



*Carlo Giavarini  
CISTeC, Centro di Ricerca in Scienza e Tecnica  
per la Conservazione del Patrimonio Storico-  
Architettonico  
carlo.giavarini@uniroma1.it*

# L'INDUSTRIA DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE PRESSO I ROMANI

**La cura dedicata dai Romani alla preparazione e scelta dei materiali ha certamente contribuito alla realizzazione delle eccezionali costruzioni che ancora oggi possiamo ammirare.**

L'articolo riassume le caratteristiche e gli aspetti industriali della produzione dei principali materiali impiegati: laterizi, calce e malte, "opus caementicium", cocchiopesto, stucco e marmi, facendo riferimenti quantitativi alla Basilica di Massenzio, probabilmente il più grande edificio coperto dell'antichità.

**S**ono in molti a ritenere che il formidabile sviluppo dell'ingegneria delle costruzioni presso i Romani sia dipeso in buona parte dalla qualità dei materiali e dalla cura riservata alla loro scelta e produzione. La precisione con cui venivano preparate le malte e l'estrema cura con cui erano applicate, con composizioni perfettamente calibrate, è testimoniata da vari Autori, primo fra tutti Vitruvio. La stupefacente rapidità con cui venivano completati edifici grandiosi come la Basilica di Massenzio derivava anche dalla disponibilità di materiali, prodotti industrialmente in immense quantità. In ogni realizzazione architettonica non va infatti sottovalutata l'importanza di poter disporre con regolarità di tutti i materiali necessari, specie quando il progetto costruttivo è importante e il tempo per realizzarlo è breve. I materiali base per le costruzioni erano la calce e la pozzolana per preparare le malte, i mattoni, il tufo e le pietre, i metalli, i marmi e gli altri materiali per le decorazioni. Ciò senza considerare gli altri materiali

richiesti durante le varie fasi costruttive, soprattutto il legname per le impalcature e le cassaforme.

## **I laterizi nella Roma antica**

Come noto i laterizi comprendono una vasta categoria di prodotti ottenuti da impasti di terra argillosa modellata, sottoposti prima a lenta essiccazione e poi a cottura. Fanno parte di questa classe di materiali: le tegole, i mattoni e i laterizi speciali.

Solo nella fase finale dell'epoca repubblicana, i mattoni (*lateres*) cotti cominciarono a sostituire quelli crudi, che però restarono in uso con compiti non strutturali, o per costruzioni più povere o comunque non esposte completamente agli agenti atmosferici.

Paradossalmente lo sviluppo dell'industria del laterizio cotto ne ridimensionò il ruolo, da struttura portante a parte di una tecnica costruttiva completamente diversa, ma ne incrementò la diffusione. Le poderose murature che noi vediamo a Roma e in molti altri

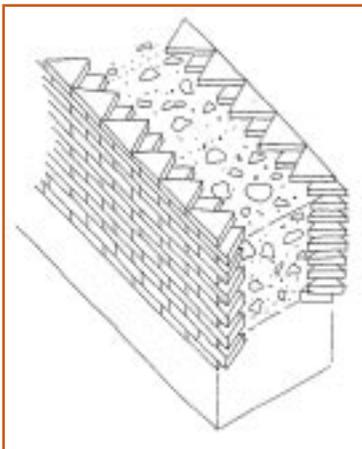


Fig. 1 - Muratura costituita da due paramenti in opus latericium che contengono un conglomerato a base di calce, pozzolana e materiali inerti grossolani (opus caementicium)

Paesi sono infatti spesso costituite in opera laterizia e cioè da due paramenti (uno per ogni lato del muro) che contengono un conglomerato a base di calce, pozzolana e materiali inerti di vario tipo (Fig. 1). In pratica il laterizio funge, soprattutto nei muri di grande spessore, da cassaforma. Le costruzioni fatte integralmente in mattoni furono, almeno fino al IV secolo d.C., piuttosto rare nell'area romana. Il mattone, pur

non svolgendo strutturalmente un ruolo primario, fu comunque un mezzo essenziale e tipico dell'architettura romana.

