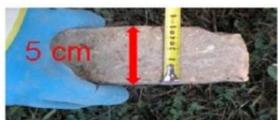




## **Tecnologia e tecnica costruttiva delle murature antiche (romane). La concezione strutturale degli organismi in muratura con riferimento al costruito storico**



**Prof. Ing. Enrico Quagliarini\*, Ing. Quintilio Piattoni**  
*Dipartimento di Architettura, Costruzioni e Strutture (DACS)*

\* Ph. n.: +39-071-2204248; e-mail: [e.quagliarini@univpm.it](mailto:e.quagliarini@univpm.it)

# 1. TIPOLOGIE DI MURATURA

Si intende per **muro** l'insieme di elementi pesanti di varia natura (pietra, laterizio) generalmente collegati tra loro mediante un legante [1].

In base ai materiali costituenti si hanno [1]:

- muri in pietra da taglio;
- muri in pietrame in conci irregolari;
- muri di blocchi di tufo;
- muri misti di pietrame e laterizio;
- muri di calcestruzzo.

In base alla posizione i muri si possono distinguere in [1]:

- muri in fondazione;
- muri in elevazione.

In base alla tecnica di esecuzione si può distinguere [1]:

- muri a secco, quando non vengono impiegate malte per cementare i vari elementi;
- muri con malte, i muri propriamente detti;
- muri di getto, realizzati con conglomerati entro cavità del terreno o con casseformi.

## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.1 MATERIALI

#### MATERIALI NATURALI [2]

- Terra
- Legno
- Pietrame grezzo  
(alluvionale e di frantumazione)
- Pietrame lavorato  
(blocchi in pietra squadrata)

#### MATERIALI ARTIFICIALI [2]

- Laterizi  
(mattoni, tegole, manubriati,...)
- Malta
- Calcestruzzo

L'impiego di un materiale piuttosto che di un altro dipende dalla disponibilità in loco o in sua prossimità dello stesso; ciò non esclude che per strutture di una certa rilevanza si siano impiegati materiali reperiti al di fuori del territorio di costruzione [2].

La tipologia di materiale impiegato è funzione sia delle **condizioni economiche** nell'epoca di costruzione e sia della **tradizione costruttiva locale**; l'impiego di materiali "poveri" non sempre può essere relazionato a contesti socio-economici di modesto livello.

## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.1.1 MATERIALI NATURALI: LA TERRA



#### RUOLO DELLE FIBRE:

- riducono la fessurazione da ritiro;
- alleggeriscono il materiale;
- incrementano la resistenza a trazione.



#### RUOLO DELLA SABBIA

- Migliora la lavorabilità dell'impasto.

In epoca romana furono impiegati i mattoni in terra (lateres crudi); essi erano fatti con argilla e sabbione e dovevano essere fabbricati in autunno o in primavera in modo da asciugare lentamente. La tipologia impiegata era denominata lidio (circa 1 piede x 1,5 piedi = 30 cm x 45 cm ed alto 11 cm).

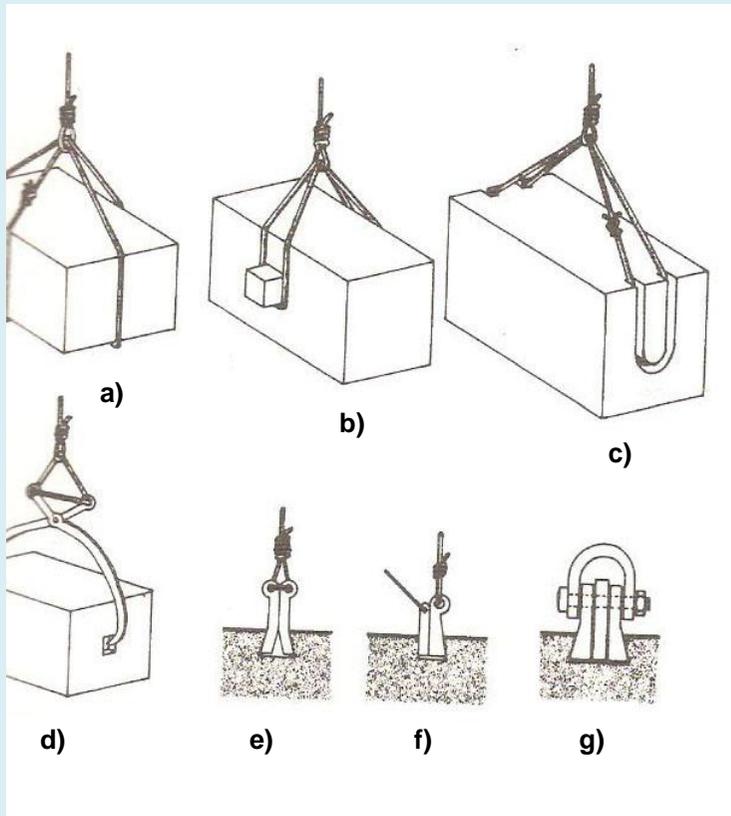


## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.1.2 MATERIALI NATURALI: LA PIETRA

La pietra impiegata nelle costruzioni storiche o antiche poteva essere [2]:

- **pietra grezza**: **alluvionale** (di forma tondeggiante) o **di frantumazione** (a spigoli vivi);
- **pietra lavorata**: blocchi di **pietra abbozzata** o **squadrata**.



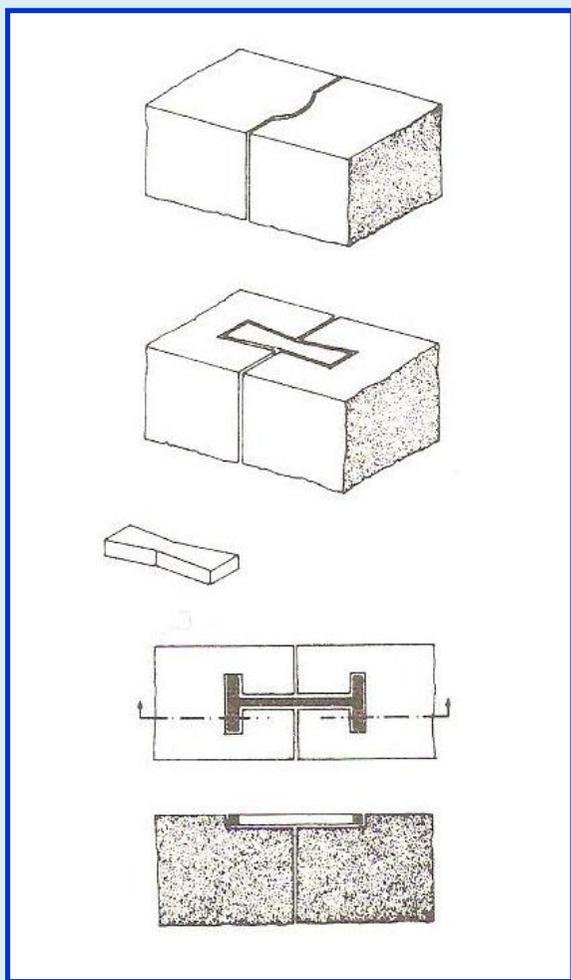
Il blocchi di pietra erano staccati dal banco, quindi si procedeva con la regolarizzazione parziale della superficie (sbozzatura); in cantiere si procedeva con l'ulteriore rifinitura.

Si potevano impiegare diverse tecniche per il sollevamento dei conci [3]:

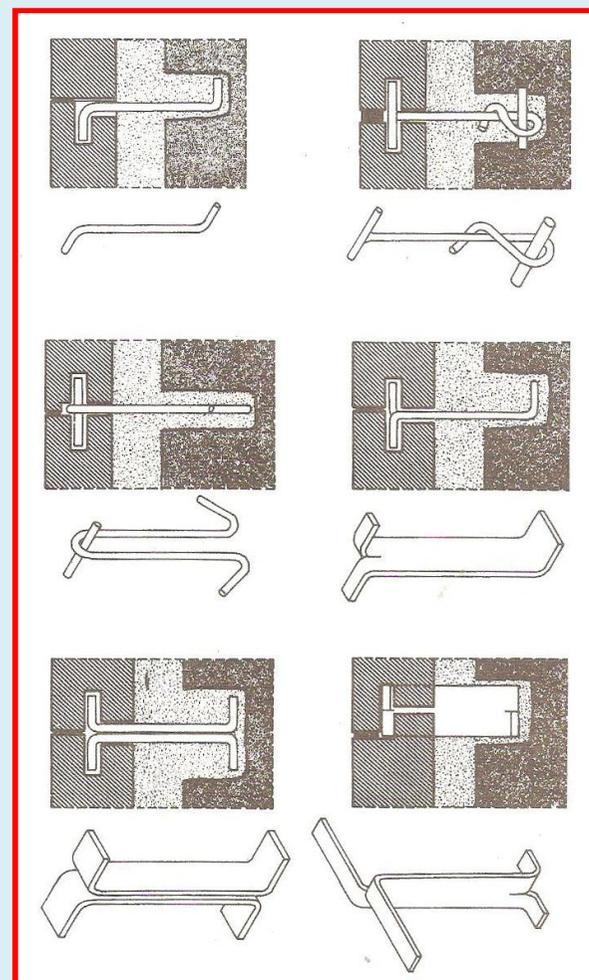
- imbracatura;
- aggancio delle funi alle sporgenze del concio;
- aggancio delle funi entro incastri ad U;
- forbice a tenaglia;
- altro tipo di forbice;
- ulivella a 2 elementi;
- ulivella a 3 elementi.

## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.1.2 MATERIALI NATURALI: LA PIETRA



**Collegamento  
dei conci in  
pietra mediante  
incastri e grappe  
metalliche [3]**



**Collegamento delle  
lastre in pietra al  
muro mediante  
zanche [3]**

## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.1.2 MATERIALI NATURALI: LA PIETRA

I Romani facevano grande attenzione all'affinità del pietrame con la calce impiegata; Vitruvio afferma che la muratura migliore si otteneva con la stessa tipologia di pietra impiegata per ricavare la calce. Questo avveniva per le costruzioni di un certo impegno [2].

L'uso di una tipologia di pietra in una muratura nella maggior parte dei casi è legata alla disponibilità in loco della stessa [2].

Una ricerca precisa di particolari pietrami si ebbe solo per strutture particolarmente specializzate (es. cisterne) [2].

Opportunità di risparmio hanno sempre spinto tuttavia all'impiego di materiali di seconda scelta e di reimpiego. Il fenomeno del riuso di materiale derivante dalla demolizione o dalla spoliazione delle preesistenze, fu un fenomeno diffuso anche nell'antichità [2].

## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.1.2 MATERIALI NATURALI: LA PIETRA

Se veniva prestata attenzione alla edificazione delle murature, i materiali a peso specifico più alto erano collocati nelle zone inferiori (fondazioni e piano terreno) mentre salendo di livello si assottigliavano i muri e si mettevano in opera pietre più leggere [2].

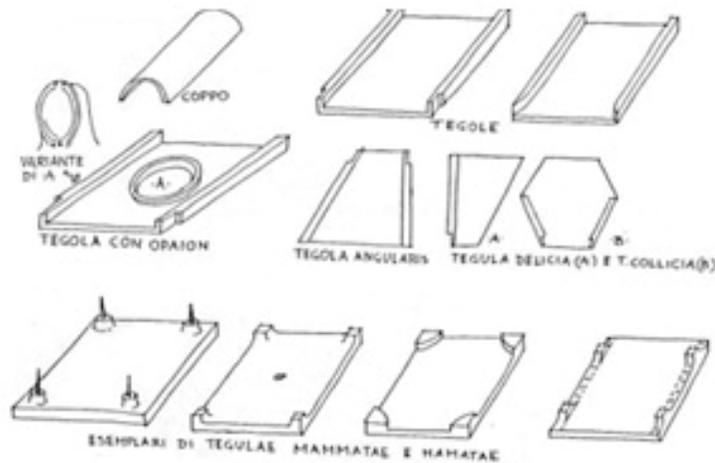
Nell'antichità venivano impiegate le seguenti tipologie di pietre [2]:

- **argillose** (ardesie): mediocri per i setti portanti venivano impiegate per pavimenti e per rivestimenti parietali;
- **calcaree** (travertini, marmi, pietre di monte, dolomiti): adatte per ricavarne calce, quelle più porose furono impiegate anche come pietrame per il conglomerato;
- **gessose**: inadatte per la costruzione di murature venivano impiegate per ricavarne il gesso;
- **silicee** (arenarie, ...): ebbero largo impiego nella realizzazione delle murature;
- **tufi**: usati dove presenti per realizzare le murature vista la facilità di lavorazione.

Materiale	Stato	Peso in kg × mc
Ardesia		2.100/2.670
Argilla	asciutta	2.000/2.670
Argilla	appena cavata	2.670
Calcarei leggeri		1.900/2.300
Calcarei compatti		2.300/2.700
Calcarei tufacei		1.200/2.000
Ghiaie ( <i>glarea</i> )	in mucchio	1.550/1.800
Gneiss		2.600/2.800
Graniti		2.600/2.800
Marmi saccaroidi		2.600/2.800
Pietrisco da inghiainare ( <i>murices, glarea per rudus?</i> )	in mucchio	0.5 (del peso 0.6 della pietra)
Pietrame da muratura ( <i>caementa</i> )		
Pomice ( <i>pumex, spongia</i> )	asciutta	500/700
Porfido		2.400/2.800
Pozzolana ( <i>pulvis puteolanus</i> )		
— di Pozzuoli	asciutta	950/1.040
— di Roma	asciutta	1.120/1.150
Puddinghe		2.300/2.400
Sabbia fine ( <i>harena</i> )	asciutta	1.400/1.650
Sabbia fine	umida	1.900/2.000
Sabbia grossa ( <i>sabulum?</i> )	asciutta	1.350/1.500
Spugna vulcanica ( <i>spongia</i> )		600/700
Terra silicea leggera	asciutta	1.300/1.400
Terra silicea forte	asciutta	1.700/2.000
Terra ghiaiosa	asciutta	1.400/1.700
Travertino ( <i>lapis tiburtinus</i> )		2.200/2.500
Trachiti		2.400/2.800
Tufi vulcanici: Aniene ( <i>lapis pallens</i> ); Monteverde ( <i>tofus ruber, saxum rubrum</i> ); Grotta Oscura; Fidene; tufo sabazio, cimino, vulsinio, no- cerino		1.100/1.800
Tufi Vulcanici: peperino di Albano, di Gabi		2.400/2.600

## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.1.3 MATERIALI ARTIFICIALI: I LATERIZI



I primi esempi di cortina laterizia furono confezionati con frammenti di tegole (età cesariana ed augustea) e furono proceduti da strutture di tegole intere con malta di argilla [2].



## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.1.3 MATERIALI ARTIFICIALI: I LATERIZI



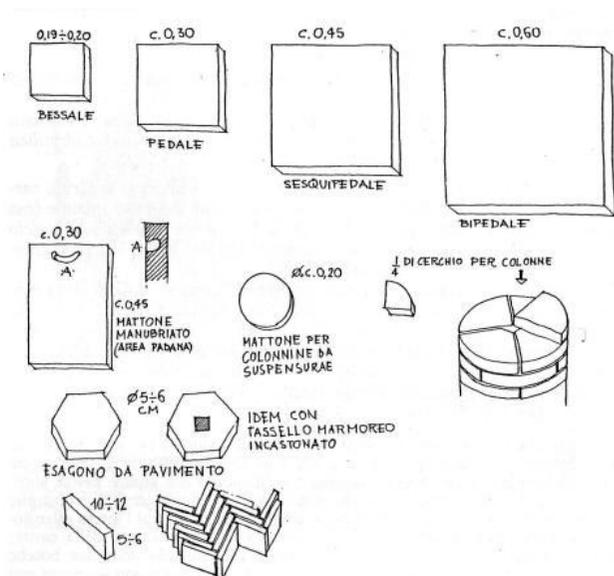
55 cm

40 cm

I laterizi erano fabbricati a partire dall'argilla impastata con acqua e l'impasto veniva compresso a mano in uno stampo in legno generalmente di forma quadrata [2]:

- Sesquipedale (lato di circa 45 cm)
- Bipedale (lato di circa 60 cm).

Altre tipologie erano rappresentate dai manubriati e dai laterizi a forma di quarto di cerchio [2].



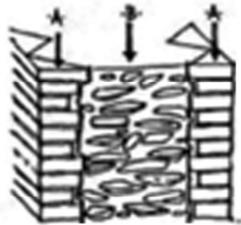
## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.1.3 MATERIALI ARTIFICIALI: I LATERIZI

I laterizi venivano cotti nella fornace ad una temperatura di circa 800°C; la loro qualità dipendeva dall'impasto e dalla cottura. Dalla cottura in funzione della temperatura di cottura si potevano ottenere diverse qualità di mattoni che, con i termini fornaciai comuni, si possono definire [2]:

- ferriolo: troppo cotto, legava male con la malta. Poteva essere impiegato nelle fondazioni o in pezzi nei nuclei murari.
- forte: rappresentava la qualità migliore da impiegarsi per i punti di maggiore sollecitazione nelle murature.
- dolce: di qualità discreta, era adatto alle cortie esterne.
- albasio: di colore molto chiaro e non veniva impiegato in murature portanti.

**I Romani generalmente impiegavano i mattoni interi o li riducevano, con la martellina, in forma triangolare [2].**



CORTINA DI  
LATERIZI VISTA  
DALL'INTERNO



## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.1.4 MATERIALI ARTIFICIALI: LA MALTA

**PASTA = LEGANTE + ACQUA**

**MALTA = SABBIA + LEGANTE + ACQUA**

Nell'antichità si riscontra sia la malta di terra, in cui le proprietà "leganti" erano affidate all'argilla, che quella di calce. In epoca romana si riscontrano entrambi gli usi e non sempre la scelta è dettata solo da ragioni economiche, ma anche dalla tradizione costruttiva locale.

Diversi tipi di legante:

- Gesso;
- Calce aerea;
- Calce idraulica;

Dai manuali storici si apprende anche l'uso di additivi naturali o artificiali.

## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.1.4 MATERIALI ARTIFICIALI: LA MALTA

La **calce aerea** viene ottenuta a partire dalla pietra calcarea pura (carbonato di calcio)



La calce aerea (calce spenta) è in grado di far presa e di indurire solo a contatto con l'aria:



La **calce idraulica** viene ottenuta a partire dalla pietra calcarea non pura o dal calcare marnoso. La presenza di impurezze argillose nel calcare, quindi la presenza di silice ed allumina, conferisce delle proprietà idrauliche alla calce, ossia la presa e l'indurimento avvengono anche in assenza d'aria e sott'acqua.

I Romani non conoscevano l'uso della calce idraulica, ma confezionavano la malta idraulica ricorrendo ad aggiunte naturali (pozzolana) o artificiali (polvere di laterizio) [2]. L'uso consapevole della calce idraulica nel Rinascimento.

## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.1.4 MATERIALI ARTIFICIALI: LA MALTA

#### La malta idraulica

Nell'antichità si realizzava la malta idraulica mescolando alla calce aerea la pozzolana o la polvere di laterizio [2].

Nel Medio-Evo si perde l'uso sistematico della pozzolana fino a quando non si scopre nel Rinascimento che dalla cottura del calcare marnoso si ottiene calce idraulica da impiegare per produrre malta idraulica.

#### Altre “malte” [2]

In alcune fonti storiche (Plinio) si apprende che spesso con il termine malta in epoca romana, non si intendeva solo la malta comune ma anche un impasto che poteva comprendere oltre alla sabbia ed al legante, anche sostanze organiche quali la caseina, l'olio, la cenere, ...

## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.1.5 MATERIALI ARTIFICIALI: IL CALCESTRUZZO

#### **CALCESTRUZZO = GHIAIA + SABBIA + LEGANTE + ACQUA**

In **epoca romana** la sua composizione viene descritta da Vitruvio [2]:

*“Structura ex caementis calce et harena (**sabbia**); genus pulveris (**pozzolana**) mixtum cum calce (**calce aerea**) et caemento (**frammenti di pietra**)” ed **acqua**.*

In epoca medioevale il calcestruzzo si realizzava con ghiaia (di frantumazione o alluvionale), sabbia, calce (aerea o idraulica), acqua.

Oggi il calcestruzzo si realizza con ghiaia (di frantumazione), sabbia, cemento, acqua.

Il **cocciopesto** è un impasto di **calce, sabbia o pozzolana e frammenti di laterizio**. Aveva caratteristiche idrauliche favorite sia dalla pozzolana sia dai frammenti minuti di laterizi che mescolati alla calce conferivano proprietà idrauliche alla malta. Veniva impiegato per il rivestimento parietale nei luoghi umidi e come sottofondo pavimentale [2].

L'**opus signinum** è un conglomerato che viene citato dalle fonti storiche quasi sempre in connessione con strutture idrauliche. Esso veniva confezionato con **calce, sabbia, pietrame duro (pietra silicea) di piccola pezzatura ed acqua** [2].

## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.2 TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE STRUTTURE DI ELEVAZIONE

Possiamo in via generale distinguere tra due categorie di tecnica costruttiva muraria [4]:

- quella della **tradizione popolare**;
- quella della **tradizione colta**.

Le tecniche costruttive delle strutture di elevazione in epoca altomedioevale riprendono spesso le tecniche costruttive di epoca romana, ma non sempre con la stessa perizia costruttiva. Infatti in epoca medioevale si assiste talvolta ad un impoverimento della qualità costruttiva anche per ragioni economiche.

*Le tipologie murarie proprie del mondo romano costituiscono un riferimento anche per molte muraure medioevali.*

## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.2.1 TECNICHE COSTRUTTIVE DELLA TRADIZIONE POPOLARE



Alla tradizione popolare possiamo attribuire quelli che furono detti **muri formacei**, costruiti con terra argillosa vigorosamente pigiata tra casseforme. Altro uso dell'*argilla cruda* comporta la costruzione di mattoni essiccati al sole; sono i cosiddetti lateres citati da Vitruvio ed usati sin dai Romani [4].



A tale tecnica costruttiva bisogna affiancare quella della **macera**, ossia della muratura costituita da *pietre grezze accostate senza legante* [4].



## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.2.1 TECNICHE COSTRUTTIVE DELLA TRADIZIONE POPOLARE

#### Murature di tegole integre alternate a frammenti

All'epoca di Cesare e di Augusto [2] si impiegarono tegole intere allettate con malta di terra o di calce e frammenti delle stesse, unitamente a frammenti di manubriati (a) in modo da ottenere dei paramenti regolari (b).

Un setto del I secolo a.C.



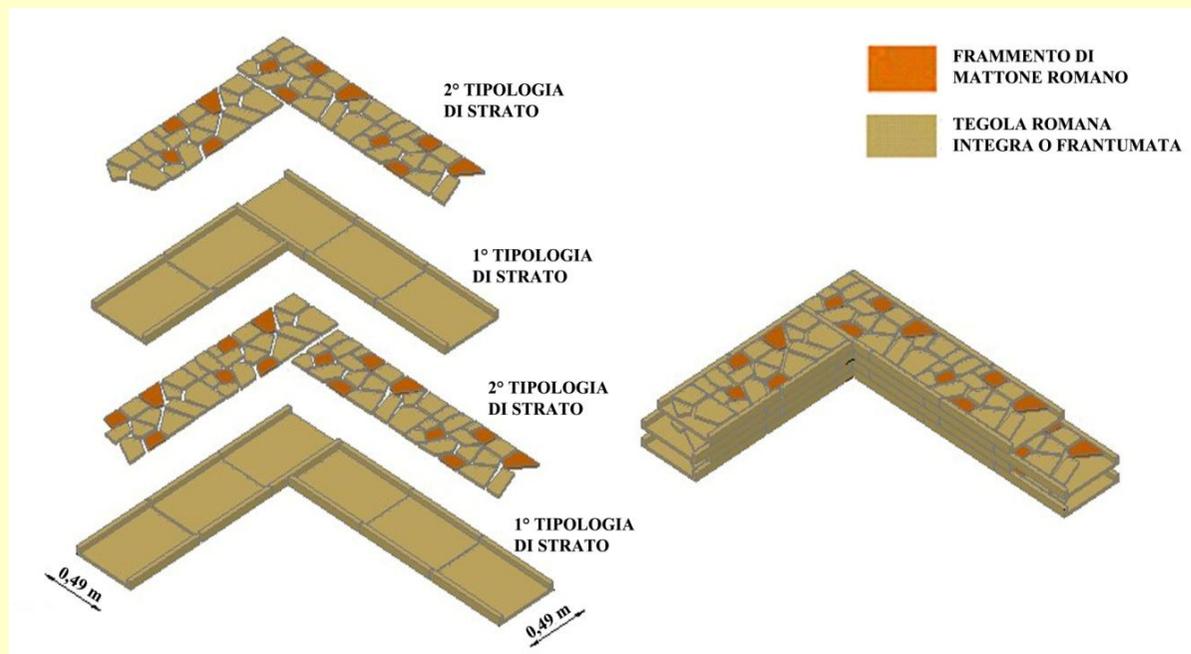
## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.2.1 TECNICHE COSTRUTTIVE DELLA TRADIZIONE POPOLARE

#### Murature di tegole integre alternate a frammenti

La tecnica costruttiva si basa sulla disposizione dei laterizi per letti orizzontali, alternando due tipologie di strati: una prima di tegole intere, la cui larghezza corrisponde allo spessore del muro, con alette in paramento, ed una seconda tipologia costituita da frammenti di tegole e di manubriati; il secondo tipo di strato è contenuto all'interno dello spazio delimitato dalle alette del primo filare. Per allettare gli strati e per riempire i vuoti tra i frammenti si impiegava malta di terra o di calce.

Anche per garantire un buon ammorsamento in corrispondenza dell'angolo del setto, gli strati di tegole intere sono stati posizionati sfalsati lungo la verticale. Tale tecnica costruttiva impiega oltre ai frammenti di tegole, così come descritto anche da Vitruvio, anche le tegole intere, sfruttando le alette esterne per dare regolarità ai paramenti esterni.



## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.2.1 TECNICHE COSTRUTTIVE DELLA TRADIZIONE POPOLARE

#### **Murature di manubriati**

Tale parte superstite del setto originario presenta alcuni strati di manubriati impiegati integri, disposti con il lato più lungo nel senso delle spessore murario, pari a circa 45 cm, e sfalsando i filari di circa metà della larghezza dei manubriati, ossia di circa 15 cm.



## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.2.2 TECNICHE COSTRUTTIVE DELLA TRADIZIONE COLTA

**L'OPERA POLIGONALE (*opus siliceum*):** diffusa nell'Italia centrale fino al II secolo a.C., consiste nella sovrapposizione di massi in pietra non lavorati, anche di notevoli dimensioni, senza ausilio di leganti, grappe o perni. Veniva utilizzata per mura di terrazzamento, contenimento di terrapieni e per mura con scopi difensivi.

Vi sono diverse tecniche costruttive in opera poligonale:

- 1) i massi sono utilizzati come trovati in natura, senza lavorazioni, con ampi interstizi riempiti da schegge e frammenti di ricalzo.
- 2) i massi vengono scelti con maggior cura e subiscono una grossolana lavorazione, soprattutto sui piani di posa e sulla faccia in vista.
- 3) la pietra viene lavorata, in modo che le superfici di contatto coincidano perfettamente, senza interstizi; sulla faccia in vista sono perfettamente piani, di forma poligonale si adattano perfettamente gli uni agli altri. Si cura che i piani di posa non siano troppo accentuatamente inclinati.
- 4) i piani di appoggio tendono a divenire orizzontali, pur restando discontinui, e i blocchi tendono ad assumere una forma parallelepipeda.



<http://www.culturalazio.it>



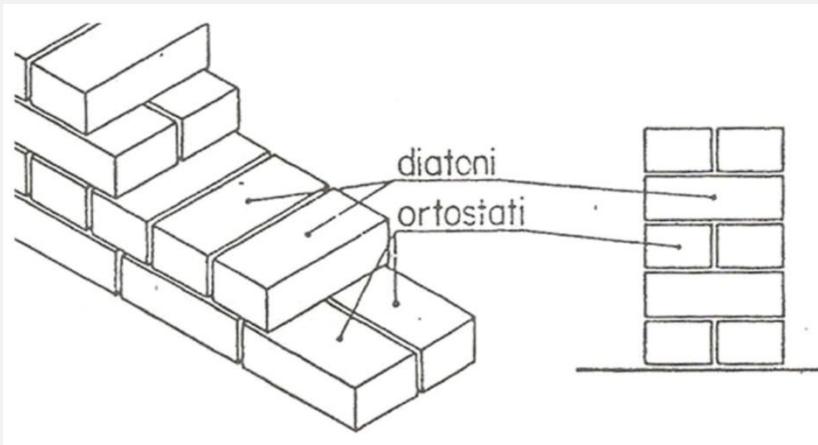
<http://www.wikipedia.it>

## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.2.2 TECNICHE COSTRUTTIVE DELLA TRADIZIONE COLTA

La tecnica costruttiva della tradizione colta presenta innanzitutto la muratura in pietra squadrata, ossia l'**opus quadratum** dei Romani e la **muratura isodoma** che Vitruvio attribuisce ai costruttori greci. In ambito romano la tecnica viene utilizzata già a partire dal VI secolo a.C. e si affina progressivamente, con una maggiore regolarità del taglio e una disposizione più articolata dei blocchi. L'uso continua anche dopo l'introduzione del cementizio per tutta l'età imperiale, affiancato alle altre tecniche.

Tale muratura è costituita da due ordini di pietre, ossia gli **ortostati**, blocchi parallelepipedi posti con il loro lato più lungo nello sviluppo longitudinale del muro, ed i **diatoni**, con il lato più lungo disposto lungo lo spessore del muro. La tessitura muraria dell'**opus quadratum** è a filari orizzontali, avendo cura di disporre i giunti in modo sfalsato. La costruzione di tale muratura segue regole geometriche rigorose sia per quanto concerne la preparazione degli elementi in pietra che per la loro disposizione [4].



