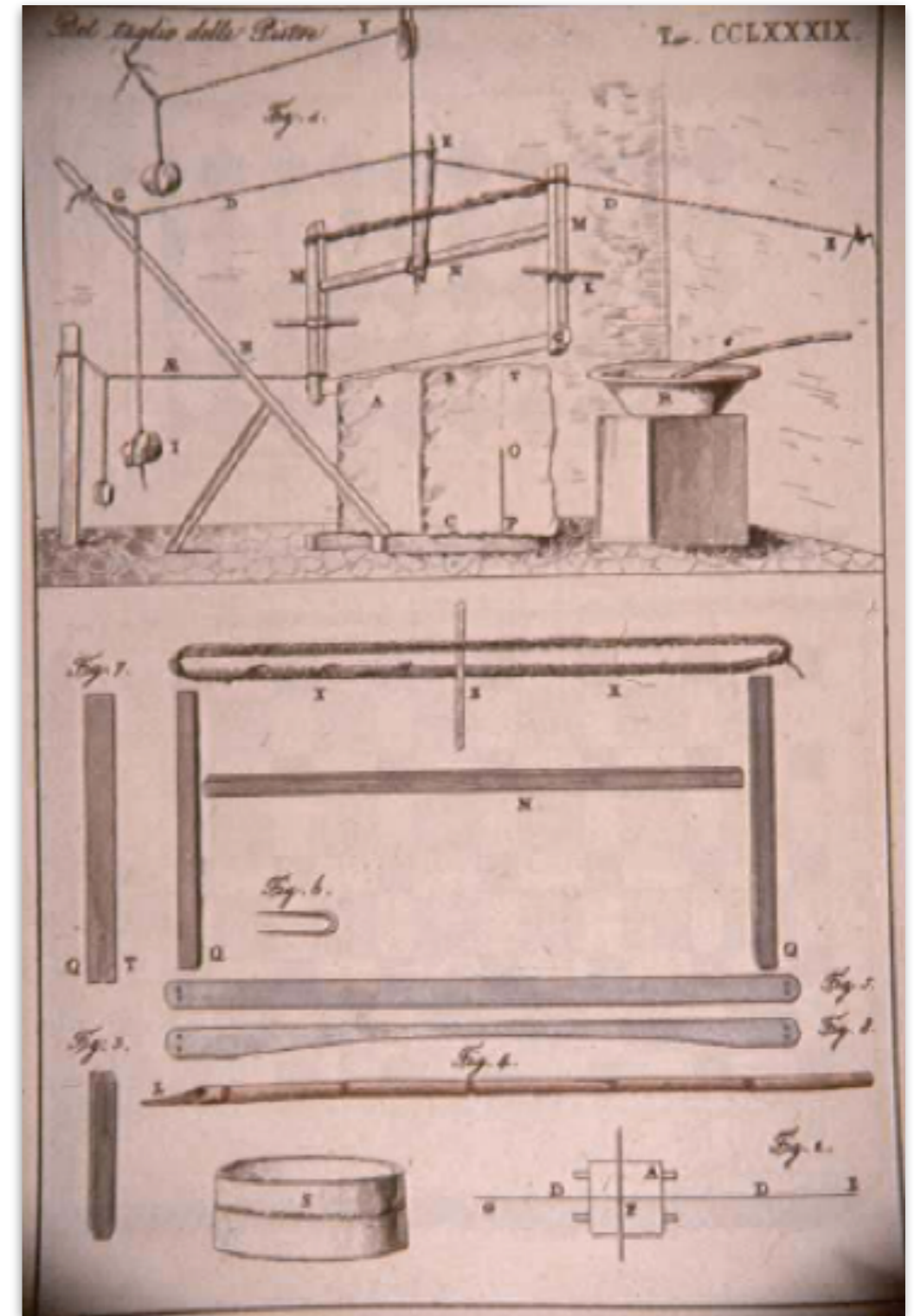


L'approvvigionamento dei materiali:  
il legno

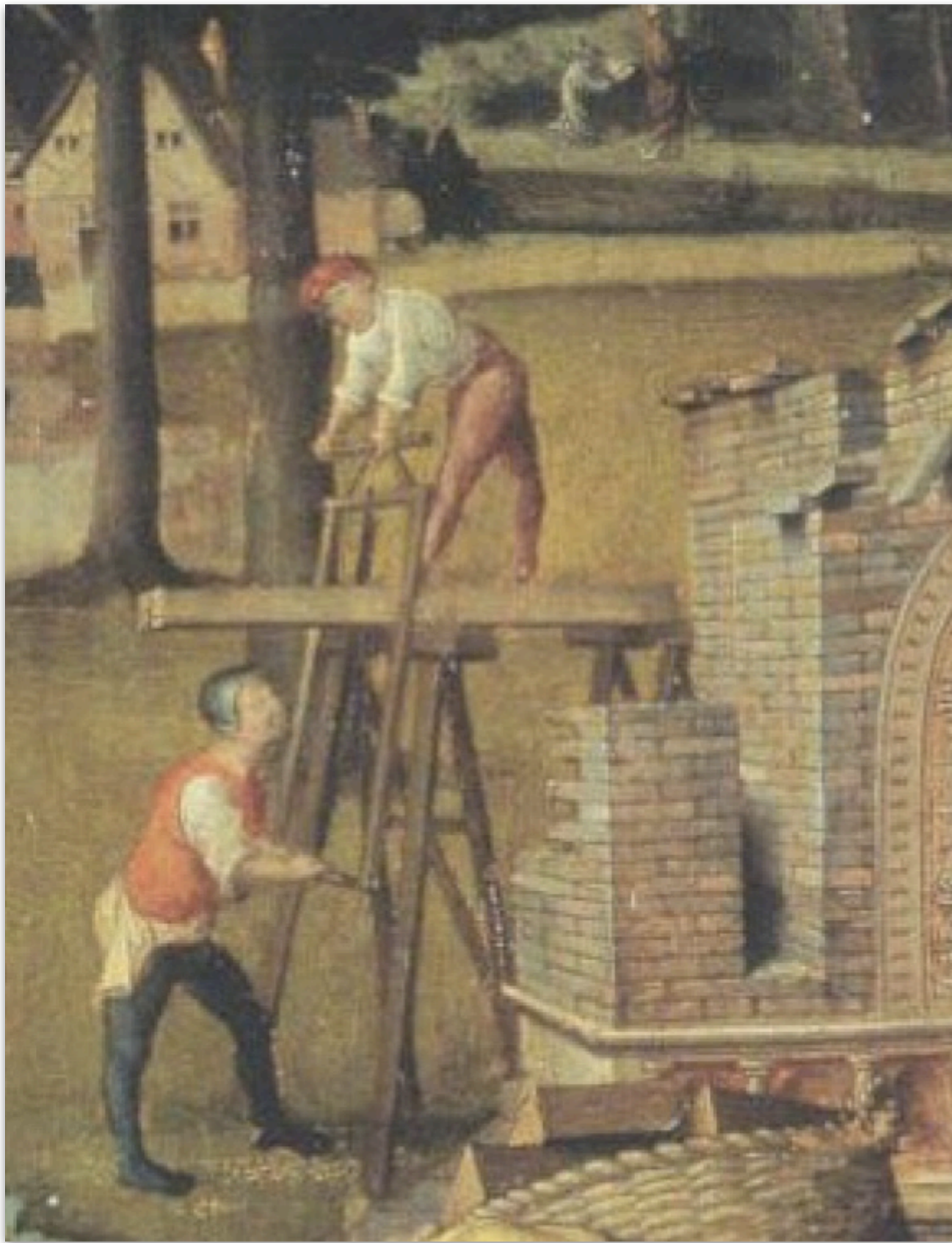


Strumenti per segare i tronchi

Dopo il taglio, i tronchi devono essere lasciati a *stagionare* per periodi più meno lunghi: dopo la stagionatura il legno è più leggero perché ha perso buona parte delle sostanze liquide interne ma la sua *resistenza* non cambia essendo legata alla struttura delle fibre interne, che sono rimaste intatte.



L'approvvigionamento dei materiali:  
il legno



Due segantini tagliano un grande palo per produrre travi (Digione, Museo delle Arti, Porta del tesoro dell'Abbazia di S. Bertino, XVI secolo), da Brogiolo, Cagnana 2012



Squadratura di un trave posto in orizzontale, su cavalletti (Miniatura della vita di San Denis, 1317), da Brogiolo, Cagnana 2012

L'approvvigionamento dei materiali:  
il legno

La lavorazione del legno varia a seconda del prodotto che si deve ottenere.

Se non sono necessari requisiti estetici, come nelle *fondazioni (A)*, il tronco può essere usato così com'è, senza praticare alcun taglio.

Se invece è necessaria la *squadatura (B)*, essa va effettuata seguendo la direzione delle fibre.



