

# CLASSIFICAZIONE DELLE POSSIBILI TIPOLOGIE DELLE MURATURE DEGLI EDIFICI STORICI IN BASE ALL'USO DEI MATERIALI ORIGINALI

## 1. Introduzione

In questo articolo vengono esaminate le tipologie delle murature sulla base di tutte le possibili combinazioni dei materiali originali disponibili nella costruzione degli edifici storici\*. Questo tentativo di classificazione vuole essere non solo un contributo alla conoscenza del passato, ma anche una base di partenza per le successive ricerche sul problema del degrado degli edifici storici.

## 2. I materiali da costruzione nelle murature degli edifici storici

I materiali da costruzione impiegati originariamente nelle murature in mattone, in pietra o in calcestruzzo degli edifici storici comprendono:

- i materiali leganti (gesso, calce, calce idraulica);
- le sabbie (normali o pozzolatiche) per la confezione delle malte;
- gli elementi da legare (pietre e mattoni)

Nel caso particolare delle murature in calcestruzzo oltre al legante ed alla sabbia si sono usati rotami di pietre e/o mattoni.

### 2.1. Il gesso

Il gesso (composizione chimica:  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) è un legante capace di indurire, se mescolato con acqua, formando gesso biidrato (composizione chimica:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Esso indurisce solo all'aria e per questo è definito legante aereo.

È usato in forma di pasta (cioè mescolato solo con acqua) per stucchi o decorazioni, o in forma di malta per intonaci, per lo più interni, data la sua dilavabilità dalle acque piovane. È impiega-

to anche sotto forma di malta per legare mattoni e pietre (malta di allettamento). Data la scarsa resistenza meccanica non è mai stato usato per produrre calcestruzzi. Per la semplicità della sua produzione (cottura di pietra di gesso a circa 200°C) esso è stato il primo legante impiegato nella storia: gli Egiziani, per esempio, lo usarono, come malta di allettamento, per collegare le pietre nella piramide di Cheope (2500 a. C.).

Per quanto sia poco noto, il gesso è stato largamente impiegato nelle malte delle murature degli edifici storici, anche dopo l'avvento della calce considerato legante tecnicamente superiore. Esso, inoltre, è stato spesso impiegato in operazioni di consolidamento sotto forma di boiacche iniettate nelle murature. L'autore del presente articolo ha spesso riscontrato la presenza di gesso in murature degli edifici storici in Italia. Ludwig e Mehr (1) segnalano, d'altra parte, che anche in Germania è stato fatto largo uso di malte di gesso nelle murature degli edifici storici.

### 2.2. La calce aerea e la pozzolana

La calce, più esattamente la calce idrata - composizione chimica:  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  - è anch'essa un legante aereo, in quanto mescolato con acqua indurisce solo all'aria per formare carbonato di calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Soprattutto in passato la calce idrata veniva utilizzata in forma di "grassello", che chimicamente è una miscela di  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ed acqua, ottenuto "spegnendo" la calce viva ( $\text{CaO}$ ) con un quantitativo di acqua in eccesso rispetto a quello richiesto per ottenere la calce idrata  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . La produzione della calce idrata iniziò molto dopo quella del gesso a causa della maggiore temperatura di cottura (circa 900°C) della pietra calcarea da

cui proviene, e quindi delle maggiori difficoltà del processo produttivo. Sebbene ci siano testimonianze (Plinio il Vecchio) che gli Egiziani conoscessero il modo di produrre la calce, tuttavia essa fu largamente impiegata solo successivamente dai Greci e soprattutto dai Romani.