<http://www.assisimuseodiocesano.com>

## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

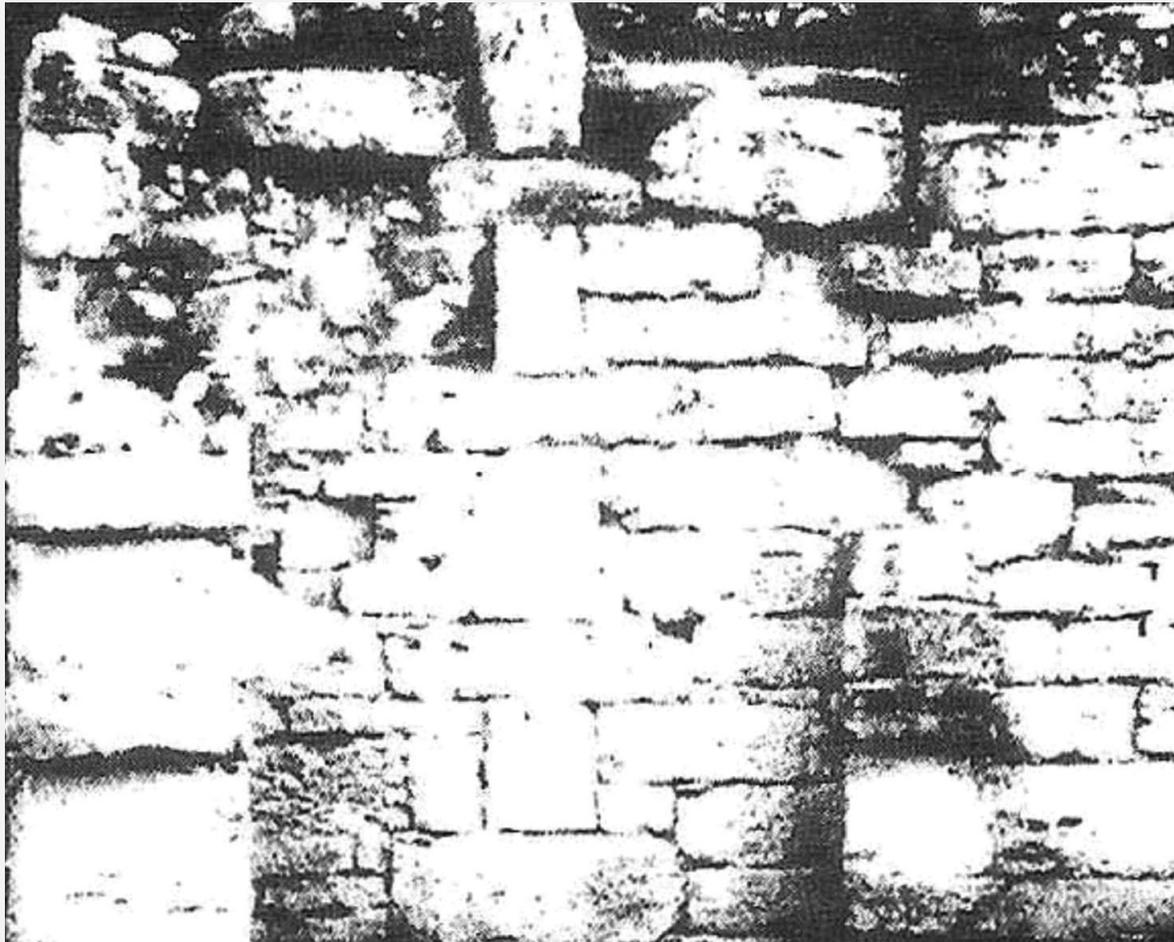
### 2.2.2 TECNICHE COSTRUTTIVE DELLA TRADIZIONE COLTA

#### ***Opus africanum* [4]:**

paramento nel quale si alternano pietre verticali e orizzontali.

Generalmente le grosse pietre venivano disposte verticalmente in corrispondenza dei carichi concentrati trasmessi dalle travi del tetto.

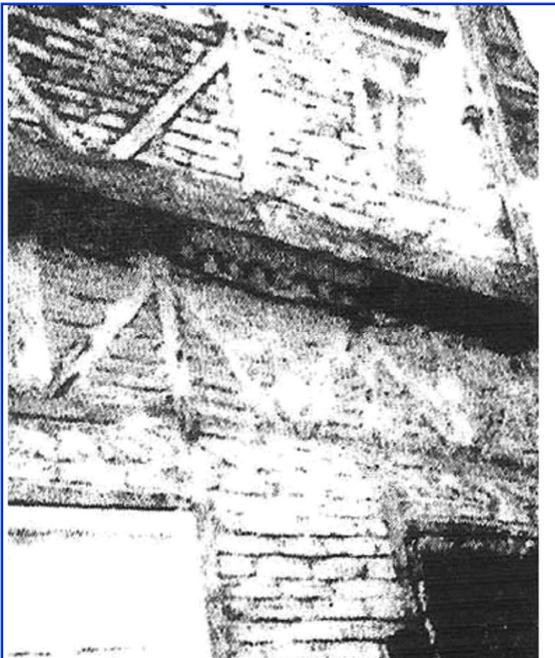
Venne utilizzata in Africa Settentrionale dal IV secolo a.C. e nelle città greche della Sicilia.



## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.2.2 TECNICHE COSTRUTTIVE DELLA TRADIZIONE COLTA

Un altro esempio di struttura muraria che si discosta dall'opus quadratum è quella dell'**opus craticium** [4]. L'intelaiatura in legno era forse, come afferma Vitruvio, un modo sbrigativo di mettere insieme una struttura muraria senza la cura richiesta dall'opus quadratum. Un muro di riempimento acquistava qualità dalle connessioni orizzontali e verticali ottenute con i telai lignei.



Tale tecnica costruttiva appare in tutta Europa, migliorata per la presenza di irrigidimenti diagonali, ma sempre costituita da una struttura portante in legno e da un riempimento murario scarsamente resistente [4].

## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.2.2 TECNICHE COSTRUTTIVE DELLA TRADIZIONE COLTA

In epoca romana si diffuse la muratura in concrezione, nella quale veniva razionalizzata la posa di malta e di pietrisco tra due paramenti esterni.

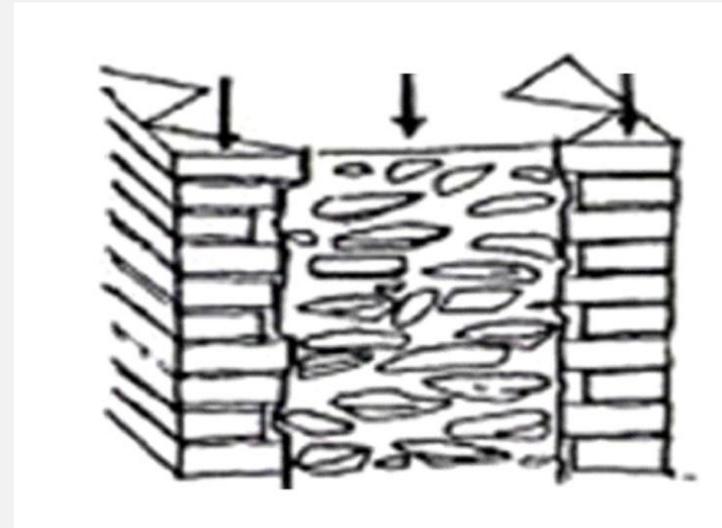
Le facce esterne del muro, dall'**opus incertum**, all'**opus reticulatum**, all'**opus testaceum**, furono sempre intese come la cassaforma per la costruzione della concrezione interna, realizzata ponendo a strati successivi prima i *caementa*, pietre di circa 10 cm di dimensione media, e poi la *materia*, malta di calce resa idraulica mediante la pozzolana [2].

I paramenti esterni potevano essere realizzati in:

**Opera incerta (*opus incertum*)**

**Opera reticolata (*opus reticolatum*)**

**Opera laterizia (*opus testaceum* e *opus latericium*)**



## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.2.2 TECNICHE COSTRUTTIVE DELLA TRADIZIONE COLTA

L'**opera incerta** (*opus incertum*) è una tecnica edilizia romana che riguarda il modo in cui viene realizzato il paramento di un muro in opera cementizia.

A Roma e nei dintorni fu utilizzata soprattutto dagli inizi del II secolo a.C., fin poco dopo la metà del I secolo a.C., ma può essere presente anche in epoca successiva in costruzioni private di non grande impegno e per i terrazzamenti.

Inizialmente consisteva in una disposizione più accurata sulla superficie a vista del muro dei *coementa* (schegge di pietra e sassi mescolati alla malta nel cementizio romano), facendo in modo che la loro superficie visibile fosse il più possibile piana. Successivamente la tecnica si è sviluppata, tendendo a livellare la superficie del muro, a ridurre lo strato di malta tra i conci e a scegliere pietre di forma e dimensioni più regolari, arrivando a spianarne la superficie a vista.



Le costruzioni in opera incerta sul fianco orientale della terrazza del santuario di Giove Anxur a Terracina (I secolo a.C.)

## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.2.2 TECNICHE COSTRUTTIVE DELLA TRADIZIONE COLTA

L'**opera reticolata** (*opus reticulatum* o *reticolatum*) è una tecnica edilizia romana tramite cui si realizza il paramento di un muro in opera cementizia.

A Roma e nei dintorni fu utilizzata soprattutto a partire dalla prima metà del I secolo a.C. ed in epoca augustea. Inizialmente consistette in una variante dell'opera incerta più evoluta, nella quale le pietre che formavano il paramento del muro venivano preparate prima della messa in opera a forma irregolarmente piramidale a base quadrata e disposte quindi con la base in vista, mentre la punta affondava nel cementizio.

Successivamente furono utilizzati *cubilia* (o più impropriamente "tufelli") con base quadrata perfettamente regolare e assolutamente uniformi, che venivano disposti in file regolari con i lati a 45° rispetto alla linea orizzontale. I lati dei *cubilia* erano separati da un leggero strato di malta.

L'effetto finale sulla parete era quello di creare un reticolo regolare disposto in diagonale.

<http://www.wikipedia.it>



*Opus reticulatum* usato in un muro esterno della Villa Adriana

## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.2.2 TECNICHE COSTRUTTIVE DELLA TRADIZIONE COLTA

L'**opera laterizia** (*opus latericium*) è una tecnica edilizia romana che riguarda il modo in cui viene realizzato il paramento di un muro in opera cementizia, mediante *lateres*, o mattoni. I mattoni (*lateres*) di forma rettangolare (circa 45 cm x 30, ossia un piede e mezzo per un piede) venivano sovrapposti alternando i giunti. Si iniziarono a produrre laterizi (mattoni) appositamente realizzati che venivano quindi spezzati lungo i solchi realizzati in superficie e impiegati in forme triangolari.

<http://www.wikipedia.it>

La tecnica fu utilizzata quindi per tutta l'età imperiale. Variano tuttavia lo spessore della malta tra un mattone e l'altro e lo spessore dei mattoni. Il modulo della cortina costituisce un indicatore per la cronologia della muratura. Variano anche colore e qualità della malta e dei mattoni.

A partire dall'epoca adrianea la muratura in laterizio si impiega anche per le ammorsature degli spigoli insieme all'opera reticolata.



*I mercati traianeî (Roma)*

## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.2.3 IL RICORSO AL MATERIALE DI REIMPIEGO

Il fenomeno del reimpiego di materiale fu diffuso anche in epoca romana, quando si utilizzavano i materiali derivanti dalla demolizione volontaria o conseguente ad eventi catastrofici naturali per realizzare le nuove edificazioni. In alcuni casi le porzioni inferiori delle strutture preesistenti venivano impiegate anche come strutture di fondazione per le nuove costruzioni.