**A** Travi dormienti in fondazione



**B**

Narbonne, castello vescovile (1450 ca.)

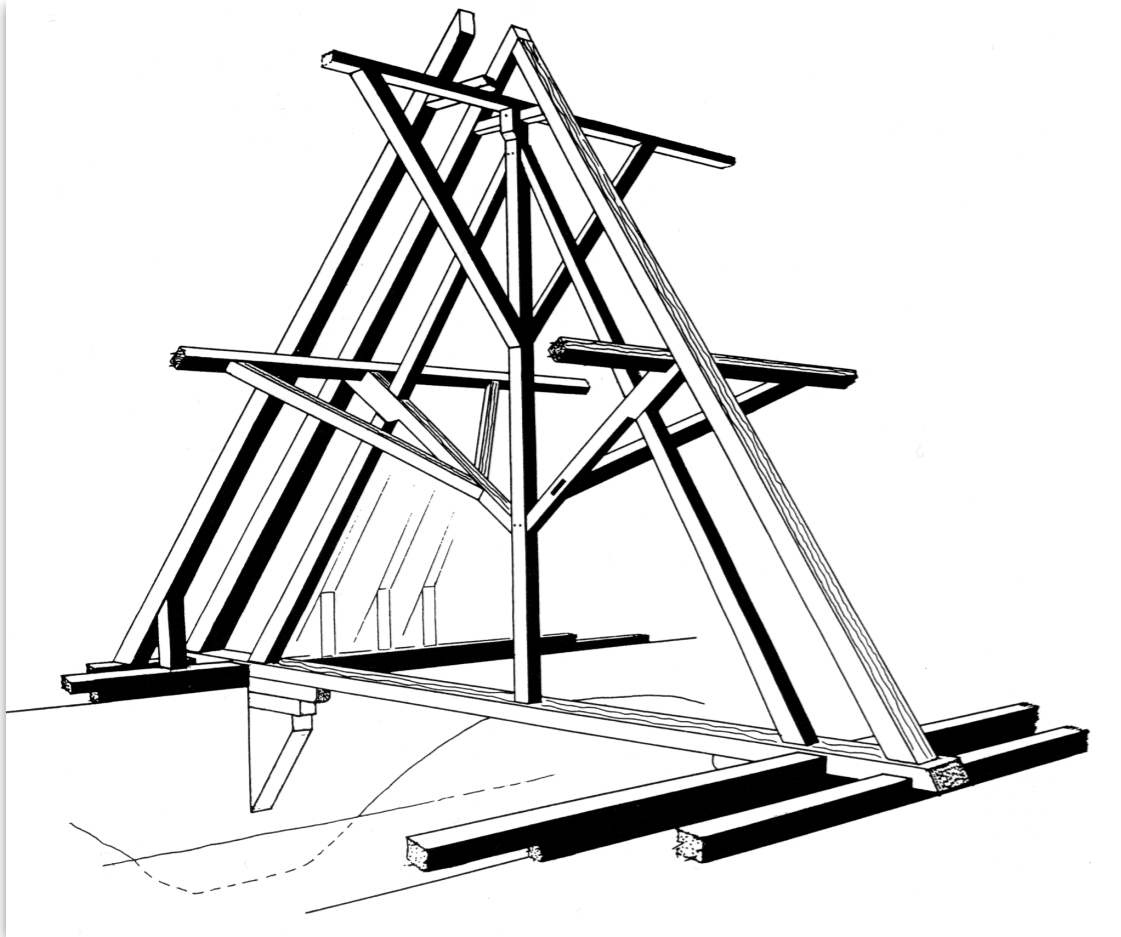
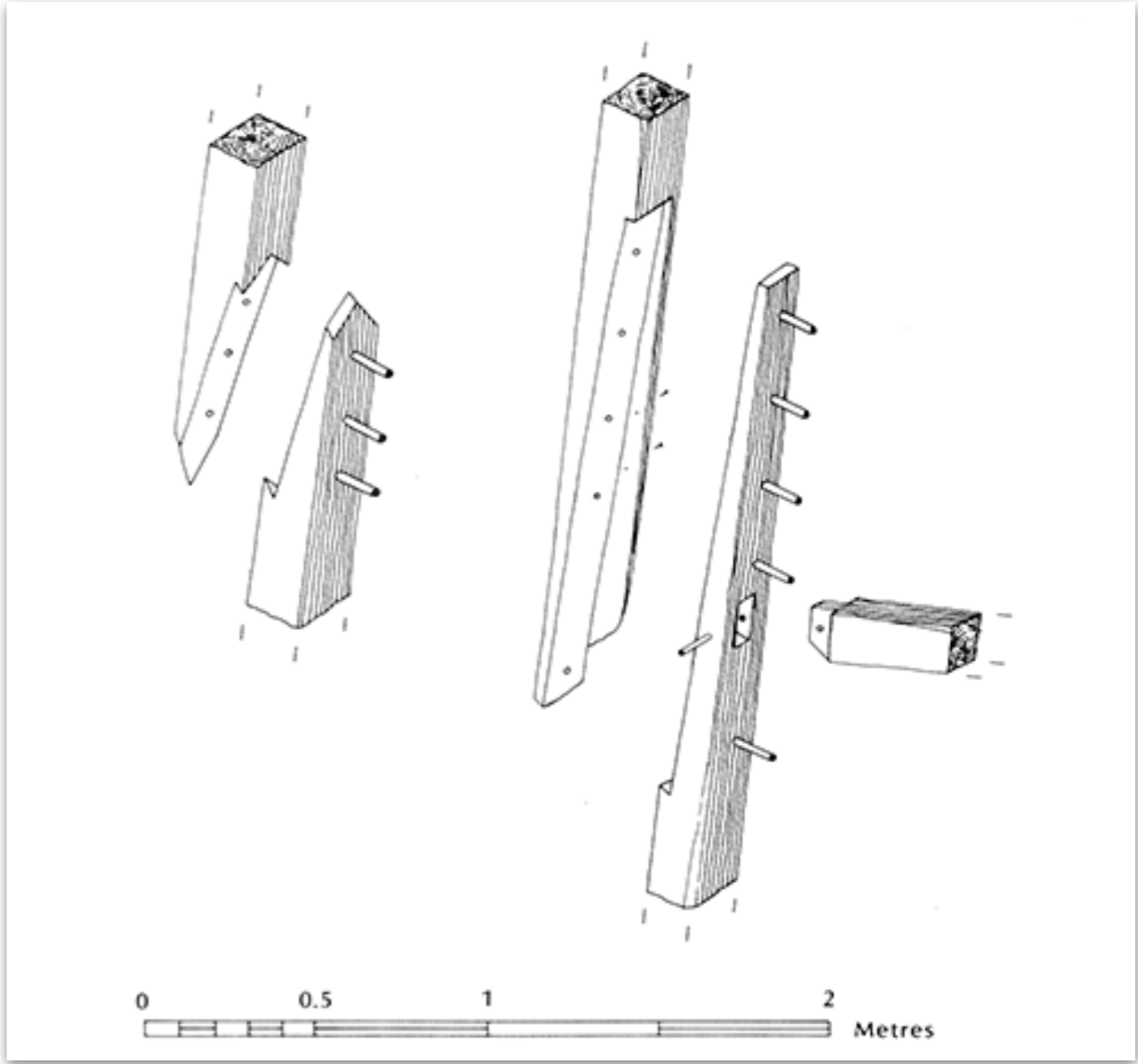
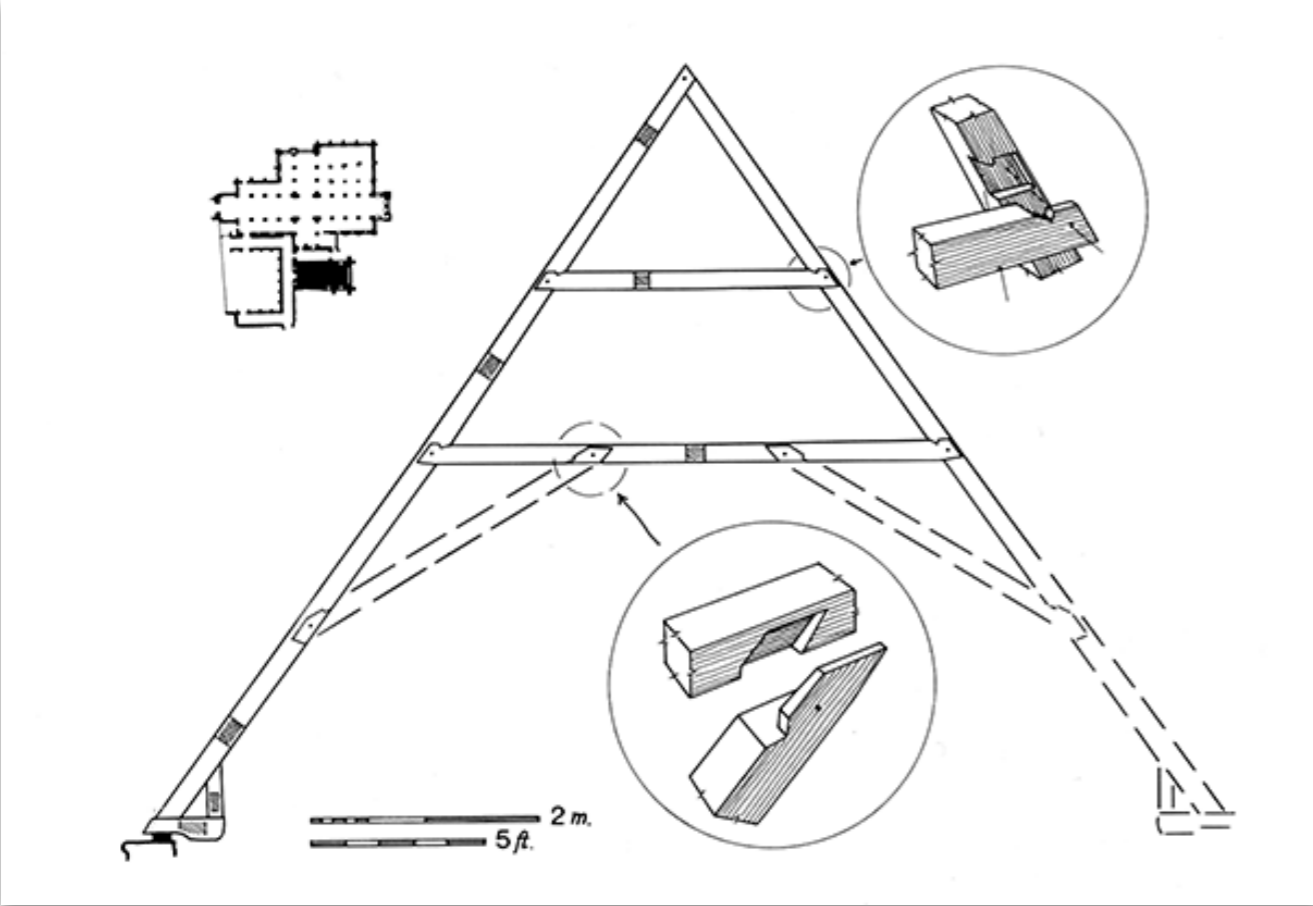
L'approvvigionamento dei materiali:  
il legno