Inizialmente fu impiegata sotto forma di malta aerea cioè capace di indurire solo all'aria, mescolando calce idrata, acqua e sabbia normale. Successivamente si scoprì che sostituendo la sabbia normale con una sabbia di origine vulcanica (tipo quella esistente presso Pozzuoli) la malta diventava idraulica, era in grado, cioè, di indurire anche sotto acqua. Si definisce pozzolanica una sabbia capace di trasformare una malta da aerea in idraulica nonostante il legante impiegato (calce) sia di per sé stesso aereo\*\*. L'effetto è fondamentalmente dovuto alla presenza, nella pozzolana, di silice ( $\text{SiO}_2$ ) ed allumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) reattive nei confronti della calce per il loro stato amorfo e vetroso oltre che per l'elevata superficie specifica (1). Molto spesso si otteneva lo stesso effetto sostituendo la sabbia normale con argilla cotta macinata o con "coccio pesto" (mattoni o tegole finemente macinate). Sia la sabbia di origine vulcanica (pozzolana naturale) che il coccio pesto (pozzolana artificiale) hanno la capacità di reagire con la calce trasformandola in alluminati idrati esagona-

\*\* Ovviamente nelle malte con gesso questa trasformazione di malta aerea in idraulica non avviene perché la pozzolana è in grado di reagire solo con la calce: pertanto nelle malte con gesso è indifferente l'uso di sabbia normale o pozzolanica, per quanto attiene all'attività pozzolanica, cioè alla capacità di dare maggiori resistenze meccaniche e soprattutto di produrre composti non facilmente dilavabili dall'acqua. Tuttavia la pozzolana presente in una malta a base di gesso come legante, può reagire con l'eventuale calce aerea o idraulica di una malta che si trovasse adiacentemente; per esempio la malta di gesso per l'intonaco della muratura può interferire con la malta di calce per l'allettamento dei mattoni o delle pietre: verrebbero in tal caso a formarsi prodotti tipici della reazione pozzolanica all'interfaccia delle due malte tra la pozzolana dell'intonaco e la calce della malta di allettamento.

\* Nella presente relazione si conviene di definire "storici" quegli edifici costruiti prima dell'avvento del cemento Portland che si è verificato alla fine dell'800 in Italia.

li ( $C_4AH_x$ )\* e soprattutto in un idrosilicato di calcio (C-S-H) capace di produrre una maggiore resistenza meccanica e soprattutto di indurire sotto acqua (2).

Sebbene la scoperta delle malte idrauliche è comunemente attribuita ai Romani, sembra che anche i Fenici (già nel X secolo a. C.) insieme agli Israeliti conoscessero la tecnica di produrre malte idrauliche di enorme importanza tecnologica in tutte le opere idrauliche (acquedotti, porti, serbatoi, ecc.) dove il dilavamento dell'acqua degradava rapidamente le comuni malte aeree. Le cisterne per l'acqua potabile fatte costruire da Re Salomone a Gerusalemme venivano protette con malte idrauliche ottenute mescolando calce con cocchio pesto (3).

Ancor prima dei Romani, che sicuramente ne compresero l'importanza strategica nel campo delle costruzioni idrauliche o comunque esposte alle intemperie ed all'azione dell'acqua piovana, la pozzolana fu impiegata, in forma di sabbia, dai Greci soprattutto attraverso l'uso della cenere vulcanica proveniente dall'isola di Santorino. Secondo Lea (4) risalirebbe addirittura al 2000 a. C. l'uso di materiali pozzolanici - sotto forma di polvere di argilla calcinata - in alcune strutture dell'isola di Creta.

Soprattutto dopo la scoperta del comportamento idraulico da parte di miscele di calce e pozzolana, iniziò l'uso della calce anche per produrre calcestruzzi mescolando calce, sabbia pozzolanica, acqua e rottami di pietra (*caementum*)\*\*. Molte delle opere di Appio Claudio Cieco nel 300 a. C., quali l'acquedotto Appio e la via Appia, testimoniano l'uso di un calcestruzzo vero e proprio

per l'impiego di rottami di pietra come inerte grosso (3). Ma forse l'esempio più famoso di struttura in calcestruzzo a base di calce aerea e pozzolana è la grande cupola (43 metri di diametro) del Pantheon.