Il ricorso all'utilizzo di materiale proveniente dalla spoliatura delle strutture andate in rovina deriva essenzialmente da motivazioni economiche; ciò non significa però che non si faceva ricorso a materiali di reimpiego anche per murature di strutture di alto livello architettonico e decorativo (domus, ...).

Il ricorso al materiale di reimpiego talvolta necessitava della attuazione di tecniche costruttive che ovviassero alla irregolarità o alla minore qualità del materiale al fine di ottenere delle murature con prestazioni strutturali accettabili, in relazione alle azioni statiche normalmente prevedibili, e con paramenti sufficientemente regolari.

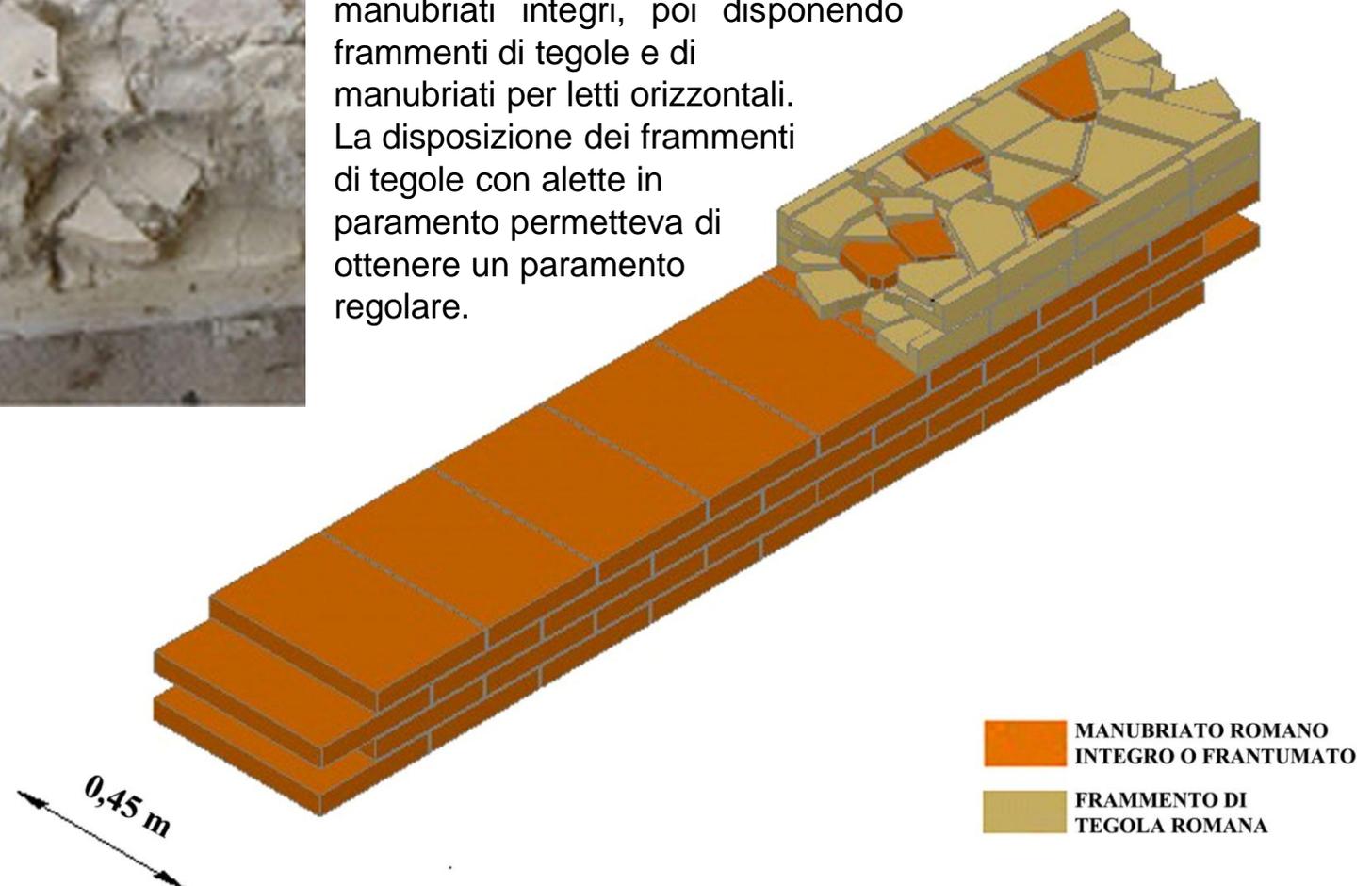
## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.2.3 IL RICORSO AL MATERIALE DI REIMPIEGO



#### Un setto del I secolo a.C.

I primi filari sono stati realizzati con manubriati integri, poi disponendo frammenti di tegole e di manubriati per letti orizzontali. La disposizione dei frammenti di tegole con alette in paramento permetteva di ottenere un paramento regolare.

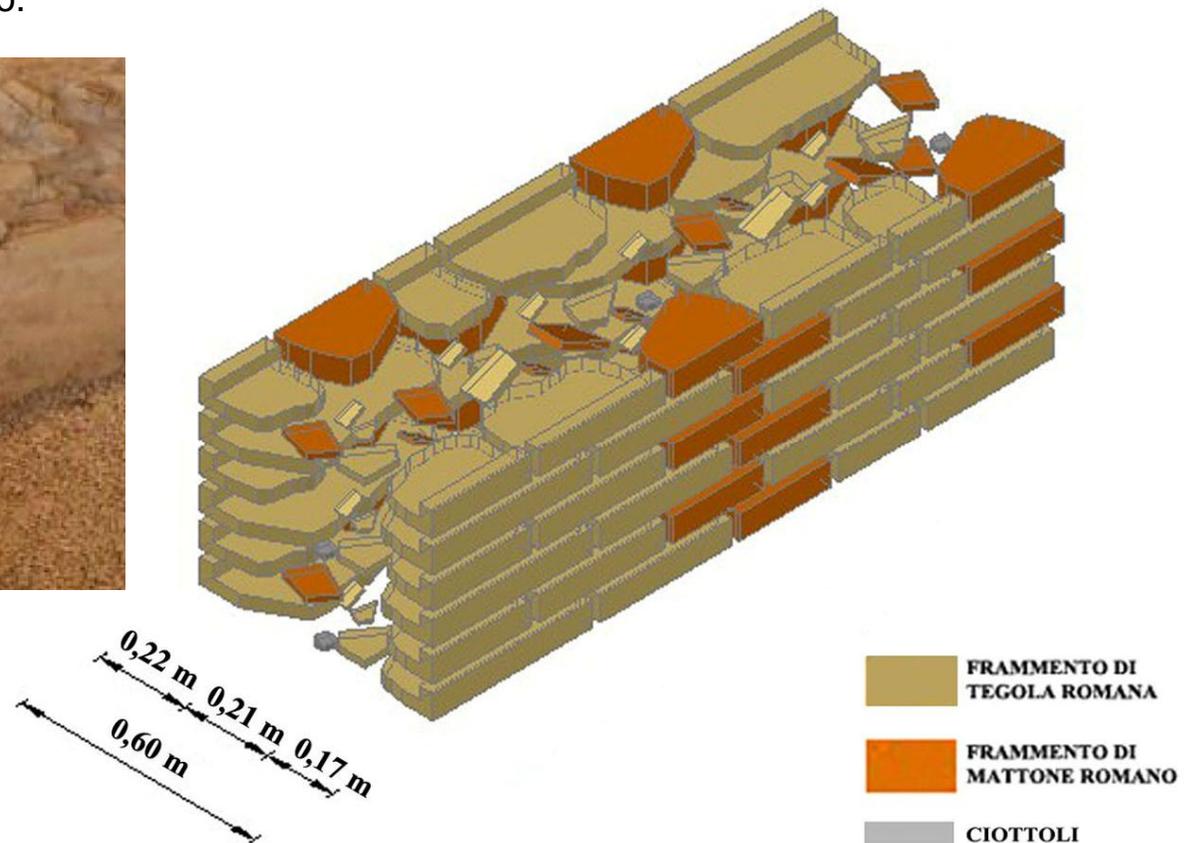


## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.2.3 IL RICORSO AL MATERIALE DI REIMPIEGO

#### Un setto del II secolo d.C.

I frammenti di tegole e di manubriati perlopiù di reimpiego vengono impiegati per realizzare i paramenti esterni che fungono da cassaforma per il riempimento interno con conglomerato e frammenti di laterizio.



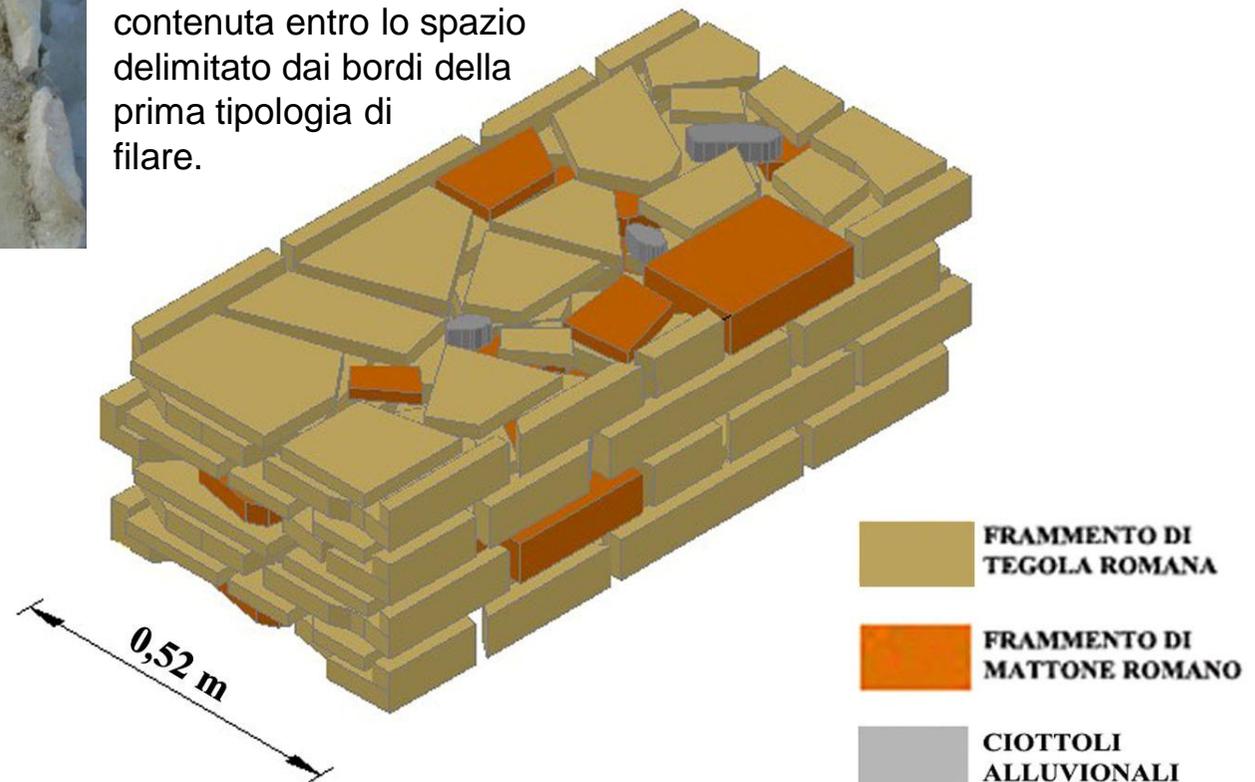
## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.2.3 IL RICORSO AL MATERIALE DI REIMPIEGO