La carpenteria

L'approvvigionamento dei materiali:  
il legno

Oxford, cathedral (1250 ca.)



Chichester, cathedral (1300 ca.)

La carpenteria

L'approvvigionamento dei materiali:  
il legno

### 3.1. Costruire una capanna

*L'archeodromo di Poggibonsi (SI): un esempio di archeologia sperimentale.*



Il posizionamento dei pali dormienti



L'approvvigionamento dei materiali:  
il legno



Gli agganci tra un palo e l'altro

L'approvvigionamento dei materiali:  
il legno





La preparazione dei pali per l'alzato

L'approvvigionamento dei materiali:  
il legno



Il posizionamento dei pali per la costruzione delle pareti

L'approvvigionamento dei materiali:  
il legno



L'intelaiatura lignea del tetto

L'approvvigionamento dei materiali:  
il legno



Le pareti



L'approvvigionamento dei materiali:  
il legno



La copertura del tetto



La 'chiusura' del tetto: il colmo



L'approvvigionamento dei materiali:  
il legno



Nettuno. Villaggio di capanne (lestre) in località Littoria, agro pontino, anno 1929. le capanne ospitavano i pastori transumanti fino agli anni '50-'60.

L'approvvigionamento dei materiali:  
il legno

## 4. *La malta*

Le malte sono miscele costituite da *legante* (in genere calce) con l'aggiunta di sabbia (*aggregato o inerte*) e acqua.

Al contatto con l'aria il legante si indurisce, diminuendo di volume e diventando consistente.

Classificazione tecnologica:

- malte *aeree* (il legante fa presa con l'aria)
- malte *idrauliche* (fanno presa anche in assenza d'aria, come sott'acqua)



L'approvvigionamento dei materiali:  
la malta



## 4.1 *Il ciclo di produzione della calce*

Prevede una serie di passaggi consequenziali tra loro, ognuno dei quali richiede la costruzione di strutture specifiche e il possesso di saperi empirici indispensabili per la corretta riuscita del percorso.

### 1) **La cottura**

Costruzione di un forno per la cottura (a 900°) della pietra calcarea, detto “*calcara*”, impiantato di norma in prossimità dei luoghi di approvvigionamento della materia prima (il calcare stesso) e di ampi bacini di approvvigionamento delle fonti energetiche indispensabili per il suo funzionamento (i boschi). Se la zona del cantiere non presenta le caratteristiche indicate la *calcara* sarà localizzata nei pressi della cave e la pietra cotta (*calce viva*), più leggera e meno voluminosa della roccia di partenza di circa il 20%, sarà trasportata al cantiere, rappresentando un costo aggiuntivo.

### 2) **Lo spegnimento**

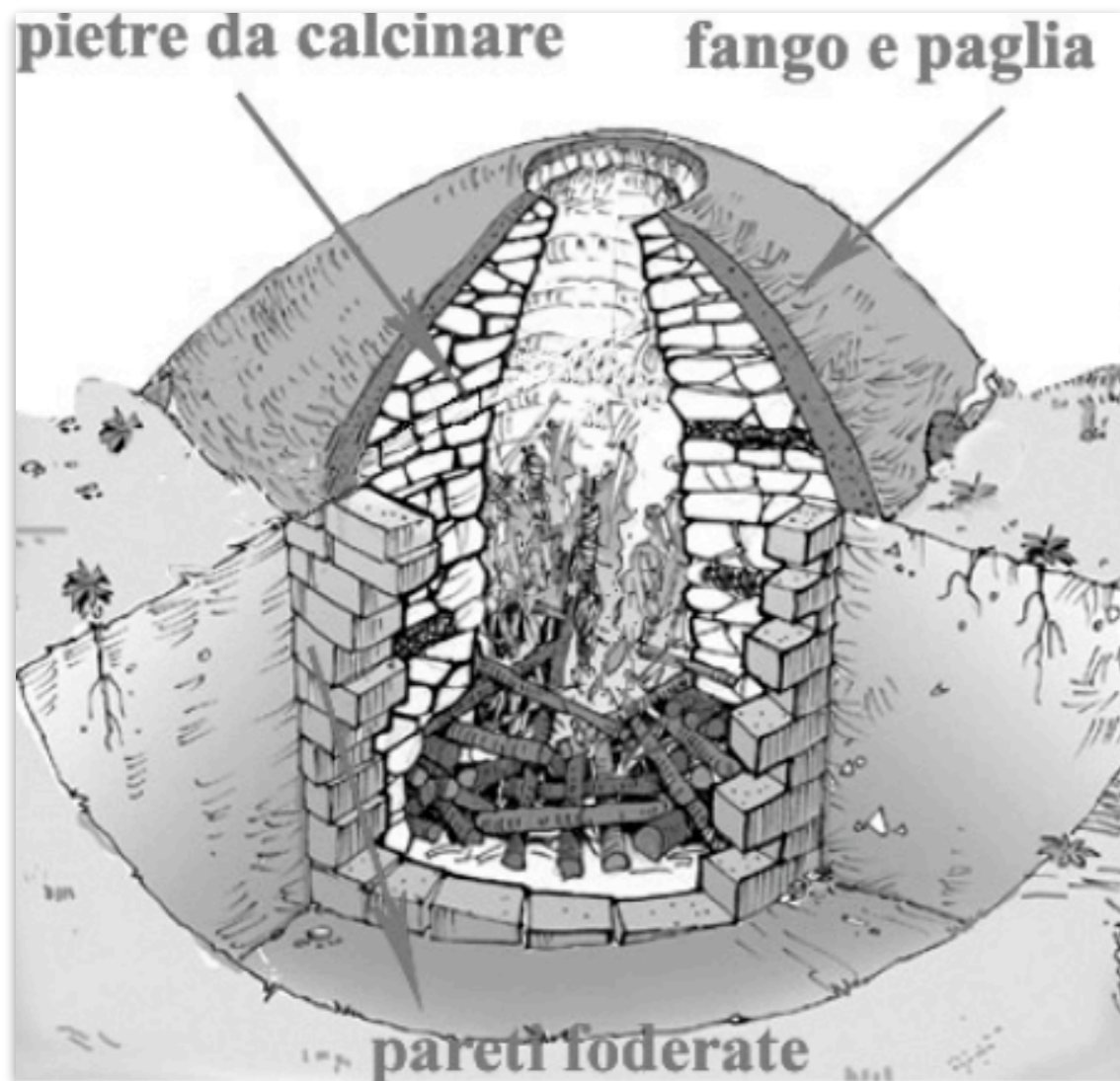
Il passaggio successivo consiste nello spegnimento della *calce viva* prodotta dalla fornace e richiede abbondanti quantità di acqua e apposite vasche che possono essere scavate nel terreno, *calcinaie*, o costruite in legno, *bagnoli o maste*, entro le quali la *calce spenta* subisce una fase di stagionatura più o meno lunga, che può variare da qualche giorno fino a diversi mesi.