Per la produzione dei laterizi, le argille erano scavate e stagionate prima di impastarle con l'acqua e con gli eventuali correttivi: i Romani ben sapevano che la plasticità e la lavorabilità migliorano dopo stagionatura umida. Dopo abbondante manipolazione, le argille venivano pressate in apposite forme di legno per preparare le tipologie di mattoni desiderate (Fig. 2).

La fabbricazione dei *lateres* era probabilmente stagionale, onde lasciare loro il tempo di essiccare in modo regolare, opportunamente protetti da tettoie (Fig. 3).

Raggiunta la giusta essiccazione, i mattoni venivano impilati nel forno e cotti al fuoco di legna, raggiungendo temperature di 800-900 °C.

A conferma della straordinaria pianificazione dell'età imperiale, già dal primo secolo d.C. la produzione dei mattoni fu unificata in forme standard. La forma più comune era il quadrato; le misure andavano dai 2/3 di piede (ca. 20 cm per i bessali) al piede e mezzo (ca. 45 cm per i sesquipedali) ai due piedi (ca. 60 cm per i bipedali). Gli spessori variavano in genere da 2,5 a 6 cm.

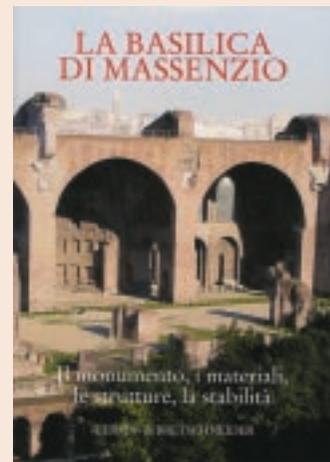
La produzione industriale di poche tipologie semplificava il lavoro ed evitava l'uso di tanti piccoli stampi separati. Le misure 20x20 e 45x45 erano le più diffuse in quanto usate per preparare gli elementi triangolari fratti (*laterculi*, *semilateres*), usati per la



Fig. 2 - Stampi per la fabbricazione manuale dei laterizi

Nonostante la sua importanza, la Basilica di Massenzio è rimasta a lungo uno dei monumenti meno noti della tarda antichità. Il volume "La Basilica di Massenzio. Il monumento, i materiali, le strutture, la stabilità", a cura di Carlo Giavarini (Editore "L'Erma" di Bretschneider, pag. 265 a colori, Roma, febbraio 2005) presenta i risultati scaturiti dalle ricerche relative al cantiere antico, ai materiali e alla loro produzione, all'evoluzione storica dell'edificio, ai problemi strutturali e di stabilità (antichi e attuali).

L'opera intende lasciare una documentazione del lavoro fatto, e costituisce un esempio di ricerca interdisciplinare, con coinvolgimento di competenze ingegneristiche, chimiche e archeologiche applicate allo studio e alla conservazione di un monumento storico. Il presente articolo prende spunto da alcuni contenuti del volume, relativi ai materiali.



cortina; il taglio veniva fatto probabilmente con la martellina. Questa pratica è documentata, oltre che dall'esame dei laterizi in opera, dal reperimento di sesquipedali con scalfiture o solchi, tracce per il successivo taglio. Si ottenevano così, ad esempio, ben 16 pezzi triangolari a partire da ogni sesquipedale.

Come sopra accennato, la ragione di questa prassi era dovuta probabilmente ad un calcolo pratico e industriale fatto confrontando i tempi di fabbricazione e quelli di manipolazione per l'essiccazione e la cottura, senza contare il trasporto e l'impilamento. Inoltre, la cottura di un pezzo con spigoli acuti, come quello triangolare, era più suscettibile di deformazione.

La grande disponibilità di polvere e frammenti di mattone originati dal sezionamento dei sesquipedali, contribuì probabilmente alla diffusione del cocchiopesto.

Mediamente il carico di rottura di un mattone oscillava tra 15 e 20 MPa (o N/mm<sup>2</sup>) potendo arrivare anche oltre 30 MPa. L'aumento della temperatura determinava le migliori proprietà meccaniche e di resi-



Fig. 3 - Preparazione manuale dei laterizi nei primi decenni del 1900. La tecnica e l'organizzazione del lavoro erano simili a quelli in uso presso i Romani

stenza al degrado, per una maggiore vetrificazione e formazione di silicati cristallini.