#### Un setto del II secolo d.C.

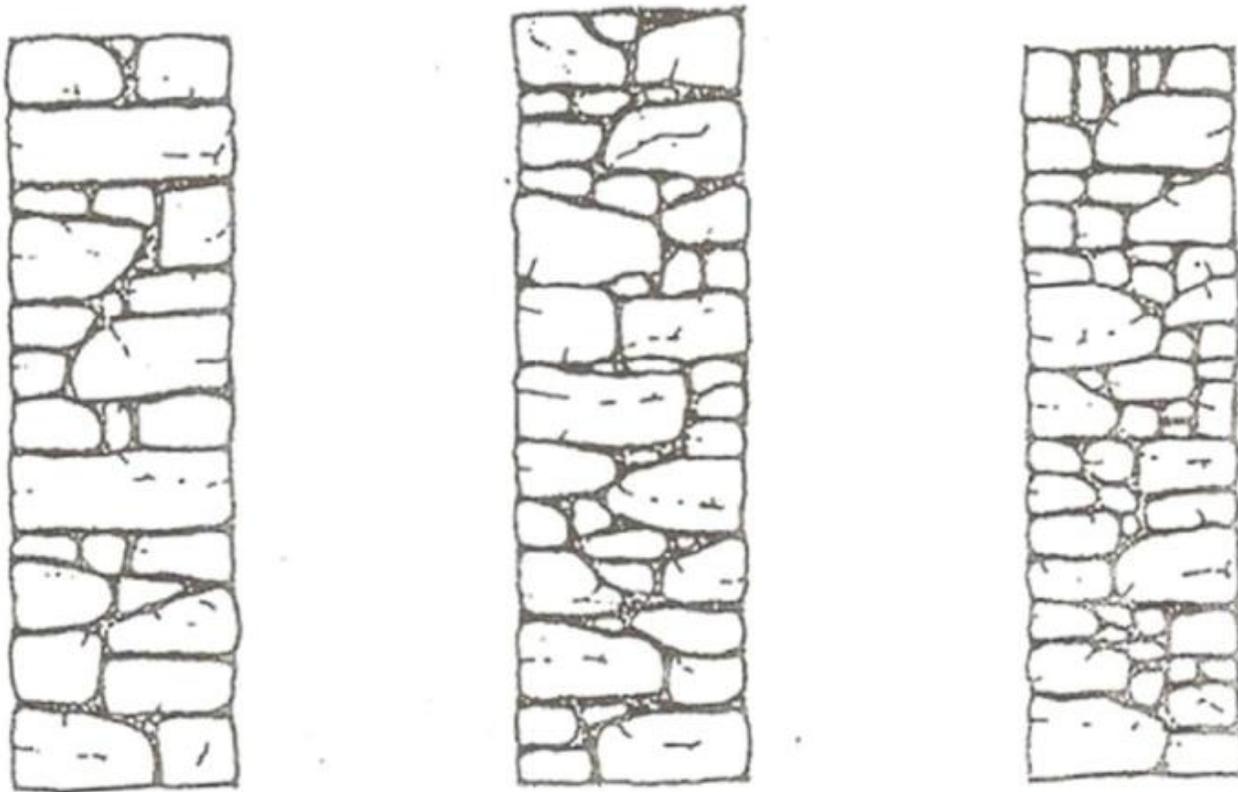
I frammenti di tegole e di manubriati vengono impiegati per realizzare una muratura a filari orizzontali, alternando due tipologie di strati. La prima tipologia con frammenti di tegole con alette in paramento e la seconda tipologia di strato contenuta entro lo spazio delimitato dai bordi della prima tipologia di filare.



## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.2.4 DALLA TECNICA COSTRUTTIVA ROMANA A QUELLA MEDIOEVALE

Ortigia - Siracusa  
Sezioni murarie tipo

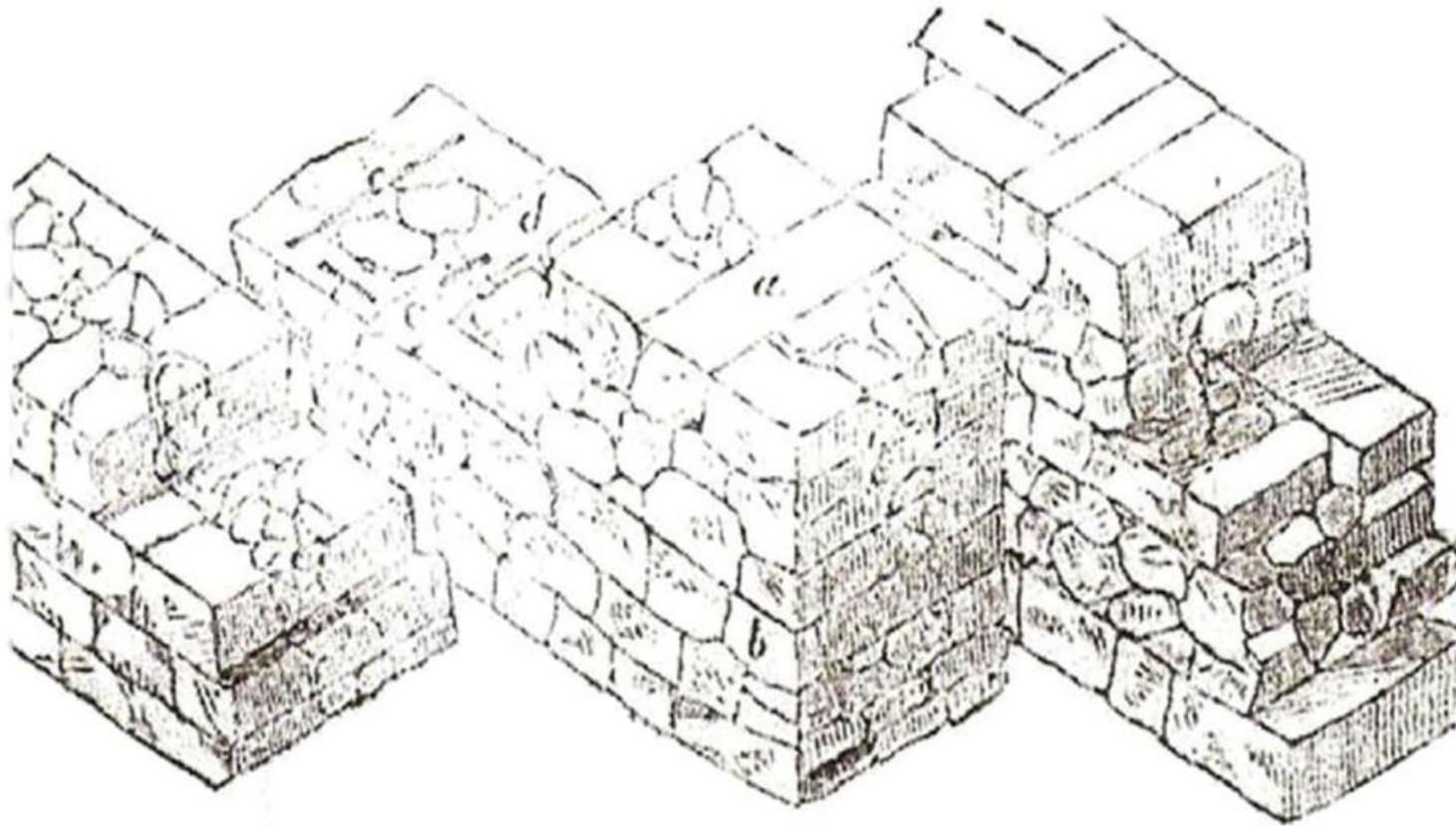


Le tecniche costruttive delle strutture di elevazione in epoca medioevale [4] riprendono spesso le tecniche costruttive di epoca romana, ma non sempre con la stessa perizia. Infatti in epoca medioevale si assiste talvolta ad un impoverimento della qualità costruttiva sia per ragioni economiche che di instabilità sociale.

## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.2.4 DALLA TECNICA COSTRUTTIVA ROMANA A QUELLA MEDIOEVALE

Nel Medioevo si adottò talvolta una formula intermedia tra la tecnica costruttiva in blocchi di pietra squadrata e la muratura in concrezione [4]: pietre non regolarmente squadrate ma organizzate con l'aiuto della malta e di frammenti più piccoli. Queste caratteristiche indicano la volontà, in epoca medioevale, di avvicinarsi alla tecnica costruttiva dell'opus quadratum, usando però materiali spesso di non elevata qualità e manodopera non specializzata come quella impiegata in epoca romana.



## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.2.4 DALLA TECNICA COSTRUTTIVA ROMANA A QUELLA MEDIOEVALE

In epoca romanica si realizzavano murature con paramenti in pietra squadrata e riempimento in conglomerato oppure con laterizi, anche di riuso, a tutto spessore.

La tecnica costruttiva nel periodo medioevale non sempre è stata interessata da evoluzioni tese a migliorare il comportamento delle murature, nonostante gli eventi traumatici abbiano evidenziato già in passato la vulnerabilità delle tecniche costruttive impiegate.

L'uso di tecnologie povere ed il mancato impiego di accorgimenti costruttivi per migliorare il comportamento delle murature storiche testimoniano sia la diminuzione di conoscenza, in epoca medioevale, sulla tecnica edificatoria delle murature e sia le precarie condizioni economiche e sociali del tempo.

## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.2.4 DALLA TECNICA COSTRUTTIVA ROMANA A QUELLA MEDIOEVALE

Spesso si impiegava anche materiale di reimpiego di epoca romana; le preesistenze romane venivano impiegate come cave di prestito o come strutture di fondazione sulle quali erigere le costruzioni medioevali.