Nella maggior parte delle opere dei Romani, il calcestruzzo fu in realtà impiegato come riempimento tra i parametri esterni in mattoni o in pietra che fungevano come casseforme permanenti.

### 2.3 la calce idraulica

Dovettero passare molti secoli prima che si scoprisse una calce idraulica che di per sé - cioè indipendentemente dalla presenza di pozzolana - avesse la capacità di indurire e di resistere all'azione dilavante delle acque.

Nel 1570 il Palladio (5) riferisce di una calce straordinaria ottenuta per cottura di una pietra calcarea presso Padova con caratteristiche idrauliche. Egli dice: "La calce ottenuta da tale pietra indurisce immediatamente e si può adoperare sia per lavori in acqua che per opere esposte alle intemperie". Oggi noi sappiamo che la idraulicità della calce descritta dal Palladio consisteva nella purezza del calcare di partenza, per la presenza di argilla (calcare marnoso). In presenza di argil-

\*\* Le murature in calcestruzzo sono state ampiamente costruite nell'antichità e sono citate nelle opere di Plinio il Vecchio ("Storia Naturale") e di Vitruvio ("De Architectura"). Il calcestruzzo (*opus caementitium*) era costituito da rottami di pietra o mattoni, mescolati con calce, sabbia ed acqua; per le opere idrauliche la sabbia veniva sostituita da pozzolana naturale o dal "cocchio pesto" (pozzolana artificiale).

Il rottame di pietra usato per confezionare il calcestruzzo, veniva indicato in latino, anche da Livio e Cicerone, con il termine di "*caementum*" dal verbo "*caedo*" che significa "tagliare in pezzi", da cui deriva anche l'italiano "incido" (cioè tagliare dentro). Val la pena di segnalare, secondo Goria (3), la curiosa trasformazione etimologica di "*caementum*" che, divenuto "*caementum*" nel passaggio dal latino classico a quello volgare, conservò originariamente il significato di "rottame di pietra", per poi assumere, attraverso un tipico processo di sineddoche, il significato di tutto il conglomerato formato, cioè, da acqua, legante, sabbia e rottame di pietra, cioè quello che oggi è definito "calcestruzzo". In sostanza si indicò a lungo, fino al Medioevo, con il termine "cemento" quella che oggi è correttamente indicata con il nome di calcestruzzo. Solo alla fine del diciottesimo secolo, i vocaboli italiani "cemen-

to" e "calcestruzzo" assunsero l'attuale significato di legante e conglomerato. Tuttavia, per aumentare la confusione, ancora oggi si usa correntemente - ma non correttamente - il vocabolo "cemento" per indicare il "calcestruzzo"; si pensi ad esempio al termine "cemento armato" in luogo del più corretto "calcestruzzo armato". Insomma, da sempre tra i termini "cemento" e "calcestruzzo", almeno dal punto di vista semantico, non corre proprio buon sangue.

Nella metà del Settecento, Juvvarra ed altri architetti sabaudi conoscevano bene la differenza di comportamento tra la "calcina dolce" - l'attuale calce idrata - e la "calcina forte" - l'attuale calce idraulica - essendo la prima destinata ad intonaci per interno, e la seconda alle strutture più impegnative dove si richiedeva una maggiore resistenza meccanica e tenuta all'umidità (6).

Occorrerà, tuttavia, ancora del tempo per arrivare ad una produzione razionale e scientifica delle calce idrauliche prima, e del cemento Portland dopo: occorrerà, cioè, l'avvento della rivoluzione industriale e soprattutto l'inizio della Chimica moderna con Lavoisier, verso la metà del secolo XVIII, per poter analizzare chimicamente le pietre con cui produrre per cottura i leganti e

Per gli amanti della glottologia può essere interessante conoscere l'etimologia di "calcestruzzo": esso deriva dal latino "*calcis structio*", cioè struttura a base di calce; divenne poi "calcestrutto" ed infine "calcestruzzo".