Data la scarsa economicità del trasporto dei laterizi, le fornaci erano vicine il più possibile ai luoghi di utilizzo o comunque presso via di trasporto fluviali; essenziale per l'installazione era la facile reperibilità di argilla, acqua e legname.

Una fornace tipica era dotata di vasche per la raffinazione e lavorazione delle argille (con eventuali correzioni e "pigiatura" per renderle plastiche), di forno (o forni) e di tettoie per l'essiccazione. Il forno rappresenta indubbiamente la parte tecnologicamente più interessante (Fig. 4).

Usualmente a pianta rettangolare o ellittica, i forni erano dotati di una camera di combustione centrale posta lungo l'asse maggiore e (solitamente) al di sotto del livello del terreno. Sopra la camera di combustione, sorretta da pilastri e archetti, stava la suola del forno, dotata di fori per il passaggio del calore; i mattoni da cuocere venivano accatastati su tale suola.

Ogni forno aveva un "prefurnio", in comunicazione diretta con la camera di combustione. Spesso il *prefurnio* era completamente interrato, alla stessa quota della camera di combustione, per evitare dispersioni di calore. Nella fase iniziale del ciclo termico il combustibile veniva acceso all'imboccatura del *prefurnio* e quindi spinto gradualmente dentro la camera di combustione (eventualmente già sotto forma di braci). Attraverso il *prefurnio* entrava anche l'aria comburente; i prodotti della combustione passavano, attraverso le aperture del piano forato, nella soprastante camera di cottura, da cui erano convogliati all'esterno tramite i fori della volta; mancava in genere un camino vero e proprio.

La volta (rotonda o quadrangolare) poteva essere stabile o provvi-

soria, fatta di anfore, tubuli fittili o graticciati ricoperti di argilla. L'ingresso dell'aria era opportunamente regolato in funzione del combustibile. Nel forno i mattoni erano accatastati così da lasciare interstizi per la circolazione dei fumi caldi.

Oltre all'evoluzione della tecnica di fabbricazione e cottura, un ulteriore aspetto che indica la predisposizione all'organizzazione industriale e commerciale dei Romani è il fatto che già a partire dall'età tardo-repubblicana (e fino all'imperatore barbaro Teodorico) sui mattoni cominciarono a comparire i bolli, prima usati solo per prodotti ceramici di maggior pregio. Tali bolli venivano applicati a volte anche a seguito di decreto imperiale.

La forma dei bolli e le informazioni in essi contenute variavano a seconda del periodo di fabbricazione e del tipo di prodotto. Nel caso più completo venivano riportati:

- il nome del proprietario (*dominus*) e del terreno (*praedia*) da dove proviene l'argilla;
- il responsabile della produzione (*officinator*);
- il nome della fabbrica e fornace (*figlinae*);
- la data consolare;
- più raramente il tipo di manufatto.

Il rapporto commerciale era probabilmente regolato da un contratto con cui il *dominus* impegnava l'appaltatore (*conductor*) a produrre un certo quantitativo di mattoni dietro compenso; il prodotto, quindi, rimaneva di proprietà del *dominus* che solitamente era un membro della classe senatoria, mentre il *conductor* poteva essere uno schiavo o un liberto (ma anche un libero cittadino).

È documentata la presenza nei dintorni di Roma di nove fornaci nel periodo 80-97 d.C. e di 29 fornaci nel periodo 98-113 d.C.; il numero delle fabbriche realmente esistenti era senz'altro superiore. La produzione era comunque in rapporto con i periodi di boom edilizio o con l'attuazione di progetti importanti.

Nella metà del secondo secolo d.C. i grandi proprietari costituivano un numero sempre più ristretto e quasi tutte le *figlinae* divennero di proprietà imperiale: le stesse persone producevano i mattoni e commissionavano i lavori di costruzione.

Nelle provincie dell'impero in cui stazionavano le legioni, era spesso il genio militare ad occuparsi della produzione dei mattoni, che servivano soprattutto per le opere pubbliche, ma che potevano anche essere rivenduti ai privati.

### I leganti e le malte

Il legante per eccellenza era la calce, il cui uso sistematico fu introdotto dai Romani. È noto che la calce deriva dalla cottura, a 800-900 °C, della pietra calcarea.