### 3) **La produzione della malta**

Il terzo e ultimo passaggio consiste nella *produzione della malta*, composta da grassello (*calce spenta dopo la stagionatura*) impastato con sabbia e acqua, e può avvenire manualmente in vasche scavate nel terreno o in cassette lignee, oppure in maniera meccanica in strutture costruite appositamente.

L'approvvigionamento dei materiali:  
la malta

## La cottura



A fossa, con le pareti foderate in muratura e fori di tiraggio (Petrella 2008)



Fiano Romano, camera di combustione e di cottura con rivestimento in argilla (Savi Scarponi 2003)

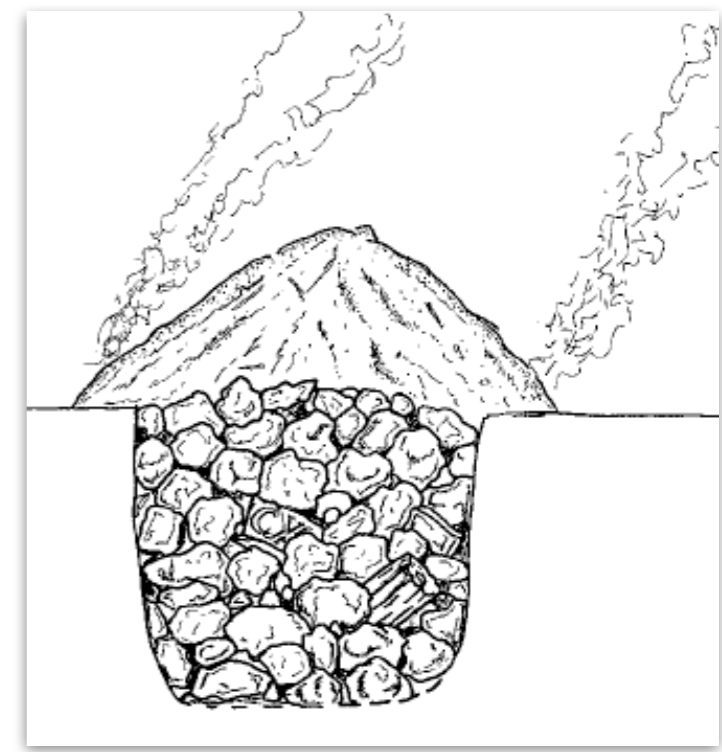
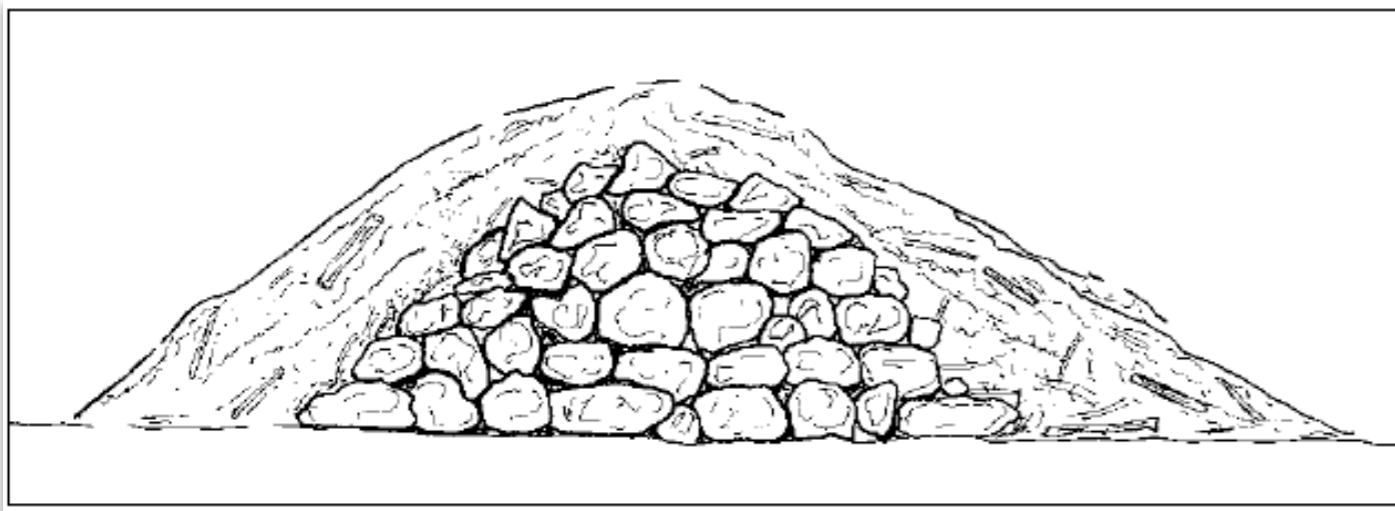
Esistono diverse varianti delle fornaci per la cottura della pietra calcarea (**calcare**), che non possono quindi essere tutte ricondotte al tipo romano (con struttura cilindrica, prefurnio, fortax, l'elevato della camera di combustione, e la lacuna, la fossa per la raccolta della cenere).

Nel Medioevo le calcare erano generalmente costituite da una *camera di combustione* comune o separata da quella da fuoco.

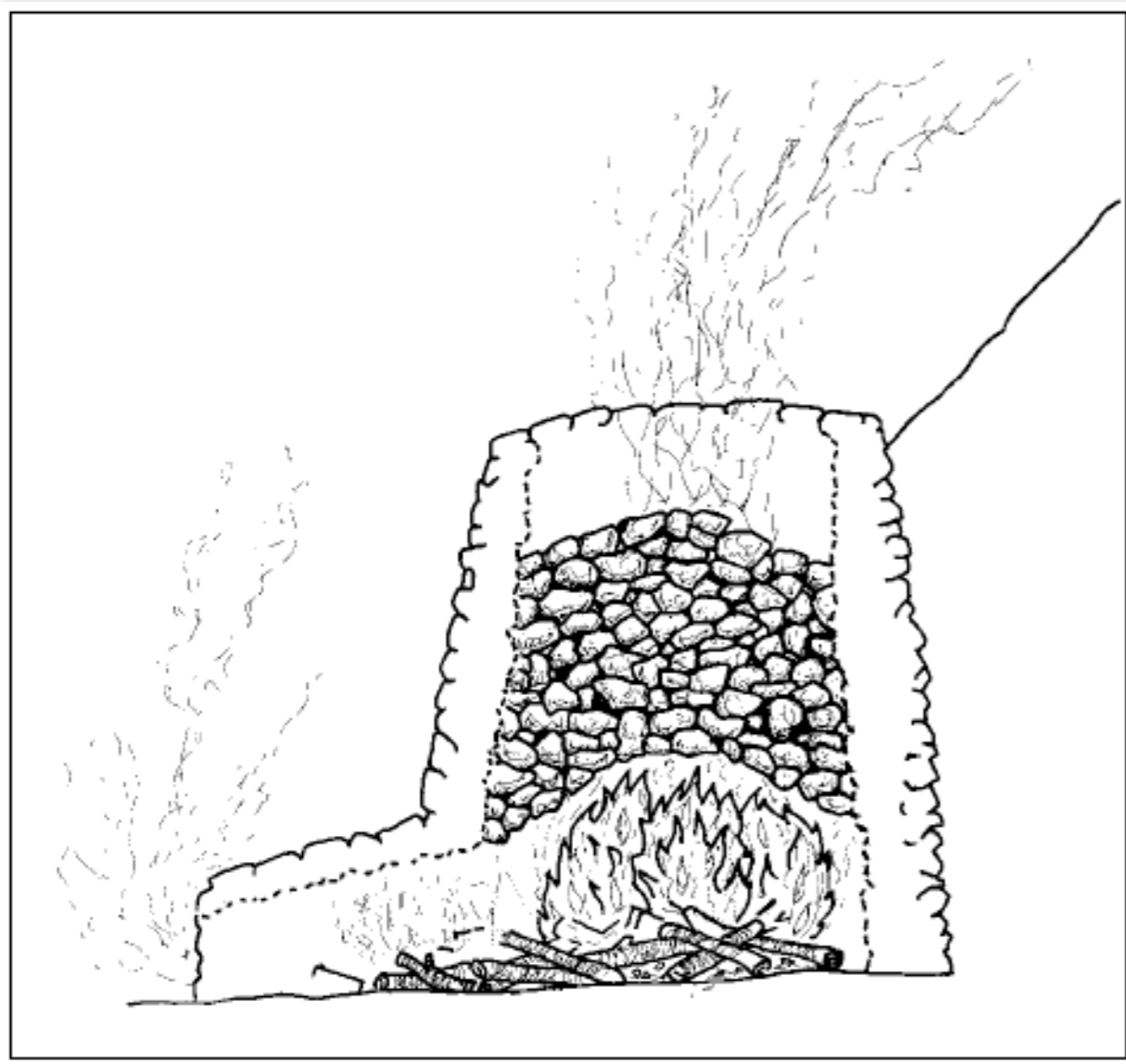
Si possono distinguere varie tipologie di forni: **fornaci a fossa** (a catasta o a campana) e **impianti in muratura**.