Per finire, anche il vocabolo inglese molto noto ed elegante di "*concrete*" (calcestruzzo) viene dal latino "*concretum*", ma presenta, rispetto al nostro "calcestruzzo", una origine etimologica meno sofferta e più lineare. Cicerone scriveva infatti "*concretum corpus ex elementis*" che significa "corpo composto di elementi diversi" che include appunto il significato di "conglomerato", talvolta usato in italiano in luogo del vocabolo "calcestruzzo".

\* Secondo la simbologia della chimica del cemento: C =  $CaO$ ; A =  $Al_2O_3$ ; H =  $H_2O_2$ ; S =  $SiO_2$ .

guidare razionalmente su scala industriale la produzione di un legante piuttosto che un altro.

Dal punto di vista pratico, pertanto, le malte idrauliche largamente adoperate a partire dalla metà del Settecento, costituite da calce idraulica, acqua e sabbia non presentano - una volta indurite - significative differenze dalle malte idrauliche, sviluppate dai Romani, e costituite da calce aerea, acqua e pozzolana. Anche da un punto di vista chimico esistono forti somiglianze, giacché il prodotto che conferisce idraulicità, oltre che maggiore resistenza meccanica, è il già menzionato idrosilicato di calcio (C-S-H): esso può formarsi o per reazione della calce aerea con la pozzolana, o per idratazione dei silicati che accompagnano la calce idraulica.

Per completare il quadro evolutivo della calce idraulica è opportuno precisare come essa sia stata prodotta in questi anni (7,8). Fino al periodo prebellico essa è stata prodotta per cottura dei calcari marnosi ("calce idraulica naturale") o di miscele di calcari puri ed argilla ("calce idraulica artificiale"). Successivamente si è passati alla produzione di calci idrauliche artificiali "diluendo" il cemento Portland per miscelazione con inerti finemente macinati (filler), oppure in alternativa miscelando un legante idraulico (cemento Portland) con un legante aereo (calce idrata)

per la confezione delle cosiddette malte "bastarde" molto apprezzate per la loro plasticità. Più recentemente la calce idraulica artificiale viene prodotta miscelando cemento Portland, filler e additivi aeranti capaci, mediante lo sviluppo di circa il 15% in volume di aria di conferire alla malta quella "grassezza" e plasticità, (di solito dovute alla presenza di calce idrata) che si trovava nelle buone calci idrauliche di una volta.

Val la pena di precisare che attualmente la calce idraulica (di fatto un cemento Portland "diluente" con filler ed aria) ha completamente rimpiazzato l'uso della calce aerea anche per i lavori di intonacatura.

#### 2.4 Le pietre

Per quanto concerne le pietre\* usate nelle murature, esse non presentano particolari problemi per quanto riguarda l'interazione con i leganti usati originariamente nella costruzione degli edifici storici (gesso, calce, calce idraulica) se si esclude la cosiddetta reazione alcali-aggregato, del resto già nota nella tecnologia del calcestruzzo (2). La reazione può avvenire tra gli alcali

\* Val la pena di segnalare che le pietre usate nelle diverse murature in pietra sono per lo più squadrate e relativamente grandi (*saxum quadratum*, secondo Vitruvio), mentre le pietre, sotto forma di rottame, impiegate nelle murature in calcestruzzo sono di forma irregolare e di dimensione relativamente piccola (non maggiore di una mano, secondo la definizione di Vitruvio) ed adatte a confezionare, sempre secondo Vitruvio, il *saxum caementitium* (cioè blocco fatto con rottame di pietre legate da calce ed acqua).

(sodio e potassio) del legante ed alcuni minerali potenzialmente presenti nelle pietre (silice amorfa sotto forma di opale o calcedonio, oppure dolomite).