I forni romani erano solitamente troncoconici, simili a quelli in uso

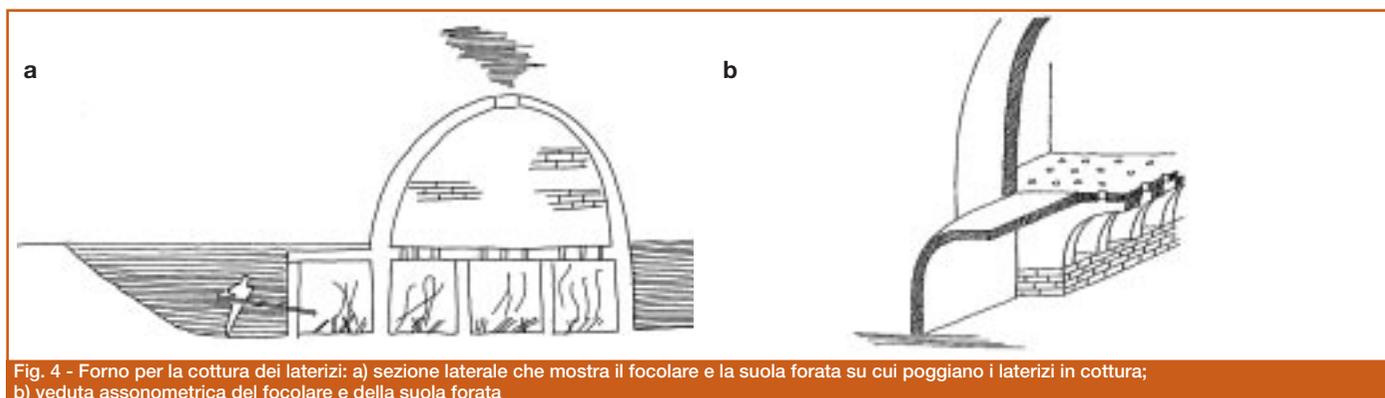


Fig. 4 - Forno per la cottura dei laterizi: a) sezione laterale che mostra il focolare e la suola forata su cui poggiano i laterizi in cottura; b) veduta assometrica del focolare e della suola forata

fino a qualche decennio fa in molte regioni. Vari Autori illustrano gli aspetti tecnici della fabbricazione: basti citare le opere di Vitruvio, Catone e Plinio.

L'irregolare distribuzione delle temperature nei forni antichi lasciava, da un lato, parte del carbonato indecomposto, dall'altro (cottura eccessiva) provocava la formazione di grumi compatti e sinteizzati che si idratavano molto difficilmente, e comunque in ritardo (bottaccioli). Si cercava di eliminare (mediante setacciatura), questi difetti nella fase successiva di spegnimento con l'acqua.

L'iniziale violenta reazione con l'acqua faceva aumentare notevolmente il volume della calce, trasformandola in una pasta bianca, untuosa e plastica (*calx macerata*, oggi detta grassello).

Per essere di buona qualità, la calce (soprattutto quella "grassa") doveva maturare parecchi mesi in fosse di spegnimento ricoperte di terra.

A contatto con l'atmosfera, la calce assorbe lentamente l'anidride carbonica ritrasformandosi in carbonato. L'evaporazione dell'acqua (presente in origine e formata dalla reazione) provoca una decisa riduzione del volume, con formazione di un materiale incoerente e privo di resistenza.

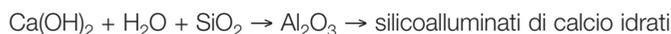
Per le sue scadenti proprietà meccaniche la calce tal quale è stata utilizzata solo sotto forma di spessori molto sottili per ricoprimenti e pitture. Aggiungendo un materiale inerte come la sabbia (2-3 volumi per ogni volume di grassello), si migliorano le proprietà meccaniche, ottenendo una malta di calce detta "aerea". Si limitano così i ritiri e si espone meglio la calce all'azione di carbonatazione dell'aria. Le malte aeree, comunque, non possono garantire elevate resistenze, per la loro alta porosità; esse erano quindi preferite per usi superficiali e non strutturali (per es. intonaci).