L'approvvigionamento dei materiali:  
la malta

## A catasta a “fuoco intermittente”



Sezioni di una fornace del tipo a catasta, a “fuoco intermittente” (Petrella 2008)



Nelle *fornaci a “fuoco intermittente”* le pietre da calcinare devono essere disposte all’interno della camera di cottura in modo da resistere al calore senza frantumarsi e senza provocare il collasso del volto (la distribuzione dei vuoti è tale da garantire la circolazione del calore).

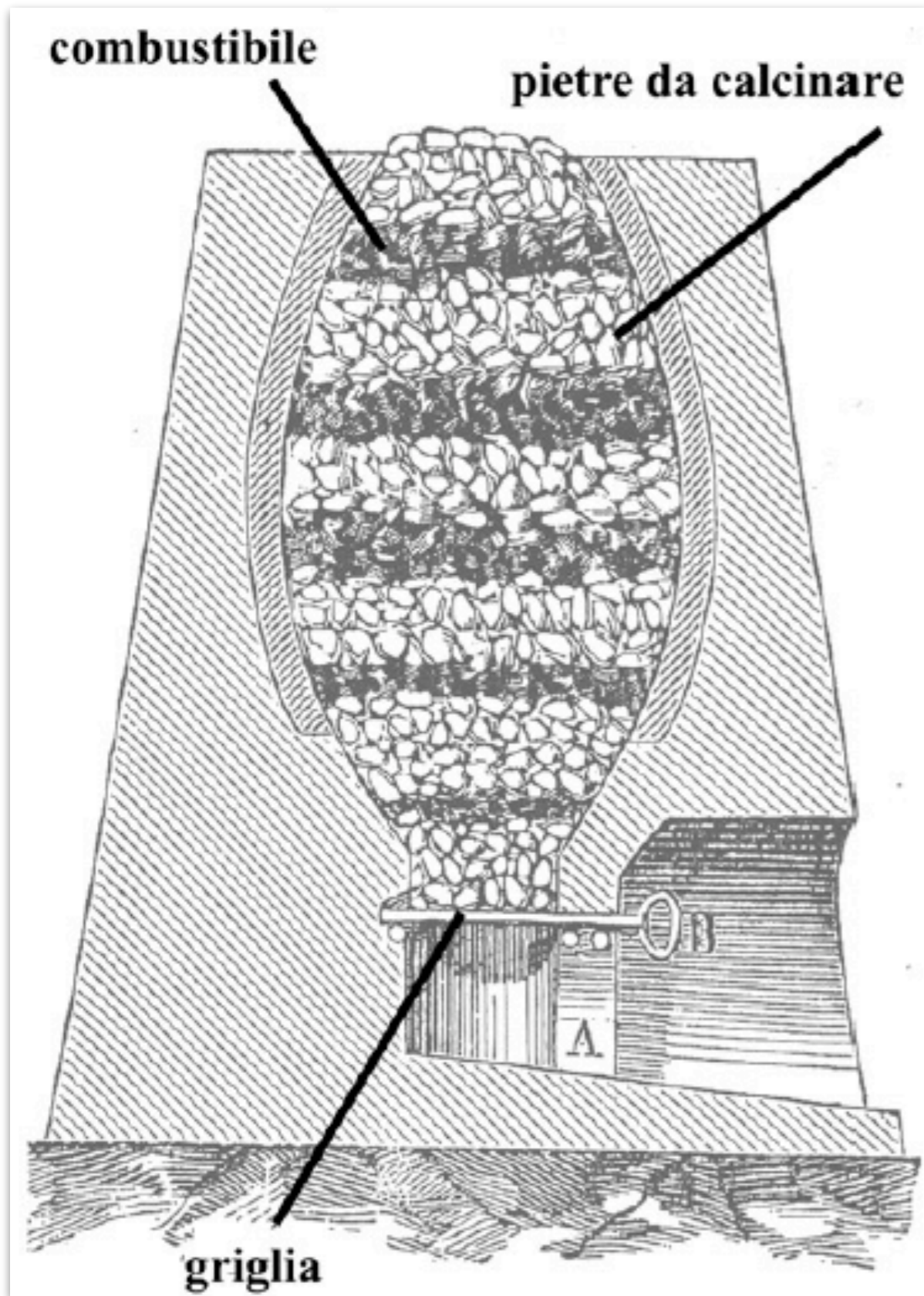
Il fuoco è tenuto acceso per tutta la durata della cottura.

Questo tipo di impianti è usato per la produzione di calce pura (bianca), di ottima qualità perché calcinata uniformemente.

A 900° il carbonato di calcio si trasforma in ossido di calcio o calce viva (composto molto caustico).

L’approvvigionamento dei materiali:  
la malta

## Fornace in muratura



Sono le strutture produttive più documentate: sono fornaci 'verticali' in cui una grossa camera è suddivisa in due volumi (un *focolare* e una *camera di cottura*). Alla base dell'impianto, un canale (*prefurnio*) comunica con l'interno della camera di cottura.

Nella camera di cottura, *le pietre sono alternate agli strati di combustibile*, che garantiscono un ciclo continuo di cottura. Con il procedere della cottura, la calce cade attraverso una grata alla base del forno, dove viene poi raccolta.

Sono attestate soprattutto a partire dal *periodo post medievale* e producono una calce meno pura rispetto a quella dei forni a fuoco intermittente, perché mischiata a cenere e residui (ma è necessaria una minore quantità di combustibile ligneo).

L'approvvigionamento dei materiali:  
la malta



La fornace fu rinvenuta durante lo scavo nel sottosuolo del museo della necropoli di III-IV sec. situata a nord della città romana. Al momento della scoperta, era ancora parzialmente riempita da sarcofagi e elementi architettonici in marmo destinati ad essere cotti per ottenere la calce.

Tolosa, Museo delle antichità di Saint Raymond, fornace per la calce (metà V-metà VI sec.)





Poggio Imperiale (Poggibonsi, SI), la calcare di epoca tardoantica.



La *calce viva* (ossido di calcio) all'uscita dalla calcara

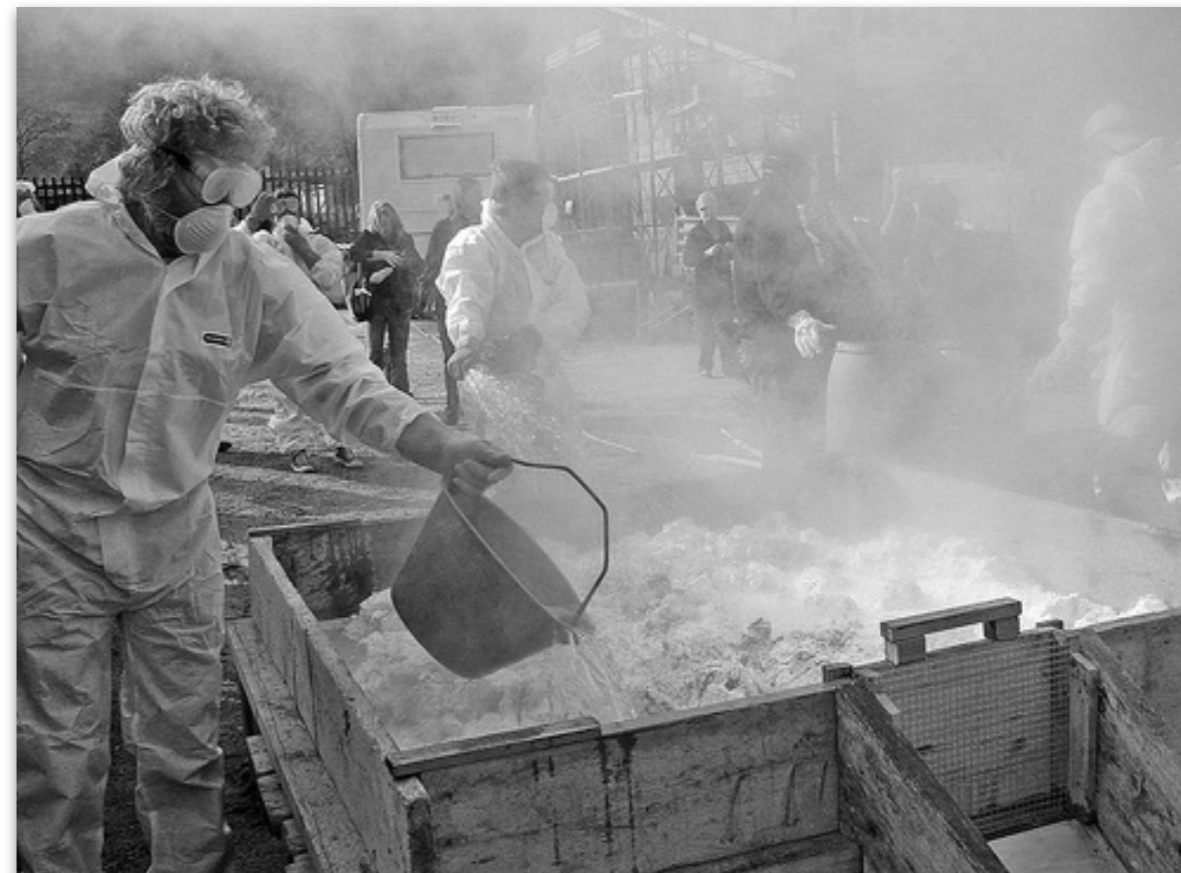
La fase successiva, lo *spegnimento della calce viva*, è un'operazione delicata a causa della forte temperatura che si sviluppa nella reazione chimica, circa  $300^{\circ}$ : necessita perciò di abbondanti riserve idriche.