#### 2.5 I mattoni

I mattoni sono ottenuti per cottura di argilla precedentemente sagomata ed essicata. A causa della presenza di determinati minerali (soprattutto pirite) nelle materie prime (7), i mattoni possono contenere alcuni sali (nitrati, cloruri, fosfati e soprattutto solfati) di metalli alcalini (sodio e potassio) ed alcalino-terrosi (calcio e magnesio) facilmente solubili in acqua (9).

Per effetto della bagnatura (per esempio di acque piovane) e della successiva essiccazione, l'acqua può prima entrare all'interno del mattone e sciogliere i sali, quindi trascinarli sulla superficie e qui depositarli. Se la superficie del mattone è a vista si notano le tipiche efflorescenze saline.

Se, invece, il mattone è rivestito da un intonaco, i sali depositati sulla superficie del mattone vengono in realtà a trovarsi sulla interfaccia mattone-malta. In questi casi può verificarsi per effetto fisico-meccanico il distacco della malta, oppure può anche avvenire un degrado più grave per effetto della reazione tra il sale e la malta. Le degradazioni possibili sono di tre tipi: reazione tra gli alcali dei sali e gli inerti reattivi del-

Tabella 1 Tipologia delle murature

Murature in mattone		Murature in pietra		Murature in calcestruzzo	
a vista	con intonaco	a vista	con intonaco	a vista	con intonaco
Mv	Mi	Pv	Pi	Cv	Ci
a vista	con intonaco	a vista	con intonaco	a vista	con intonaco

la malta (reazione alcali-aggregato) oppure reazione tra i solfati con il C-S-H presente nelle malte idrauliche e produzione di thaumasite, oppure reazione tra i solfati e gli alluminati idrati presenti nelle malte idrauliche e produzione di ettringite (2). Tutte e tre le reazioni avvengono con intensità maggiore e danni più gravi se la malta è a base di cemento come spesso è avvenuto nei recenti lavori di restauro e consolidamento.

### 3. Le tipologie delle murature negli edifici storici in relazione ai materiali da costruzione

A seconda della combinazione di materiali da costruzione, possiamo individuare le seguenti tipologie di murature: in mattone (M), in pietra (P) ed in calcestruzzo (C), ciascuna delle quali può presentarsi a vista (v) o intonacata (i). La Tabella 1 riassume le diverse murature in base a questa

classificazione. Per esempio Pv indica una "muratura in pietra a vista", mentre Pi indica una "muratura in pietra con intonaco".

In teoria, per ciascuna delle tipologie della Tabella 1 (Mv, Mi, Pv, ecc.) si può prevedere l'uso di un legante "interno" (cioè nella malta di allettamento o dentro il calcestruzzo) a base di calce (c) o di gesso (g). In realtà per il calcestruzzo il legante impiegato è stato solo la calce. Si tenga, inoltre, presente che laddove si usa la calce come legante "interno" essa potrà essere abbinata con sabbia naturale (c) o sabbia esplicitante attività pozzolanica (c'). Ne consegue che, sulla base di queste considerazioni, è possibile classificare un totale di 20 diversi tipi di murature come è mostrato nella parte superiore della Tabella 2 (murature in mattoni), della Tabella 3 (murature in pietra) e della Tabella 4 (murature in calcestruzzo). Per esempio Mvg in Tabella 2 indica una muratura in mattoni (M), a vista (v), con sabbia e gesso (g) come legante nel-

la malta di allettamento. Invece Pic e Pic' in Tabella 3 indicano rispettivamente murature in pietra (P), intonacate (i), con calce (c) e sabbia, o calce e pozzolana (c'), nella malta di allettamento.

Per quanto riguarda la malta dell'intonaco essa può essere costituita da gesso (g) e sabbia, o da gesso e pozzolana (g'), oppure da calce e sabbia (c) oppure ancora da calce e pozzolana (c'). In base a questa ulteriore classificazione si arriva ad un totale di 50 diverse murature indicate nella parte bassa delle Tabelle 2, 3 e 4. Per esempio, Migc in Tabella 2 indica una muratura in mattoni (M), intonacata (i), con sabbia e gesso come legante "interno" nella malta di allettamento (g), e sabbia e calce come legante "esterno" nella malta per intonaco (c). Così, invece Cicc' in Tabella 4 indica una muratura in calcestruzzo (C), intonacata (i), con calce e sabbia per la malta "interna" del calcestruzzo (c), e calce più pozzolana (c') nella malta "esterna" da intonaco.