La necessità di migliorare le basse resistenze delle malte aeree e di favorire l'indurimento anche in acqua (per es. per la costruzione delle fondazioni di ponti e acquedotti) fece sviluppare tra i costruttori romani l'uso delle malte contenenti pozzolana o altro materiale a comportamento pozzolanico (es. polvere di laterizio), precor-

rendo così di oltre duemila anni l'introduzione di un materiale simile all'attuale cemento Portland.

Il termine *pulvis puteolanus* fu attribuito dai Romani ad un materiale incoerente presente nella zona di Pozzuoli, ma abbondante anche nei dintorni di Roma (Colli Albani). Originata da eruzioni vulcaniche di tipo prevalentemente esplosivo, le pozzolane sono caratterizzate da un forte contenuto (40-70%) di composti reattivi della silice. Le particelle del magma trascinate dai gas subirono una forte temprà che le trasformò in una massa vetrificata, particolarmente reattiva verso l'idrato di calce.

La capacità di fissare la calce è posseduta, in maniera minore, anche da altri materiali come le pomice e le argille arrostitite (i laterizi ben cotti, appunto). La silice e l'allumina reattiva contenute nei materiali dotati di attività pozzolanica reagiscono con la calce e l'acqua formando composti analoghi a quelli dei moderni cementi.



Su questa proprietà di fissare la calce formando composti cementanti idraulici (capaci cioè di reagire in acqua), si è basato l'esteso impiego delle pozzolane fatto dai Romani nelle costruzioni.

### Composizioni di malte romane, secondo Vitruvio

Calce (Grassello)	Inerti	Acqua
1 parte	3 parti di sabbia di cava	15-20%
1 parte	2 parti di sabbia di fiume o di mare	15-20%
1 parte	2 parti di sabbia di fiume 1 parte di tegole sbriciolate	15-20%
1 parte	2 parti di pozzolana	15-20%

\* La quantità di acqua dipende dal grassello, dal clima e dal tipo di impiego della malta

Le prescrizioni per confezionare buone malte sono dettate da Vitruvio e da altri Autori. La Tabella della tabella precedente riporta una sintesi delle ricette di Vitruvio, confermate dall'analisi di vari leganti di epoca romana.

### L'opus caementicium

Da un punto di vista etimologico, la parola *caementum* designava i frammenti di pietra uniti alla malta nella costruzione delle murature; essa quindi non indicava né il legante, né il conglomerato, che noi abbiamo definito col termine attuale di calcestruzzo.

Il calcestruzzo è la vera grande invenzione degli ingegneri romani, base per tutto lo sviluppo delle costruzioni moderne. Da solo veniva impiegato quasi esclusivamente nelle fondazioni, sia in cavo libero che gettato entro cassaforme; normalmente però costituiva il nucleo interno delle murature, abbinato a paramenti esterni di tipo diverso, come ad esempio blocchetti di tufo tronco-piramidali (*opus reticulatum*) o mattoni triangolari (opera laterizia).

Normalmente i *caementa* (pezzi di tufo, di mattoni, di marmo, di pietre, ecc.) erano allettati a mano, con le facce maggiori orizzontali, procedendo a regolari costipazioni per aumentare la compattezza e le resistenze finali.

In pratica, le fasi costruttive del muro in opera laterizia erano costituite da:

- realizzazione per fasce delle due cortine laterali, eventualmente puntellate;
- getto di uno strato di malta;
- inserimento di inerti grossolani (calcestruzzo);
- costipamento mediante battitura;
- ripresa del muro nella fascia superiore, con eventuale inserimento di elementi trasversali di legatura e ripartizione dei carichi.

Diversamente dal moderno calcestruzzo, contenente inerti con granulometria assortita, l'*opus caementicium* romano era quindi costituito da malta (calce, sabbia e pozzolana) e inerti di grandi e simili dimensioni, allettati e costipati a mano.

I mattoni triangolari dell'*opus* erano posti a file alternate in modo da non creare allineamenti nei giunti verticali e da avere un buon "aggancio" con la malta del calcestruzzo del nucleo.