L'approvvigionamento dei materiali:  
la malta

## Lo spegnimento

Il prodotto della cottura del calcare, ossido di calcio o *calce viva*, necessita di una prolungata fase di **idratazione** per recuperare l'anidride carbonica persa in cottura e trasformarsi in idrossido di calcio o *calce spenta*, in un processo chiamato di *sfioritura* o *spegnimento*.

L'acqua necessaria al processo di sfioritura corrisponde a circa 2 litri per 1 kg di calce viva, ovvero 220 litri per un carico della *masta* (la vasca di spegnimento), pari a 120 kg di calce viva in zolle.



La *calce spenta* o idrossido di calcio



## La produzione della malta

La malta veniva prodotta direttamente sul cantiere di costruzione. L'**aggregato** (*sabbia o rocce macinate*) viene impastato con il grassello prima della posa in opera ed è il componente della malta che non reagisce e non cambia volume, impedendo perciò al legante di spaccarsi durante la *carbonatazione*, processo che causa nel legante un ritiro di volume. Da ciò la necessità del legante nella preparazione della malta, che ha inoltre la funzione di *dimagrante* (riduce la plasticità della calce).

Generalmente la miscela migliore consiste nel combinare **1 parte di calce e 3-4 parti di legante** (o inerte). Le proporzioni variano a seconda dello spessore della malta: quanto più è maggiore, tanto più aumenta il ritiro ed è necessario l'aggregato.

spessore malta	% aggregato
> cm 2,0	75-80 %
cm 1-2	65-70 %
mm 1-2	50%

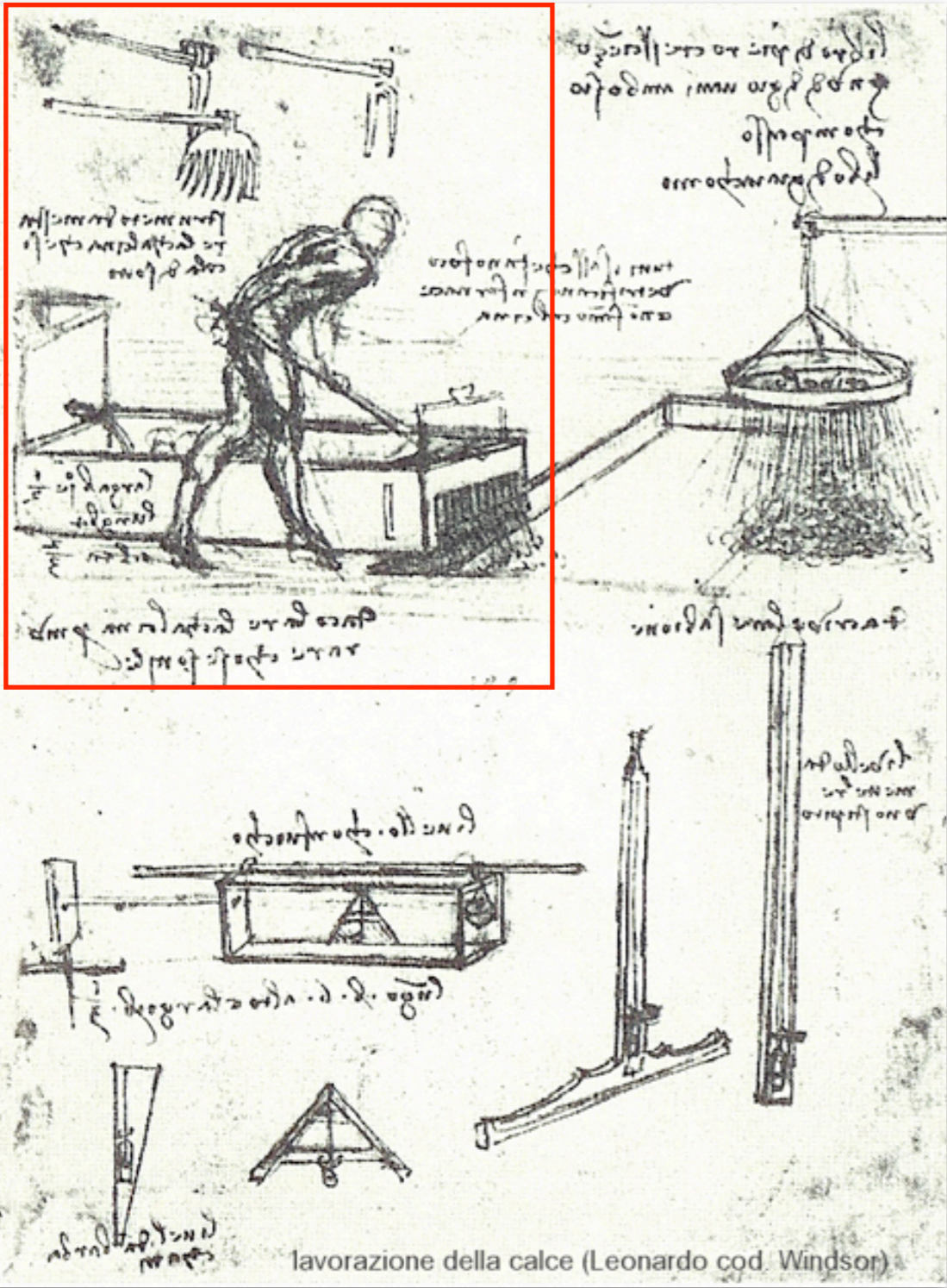
Caratteristiche della malta:

- *granulometria* (tanto più grande quanto maggiore è la % di inerte)
- *resistenza* (dei litotipi costituenti)