Tabella 2 Tipologia delle murature in mattoni

Murature in mattoni a vista Mv				Murature in mattoni intonacate Mi												
Malta da allettamento	legante "interno" : gesso		legante "interno" : calce		legante "interno": gesso				legante "interno": calce							
	sabbia norm.	sabbia pozzol.	sabbia norm.	sabbia pozzol.	sabbia normale		sabbia pozzolanica		sabbia normale		sabbia pozzolanica					
	Mvg	Mvg'	Mvc	Mvc'	Mig		Mig'		Mic		Mic'					
Malta da intonaco	legante "esterno" : gesso		legante "esterno" : calce		legante "esterno" : gesso		legante "esterno" : calce		legante "esterno" : gesso		legante "esterno" : calce		legante "esterno" : gesso		legante "esterno" : calce	
	sabbia norm.	sabbia pozzol.	sabbia norm.	sabbia pozzol.	sabbia norm.	sabbia pozzol.	sabbia norm.	sabbia pozzol.	sabbia norm.	sabbia pozzol.	sabbia norm.	sabbia pozzol.	sabbia norm.	sabbia pozzol.	sabbia norm.	sabbia pozzol.
	Migg	Migg'	Migc	Migc'	Mig'g	Mig'g'	Mig'c	Mig'c'	Micg	Micg'	Micc	Micc'	Mic'g	Mic'g'	Mic'c	Mic'c'

Nota 1. Per sabbia pozzolanica si intende o quella naturale generalmente di origine vulcanica o quella artificiale ottenuta per frantumazione di mattoni, tegole, ecc. ("coccio pesto").

Nota 2. Agli effetti pratici se in luogo della normale calce si usa la calce idraulica, la malta assume un comportamento idraulico anche in assenza di pozzolana: in altre parole Mvc diventa Mvc' se si impiega calce idraulica anche se la sabbia è normale e non pozzolanica.

La classificazione presentata in questo articolo, sulla base dell'utilizzazione dei materiali, non ha nulla a che vedere con una classificazione dei tipi di murature ba-

sate sui criteri architettonico-costruttivi come quelli per esempio presentati da J.P. Adam nel suo bellissimo libro sulle costruzioni dei Romani (10).

Inoltre, quando la muratura si presenta costruttivamente complessa, la classificazione qui proposta si riferirà alla parte di muro dove si sia manifestato il degra-

Tabella 3 Tipologia delle murature in pietra

Murature in pietra a vista Pv				Murature in pietra intonacate Pi																
Malta da affettamento	legante "interno" : gesso		legante "interno" : calce		legante "interno": gesso						legante "interno": calce									
	sabbia norm. Pvg	sabbia pozzol. Pvg'	sabbia norm. Pvc	sabbia pozzol. Pvc'	sabbia normale Pig			sabbia pozzolanica Pig'			sabbia normale Pic			sabbia pozzolanica Pic'						
Malta da intonaco					legante "esterno" : gesso		legante "esterno" : calce		legante "esterno" : gesso		legante "esterno" : calce		legante "esterno" : gesso		legante "esterno" : calce		legante "esterno" : gesso		legante "esterno" : calce	
					sabbia norm. Pigg	sabbia pozzol. Pigg'	sabbia norm. Pigc	sabbia pozzol. Pigc'	sabbia norm. Pig'g	sabbia pozzol. Pig'g'	sabbia norm. Pic'c	sabbia pozzol. Pic'c'	sabbia norm. Picg	sabbia pozzol. Picg'	sabbia norm. Pic'c	sabbia pozzol. Pic'c'	sabbia norm. Pic'g	sabbia pozzol. Pic'g'	sabbia norm. Pic'g	sabbia pozzol. Pic'g'

Nota 1. Per sabbia pozzolanica si intende o quella naturale generalmente di origine vulcanica o quella artificiale ottenuta per frantumazione di mattoni, tegole, ecc. ("coccio pesto").