Per muri di grande spessore, venivano talvolta impiegati mattoni più grandi e non triangolari onde contrastare, durante la fase costruttiva e fino al completamento della presa, i carichi sulle pareti laterizie della cassaforma. Considerando il classico parametro dell'*opus latericium* costituito da mattoni triangolari (ad es. quadrati di 20 cm tagliati secondo le diagonali), la sua larghezza efficace, ovvero lo spessore portante, si riduce a soli sette centimetri. Questo spessore diventa del tutto trascurabile quando si arriva a muri aventi spessore di qualche metro (ad es. 4-5 m nella Basilica

di Massenzio); in tal caso la resistenza della muratura dipende esclusivamente da quella del calcestruzzo. Un tipico calcestruzzo romano presenta resistenze a compressione di 5-6 N/mm<sup>2</sup>, con modulo elastico di ca. 3.000 N/m<sup>2</sup>.

In genere la qualità del calcestruzzo messa in opera era tanto migliore quanto maggiori erano le sollecitazioni che la struttura doveva sopportare.

### Il cocchiopesto

Il cocchiopesto è un impasto di calce, sabbia o/e pozzolana, schegge e polvere di laterizio.

Ha ottime caratteristiche idrauliche fornite sia dalla pozzolana (se presente) sia dal triturato di laterizio che, mescolato alla calce, presenta proprietà pozzolaniche e idrauliche.

Reagendo lentamente con la calce, i silicoalluminati del laterizio formano composti idrati che colmano i vuoti della malta, rendendola meno porosa e più impermeabile. Da ciò deriva il suo impiego come strato impermeabilizzante per vasche, acquedotti e strutture. Dopo la gettata, il conglomerato veniva costipato onde addensarlo e ridurre la percentuale di vuoti. La lunga permanenza in condizioni di elevata umidità sviluppava elevate resistenze meccaniche, anche a trazione.

Pur se utilizzato spesso in strati sottili, le qualità meccaniche del cocchiopesto ne fanno un vero e proprio conglomerato (ovvero un calcestruzzo con inerti a granulometria fine).

In alcuni casi la resistenza a compressione dei sottofondi in cocchiopesto ha superato i 10 N/mm<sup>2</sup> (10 MPa).

### Alcune considerazioni quantitative

Il segmento terminale di Via dei Fori Imperiali, verso il Colosseo, è caratterizzato dalle gigantesche volte a botte della Basilica di



Fig. 5 - La Basilica di Massenzio come è oggi, vista dal Palatino

Massenzio, costruita tra il 306 e il 312 d.C. (Fig. 5).

La pur imponente porzione che oggi vediamo, costituisce meno di 1/3 dell'edificio originale (Fig. 6), avente dimensioni di ca. 90x65 m, pari a una superficie coperta di ca. 6.000 m<sup>2</sup>, di cui 83 x 25 m per sola navata centrale. La Basilica costituiva il più grande ambiente coperto con sistemi a volta di tutto l'impero, una vera e propria piazza coperta.

Ci riferiamo a questo monumento, che abbiamo avuto modo di studiare a fondo, per svolgere alcune considerazioni quantitative, a dimostrazione dell'organizzazione che doveva aver assunto l'industria delle costruzioni presso i Romani. Ulteriori informazioni sono disponibili nel volume "La Basilica di Massenzio. Il monumento, i materiali, le strutture e la stabilità."

Nella Basilica, la malta impiegata per confezionare il conglomerato variava dal 40 al 60% in volume in funzione delle diverse esigenze strutturali (mediamente la resistenza del conglomerato della Basilica è di 5-6 N/mm<sup>2</sup>). Considerando che il volume delle murature è di 47.500 m<sup>3</sup> (di cui 8.500 m<sup>3</sup> per le fondazioni) e assumendo una media del 50% di malta, si ottiene un volume di poco inferiore a 24.000 m<sup>3</sup>. La quantità di calce (1/4 in volume) è 6.000 m<sup>3</sup>, per la cui produzione sono servite quasi 500 tonnellate di legname.

La superficie totale dei paramenti in laterizio risulta essere ca. 11.300 m<sup>2</sup>; poiché un m<sup>2</sup> di paramento contiene 70-80 mattoni del tipo triangolare (lungi mediamente 20 cm e aventi spessore da 3 a 4 cm), il numero totale di mattoni triangolari è ca. 850.000, cui vanno aggiunti i 4.300 bipedali per ghiera e volte a botte, e i 12.500 mattoni per i ricorsi in elevazione e gli archi minori. Trasformando i valori numerici in "bessali-equivalenti", si ottiene la cifra di ca. 470.000. La legna necessaria per cuocerli può essere stimata pari a circa 560 tonnellate.