L'approvvigionamento dei materiali:  
la malta

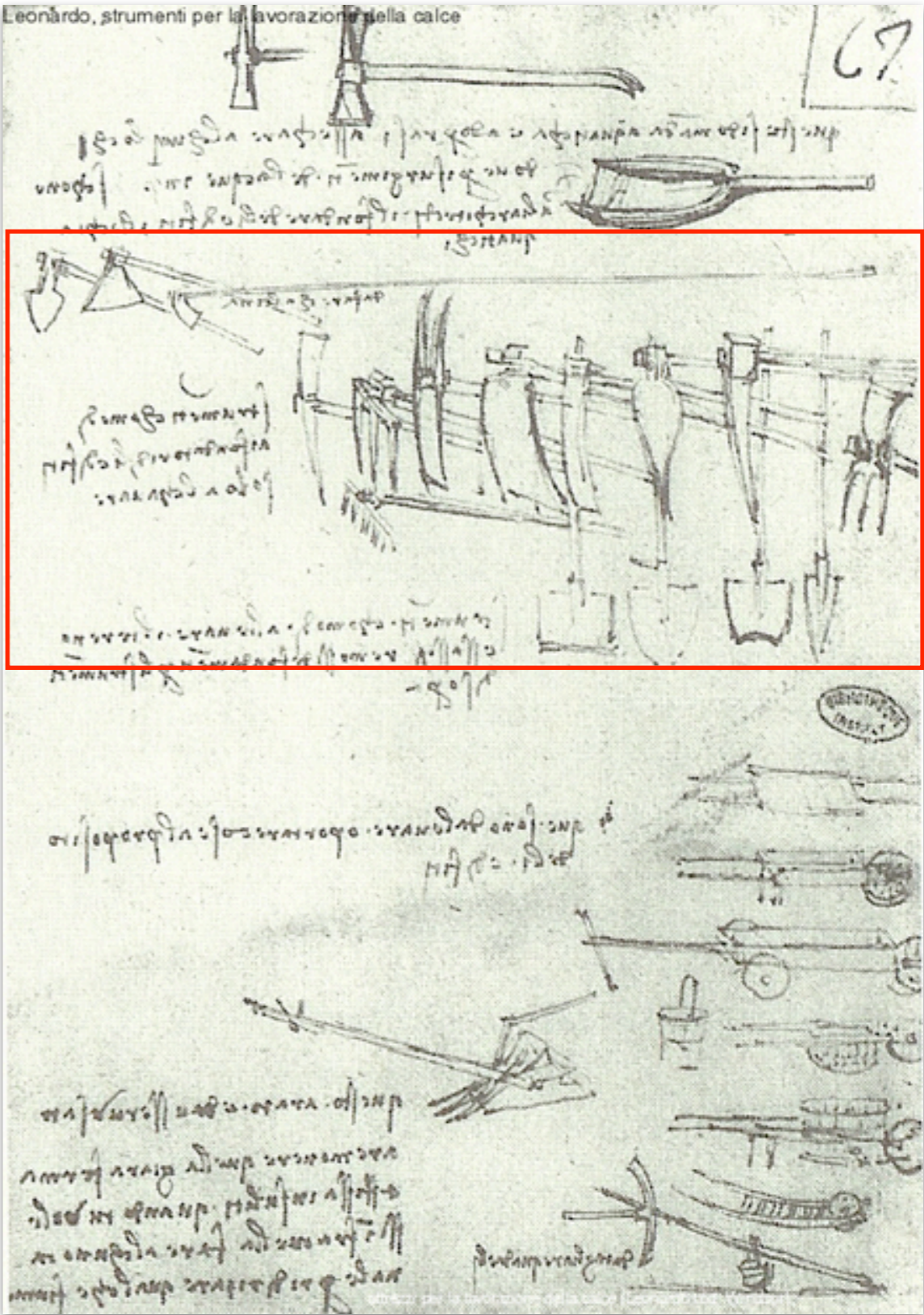


Leonardo da Vinci, codice Windsor

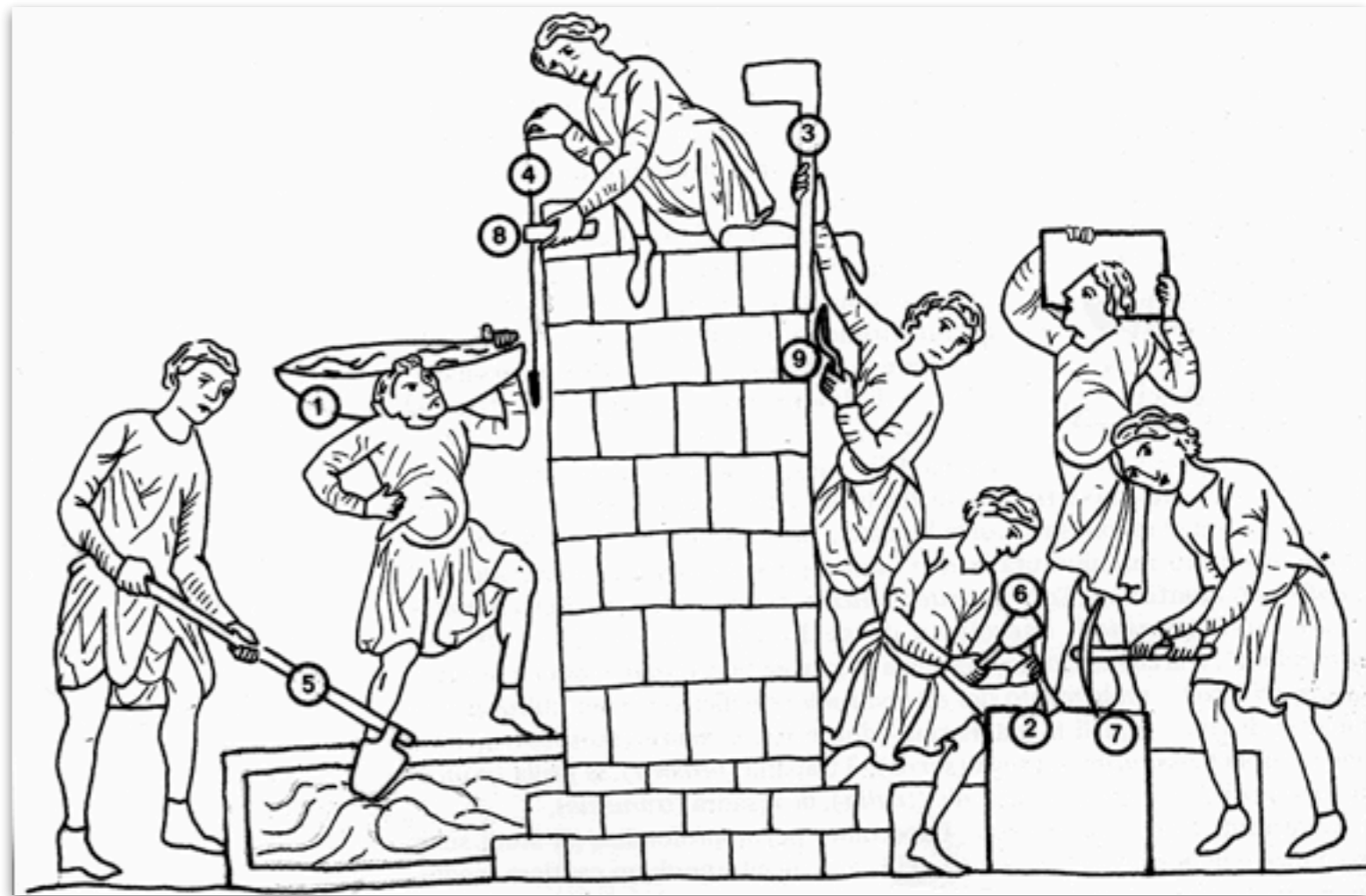


In alto: la vasca lignea in cui la calce spenta veniva miscelata con gli aggregati (sabbia).

A lato: gli strumenti impiegati per la miscelazione (la marra)



- 1 civiera o gerla
- 2 scalpello piano
- 3 squadra
- 4 filo a piombo
- 5 marra
- 6 mazzuolo conico
- 7 piccone da cantiere
- 8 riga
- 9 cazzuola



Strasburgo, Biblioteca Nazionale, XII sec.



Il calcinaio, o maltatore, prepara la malta nella masta

L'approvvigionamento dei materiali:  
la malta



I portatori, con ceste lignee e/o gerle, consegnano ai muratori la malta. Questo lavoro era spesso affidato a giovani e donne ed era pagato la metà di un manovale e fino a tre volte meno di un “magister lapidum”



L'approvvigionamento dei materiali:  
la malta

o ppls mirabilia ei.  
s dñs 7 laudabil' in  
sup omis dōs Qm̄ o  
nomia: dñs aut celo  
fio 7 pulcritudo in  
moia 7 magnificētia



Collaboratore del maestro della Bibbia di Gerona ("Maestro della Bibbia di Toledo").

Costruzione del Tempio (Bologna, cod. 346, inizi XIV sec.)

- 1 operai con cesti stretti e lunghi per il trasporto dei laterizi
- 2 due manovali mescolano la malta dentro un cassone (masta)
- 3 la malta è miscelata usando la marra
- 4 un manovale si carica in spalla un recipiente a forma di bacile con la malta già preparata
- 5 nella parte più alta dell'edificio, un operaio intonaca la parete con uno sparaviere