In particolare si può assistere al rimpiego di elementi strutturali, come ad esempio le colonne monolitiche in pietra provenienti da preesistenze romane impiegate nelle navate delle chiese romaniche, e di singoli elementi della muratura come i laterizi ed i blocchi lapidei.

Il materiale di reimpiego poteva essere utilizzato in modo diverso da quello originario, come nel caso di frammenti di laterizi e di tegole romane non più di dimensioni tali da consentire un loro utilizzo nei paramenti murari; essi potevano venir impiegati come inerte nei conglomerati delle murature a sacco oppure subivano ulteriori processi di lavorazione, come nel caso dei blocchi calcarei cotti per produrre calce.

## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.2.5 SULL'INFLUENZA DELLA TRADIZIONE COSTRUTTIVA LOCALE

Un esempio di riproposizione di una tecnica costruttiva romana in epoca romanica



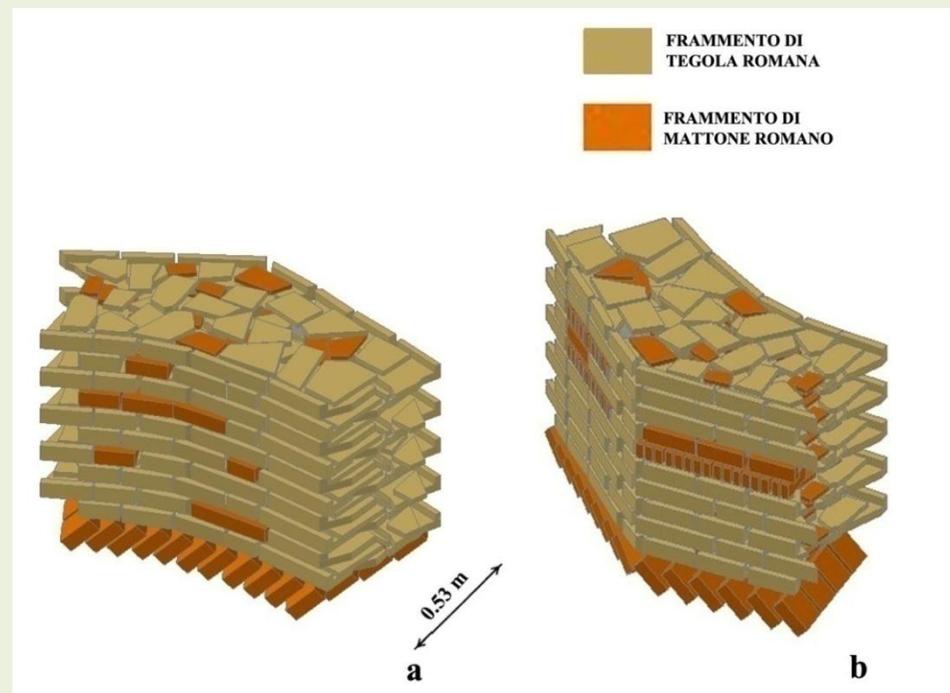
## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.2.5 SULL'INFLUENZA DELLA TRADIZIONE COSTRUTTIVA LOCALE

#### Un esempio di riproposizione di una tecnica costruttiva romana in epoca romanica



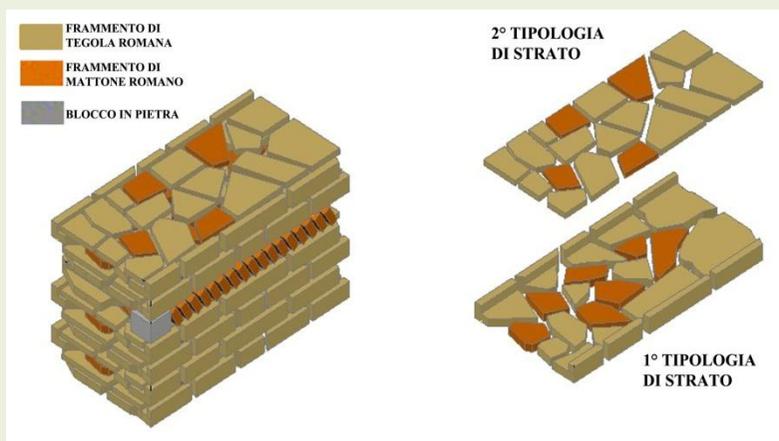
Riproposizione in epoca romanica di una tecnica costruttiva romana mediante il reimpiego di frammenti di tegole e di manubriati romani. Alternanza di due tipologie di filari: uno con alette dei frammenti di tegole in paramento e l'altro contenuto entro la prima tipologia di filare.



## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

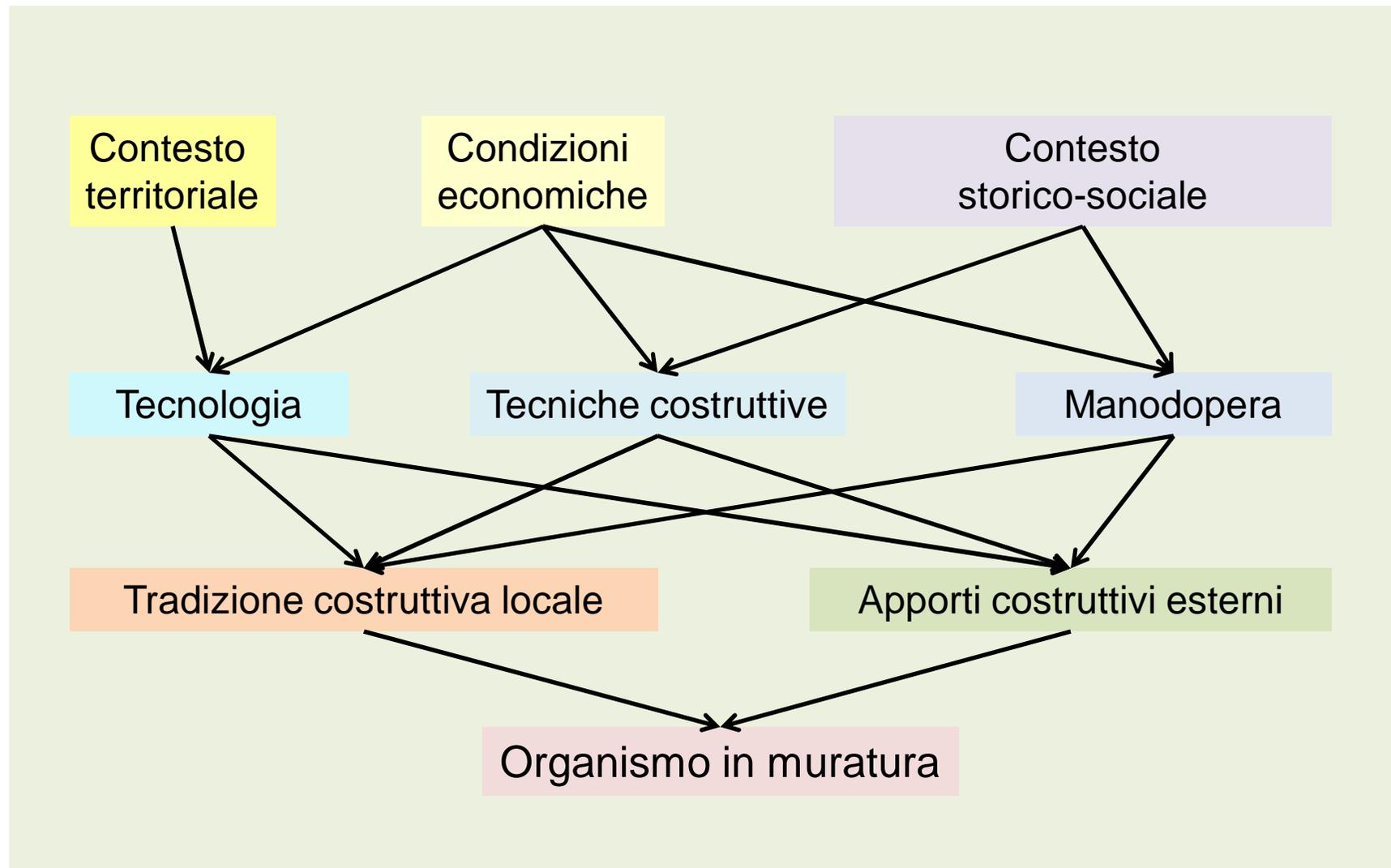
### 2.2.5 SULL'INFLUENZA DELLA TRADIZIONE COSTRUTTIVA LOCALE

#### Elementi di discontinuità con la tradizione costruttiva locale?

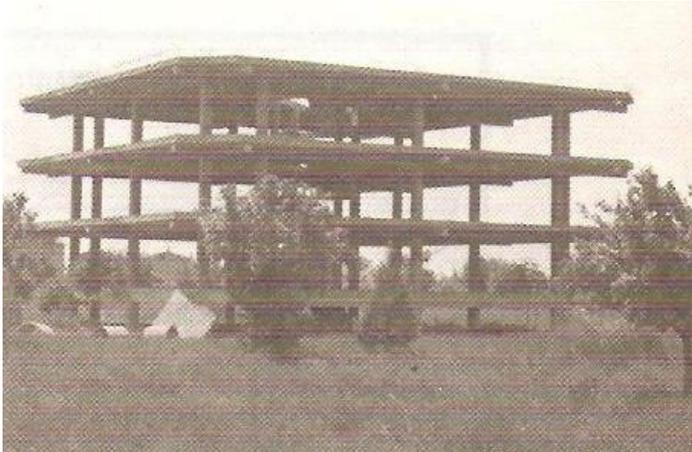


## 2. TECNOLOGIE E TECNICHE COSTRUTTIVE DELLE MURATURE ANTICHE

### 2.3 LE MURATURE STORICHE COME ELEMENTO DI SINTESI

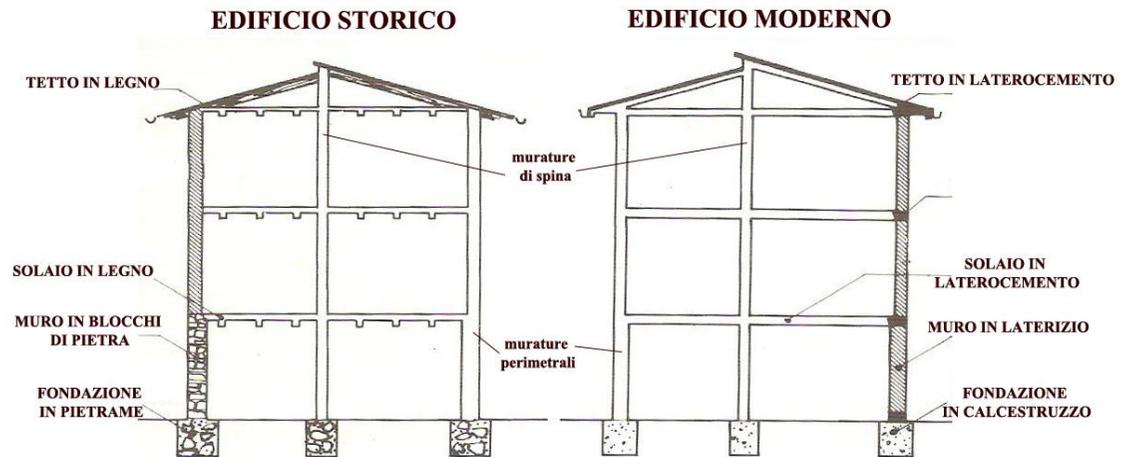


# 3. LA CONCEZIONE SCATOLARE DELLA MURATURA



Edificio con struttura a telaio

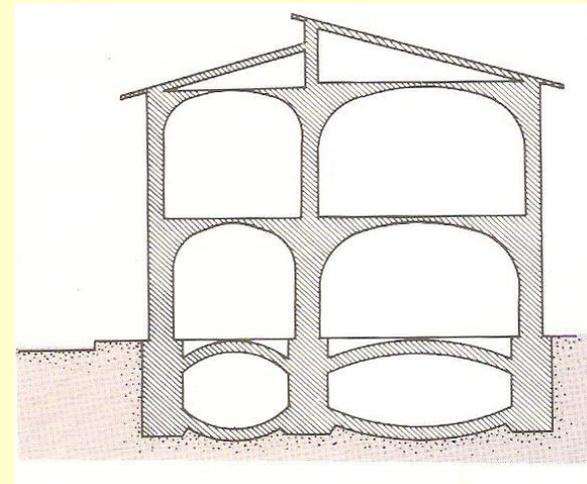
VS



Edificio con struttura a muri portanti

L'edificio in muratura deve essere concepito e realizzato come un assemblaggio tridimensionale di muri e solai, garantendo il funzionamento scatolare, e conferendo quindi un'opportuna stabilità e robustezza all'insieme [1].

Un edificio in muratura è quindi una struttura complessa, ove tutti gli elementi cooperano nel resistere ai carichi applicati [1].



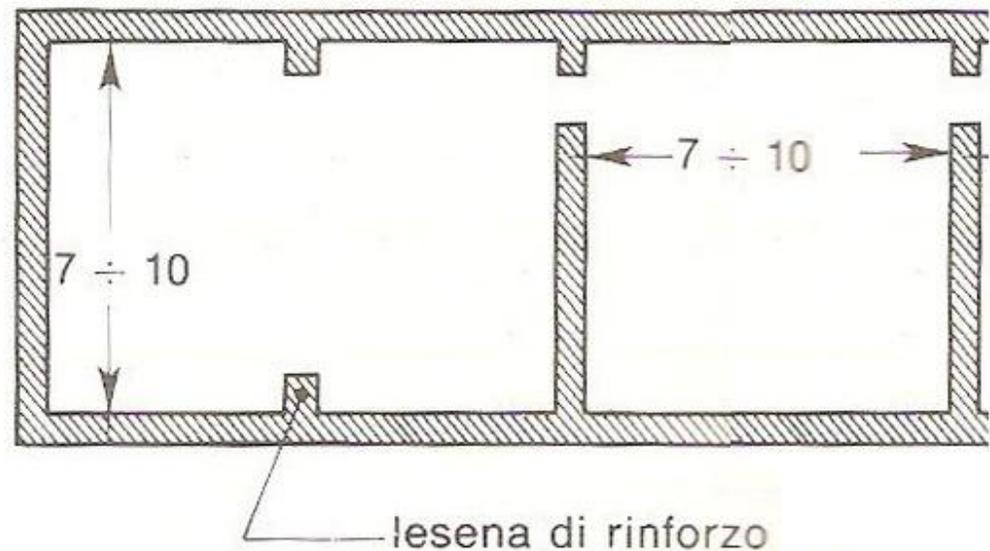
# 3. LA CONCEZIONE SCATOLARE DELLA MURATURA

Un criterio frequentemente seguito è quello di considerare l'edificio come una serie di elementi indipendenti opportunamente assemblati:

- **muri** che svolgono una **funzione portante** e/o **di controventamento**;
- **solai** sufficientemente rigidi e resistenti per ripartire le azioni tra i muri di controventamento (**azione di diaframma**).

I muri portanti fungono da controvento in direzione parallela alla lunghezza, in modo tanto più efficace quanto più sono lunghi in pianta.

- La stabilità alle azioni orizzontali richiede muri disposti secondo almeno due direzioni ortogonali.
- La capacità dei muri di resistere alle azioni orizzontali è favorevolmente influenzata dalla presenza di forze verticali stabilizzanti (in particolare per i muri non armati).



Per limitare la luce libera tra i setti e contribuire all'irrigidimento dei setti talvolta vengono impiegate le **lesene di rinforzo** (ingrossamenti della sezione muraria).

### 3. LA CONCEZIONE SCATOLARE DELLA MURATURA

Si riconosce quindi che lo **schema cellulare**, in cui tutti i muri strutturali hanno funzione portante e di controventamento, è quello più **efficiente dal punto di vista statico**, e che meglio realizza un effettivo comportamento di tipo scatolare.

La resistenza dei muri a forze agenti nel piano del muro è molto maggiore rispetto a quella rispetto a forze agenti ortogonalmente al piano, e quindi è maggiore la loro efficacia come elementi di controventamento



Concezione strutturale a **“sistema scatolare”**

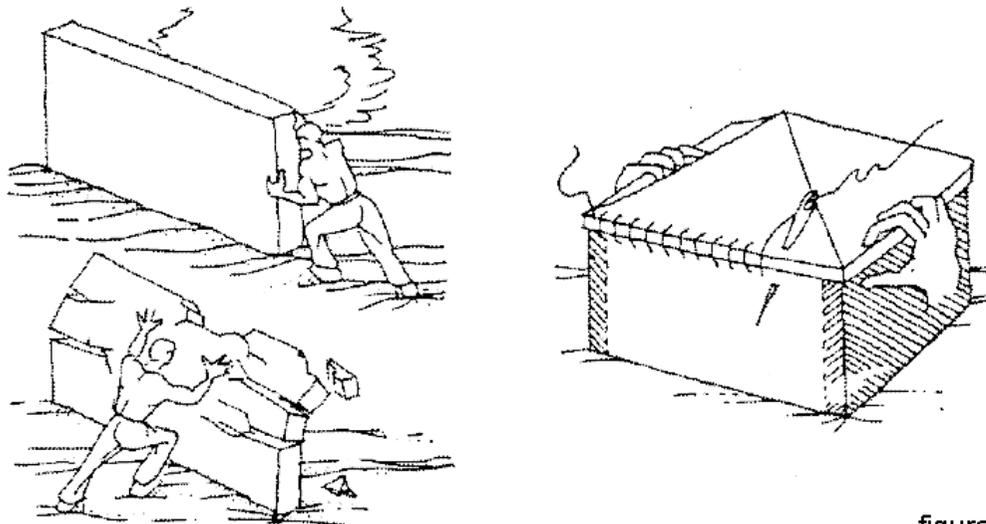
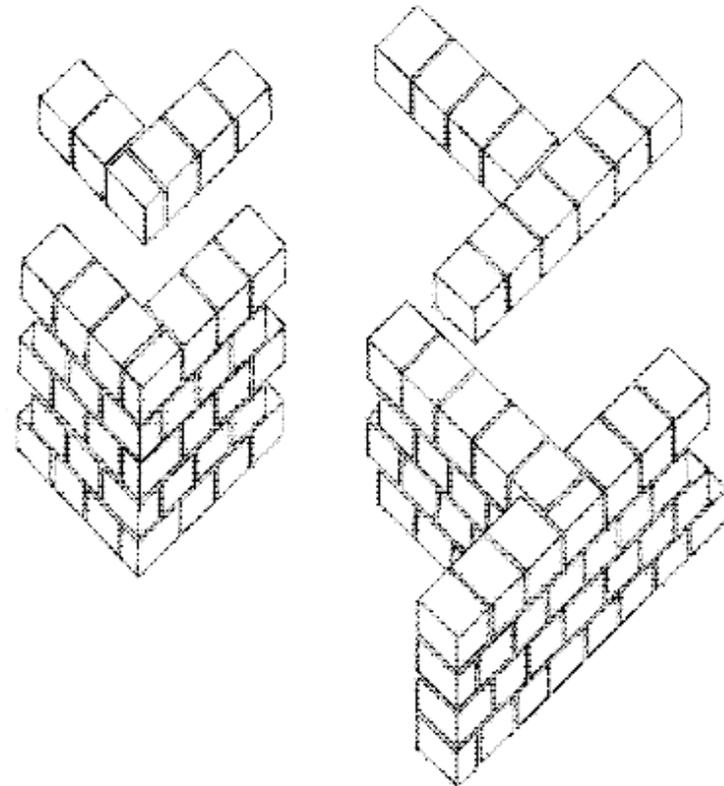


figura da Touliatos, 1996

### 3. LA CONCEZIONE SCATOLARE DELLA MURATURA

I muri ortogonali fra loro devono essere efficacemente **ammorsati** tra loro lungo le intersezioni verticali, mediante una opportuna disposizione degli elementi [3].

In generale, una buona concezione strutturale ed una corretta realizzazione dei dettagli strutturali (la cosiddetta **regola d'arte**) garantisce un comportamento strutturale soddisfacente nella maggior parte dei casi.



Questo principio giustifica la sostanziale **stabilità** di strutture costruite nel passato, ben prima che esistessero i moderni modelli analitici dell'ingegneria strutturale.

# BIBLIOGRAFIA

[1] Koenig G.K., Furiozzi B., Tecnologia delle costruzioni, vol. 2, Le Monnier, 2000.

[2] Giuliani C.F., L'edilizia nell'antichità, La Nuova Italia Scientifica, Roma, 1993.

[3] Caleca L., Architettura tecnica, Flaccovio Editore, 2000.

[4] Giuffrè A., Letture sulla meccanica delle murature storiche, Ed. Kappa, Roma, 1999.



Materiale ad uso esclusivamente didattico