Relativamente alla produzione si può ipotizzare che un operaio con due-tre assistenti (uno per preparare l'argilla e gli altri per porre i mattoni ad essiccare), potesse formare fino a 1.000 mattoni al giorno, in giornate lavorative di 10-12 ore. Esistono infatti testimonianze relative agli anni '40-'50 del secolo scorso, in cui una famiglia di marito, moglie e due figli arriva a produrre in estate oltre 1.500 tegole al giorno, lavorando però anche 14 ore di seguito. Una sola squadra di lavoro, se ben organizzata, poteva quindi produrre anche 150.000 mattoni nell'anno (considerando la stagionalità del lavoro). Occorre poi considerare i tempi necessari per l'essiccazione, la cottura ecc.

Ulteriori considerazioni andrebbero fatte per le centinaia di m<sup>3</sup> cocciopesto delle terrazze superiori e per le tegole di copertura, nonché per tutto il legname necessario per le impalcature, le

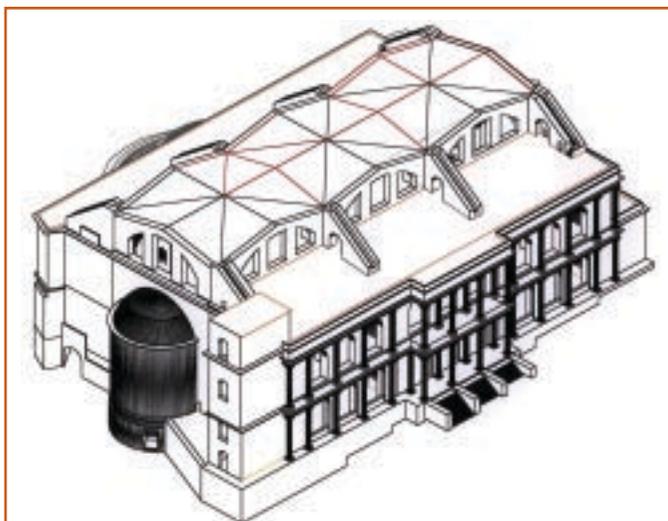


Fig. 6 - Vista assonometrica della Basilica di Massenzio come era in origine

cassaforme, ecc. Anche la decorazione a stucco deriva da uno schema unitario di progetto architettonico e non è quindi un fatto aggiuntivo. Lo stucco è una malta fine, composta da un legante e da inerti in polvere, in grado di essere modellata e lisciata. In epoca romana i leganti erano calce (soprattutto) e gesso; le cariche andavano dalla polvere di marmo o travertino, a quella di mattone o pozzolana.

Con riferimento alla Basilica di Massenzio, se aggiungiamo ai celebri lacunari a stucco delle volte ancora esistenti, quelli delle navate crollate, si raggiunge una estensione lineare della decorazione di ben 12 chilometri. Cifre così impressionanti, collegate alla rapidità di costruzione della Basilica, fanno pensare ad una organizzazione delle forniture e del lavoro ben pianificati e, nel caso degli stucchi, ad un lavoro fatto "in serie".

Il pavimento della Basilica e il rivestimento di tutte le superfici interne, fino allo spiccatto delle volte, era costituito da lastre di marmo sagomate, di cui restano solo alcune impronte sulla malta di allettamento.

Trascurando le pur numerose e imponenti colonne marmoree, la superficie totale dei marmi superava i 12.000 m<sup>2</sup>; considerando uno spessore medio di 5 cm ed una massa volumica di 2.700 kg, se ne deduce una cubatura di ca. 600 m<sup>3</sup> per un peso di ca. 1.600 tonnellate con le prevedibili ricadute, in termini di impegno economico e di gestione operativa, che entità così elevate di materiali sicuramente comportavano.

Si deve infatti considerare la contemporaneità di molte fasi costruttive concomitanti, con fornitura continua di materiali di vario tipo e grande affollamento del cantiere; ciò presupponeva una perfetta organizzazione dei compiti e della logistica.