L'approvvigionamento dei materiali:  
la malta

## 4.2 I miscelatori meccanici per malta

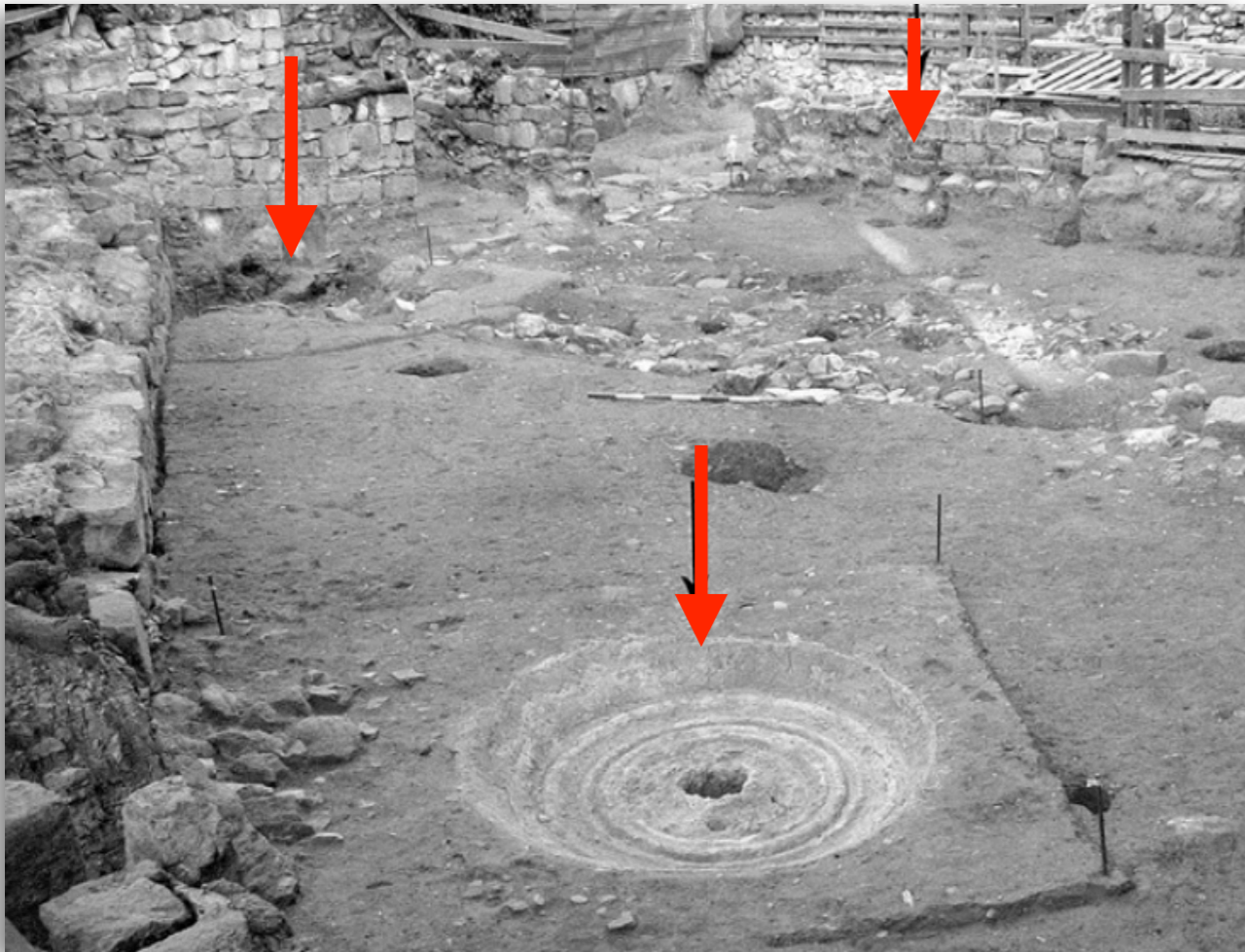
A partire dal tardo VIII secolo, con massima diffusione tra IX e X secolo, si diffondono nell'impero carolingio appositi macchinari per la produzione della malta: le c.d. *macchine miscelatrici da malta*.

In Europa sono state rinvenute, in scavo, 65 macchine da malta localizzate in 38 siti.

La maggior parte sono distribuiti in siti collegati o dipendenti da grandi abbazie, mentre sono presenti in misura minore negli scavi di castelli.

Non si hanno attestazioni di tali tipo di macchinari al di fuori dell'impero carolingio: la maggioranza degli esempi rinvenuti si concentrano geograficamente nell'area occupata dai regni di Lotario (796-855) (Italia-Svizzera) e Ludovico il Germanico (806-876) (la c.d. Francia orientale)





Le macchine miscelatrici della malta rinvenute nel sito di Donoratico (LI) sono tutte databili al cantiere di IX secolo



Particolare di una delle tre vasche di miscelazione

L'approvvigionamento dei materiali:  
la malta

Vetricella (Scarlino, Grosseto).  
Al centro, la fossa di spoliazione di  
una torre che si innalzava all'interno di  
un sistema di tre fossati concentrici, in  
uso tra IX e X sec. e poi colmati  
(Bianchi, Hodges 2019)



Le due macchine miscelatrici  
della malta recentemente  
rinvenute in scavo sono  
databili entrambe al IX secolo  
(Bianchi, Hodges 2018)



Nella Toscana centro meridionale sono state rinvenute ben 9 macchine da malta: 3 nel sito di Donoratico (LI), 1 a Miranduolo (SI), 1 ad Abbazia San Salvatore (SI), 1 a Montemassi (GR), 1 a Monterotondo M.mo (GR) e 2 a Verricella (GR).



Il miscelatore da malta di Miranduolo (X secolo)



Ricostruzione della macchina da calce rinvenuta nel castello di Miranduolo (SI)

L'approvvigionamento dei materiali:  
la malta





Nello strato superiore di malta si sono conservati 6 solchi paralleli e concentrici a 3 cm circa di distanza l'uno dall'altro



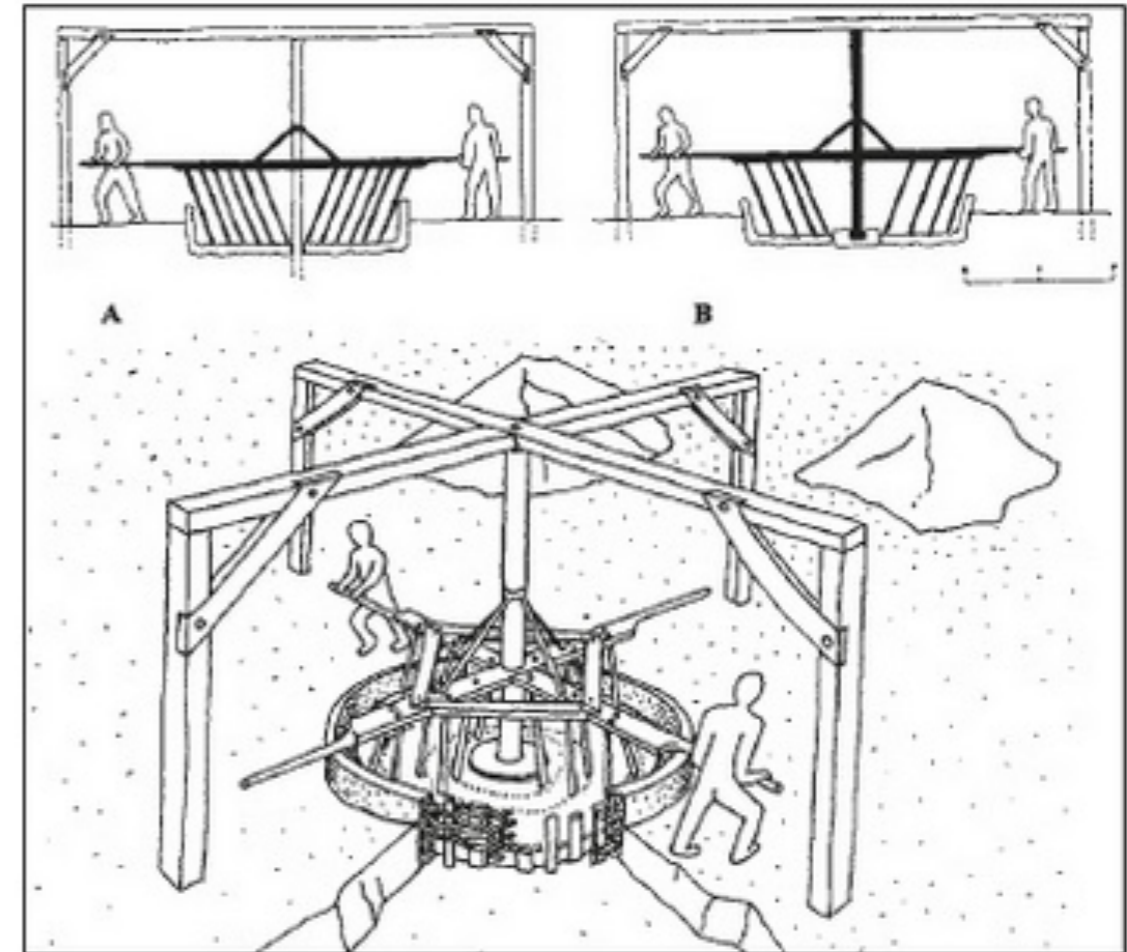
Lo strato superiore è il residuo della miscelazione di calce ed inerti (sabbie fini e aggregati di piccole dimensioni)

L'approvvigionamento dei materiali:  
la malta



La macchina miscelatrice della malta utilizzata durante il cantiere per la costruzione dell'abbazia di Abbadia San Salvatore sul Monte Amiata ad inizio XI secolo

L'approvvigionamento dei materiali:  
la malta



Ricostruzione del miscelatore da calce proposta in D.B. Gutschler 1981



Archeologia sperimentale: ricostruzione del miscelatore da calce di Donoratico