Nota 2. Agli effetti pratici se in luogo della normale calce si usa la calce idraulica, la malta assume un comportamento idraulico anche in assenza di pozzolana: in altre parole Pvc diventa Pvc' se si impiega calce idraulica anche se la sabbia è normale e non pozzolanica.

Tabella 4 Tipologia delle murature in calcestruzzo

Murature in calcestruzzo a vista Cv			Murature in calcestruzzo intonacate Ci							
Malta da affettamento	legante "interno" : calce		legante "interno" : calce							
	sabbia norm. Cvc	sabbia pozzol. Cvc'	sabbia normale Rottame di pietra Cic				sabbia pozzolanica Rottame di pietra Cic'			
Malta da intonaco			legante "esterno" : gesso		legante "esterno" : calce		legante "esterno" : gesso		legante "esterno" : calce	
			sabbia norm. Cicg	sabbia pozzol. Cicg'	sabbia norm. Cicc	sabbia pozzol. Cicc'	sabbia norm. Cic'g	sabbia pozzol. Cic'g'	sabbia norm. Cic'c	sabbia pozzol. Cic'c'

Nota 1. Per sabbia pozzolanica si intende o quella naturale generalmente di origine vulcanica o quella artificiale ottenuta per frantumazione di mattoni, tegole, ecc. ("coccio pesto").

Nota 2. Agli effetti pratici se in luogo della normale calce si usa la calce idraulica, la malta assume un comportamento idraulico anche in assenza di pozzolana: in altre parole Cvc diventa Cvc' se si impiega calce idraulica anche se la sabbia è normale e non pozzolanica.

do. Per esempio un muro "complesso" costituito da un riempimento in calcestruzzo con legante a base di calce e pozzolana (c<sup>^</sup>), rivestito da paramenti in pietra con legante a base di gesso (g), a sua volta intonacato con malta di calce e sabbia normale (c) sarà classificato come Cic'g o come Pigc a seconda che l'attenzione sul degrado sia rivolta all'interno (Cic'g) o alla superficie (Pigc) della muratura: il calcestruzzo infatti risulterà classificato come se fosse intonacato della malta di gesso (g) che funge in realtà da malta di allettamento per le pietre.

## BIBLIOGRAFIA

(1) U. Ludwig e S. Mehr, *Destruction of Historical Buildings by the*

*Formation of Ettringite or Thaumasite*, pag 181, Vol V, 8th International Congress on the Chemistry of Cement, Rio de Janeiro, (1986).

(2) M. Collepardi, *Scienza e tecnologia del calcestruzzo*, seconda Edizione, Ed. Hoepli, Milano (1987).

(3) C. Gorla, *Evoluzione storica dei leganti e dei conglomerati: dall'empirismo alla loro conoscenza razionale*, in "Cemento: Storia, Tecnologia, Applicazioni", Ed. Fratelli Fabbri Editori, Milano (1976).

(4) F. M. Lea, *The chemistry of cement and concrete*, Chemical Publishing, London, (1971).

(5) A. Palladio, *Trattato di Architettura*, Libri 4, Venezia, (1570).

(6) M. Momo, *Note su produzione ed uso delle malte di calce nella prima metà del Settecento*,

pag. 53, "Atti del Seminario Rilem, Le malte nell'evoluzione del processo costruttivo: passato, presente, futuro", Coord.: Anna Gilbert Volterrani, Torino, (1988).

(7) M. Collepardi, *Materiali inorganici da costruzione*, in *Enciclopedia della Chimica*, Ed. Isedi, Milano, (1977).

(8) L. Cussino, *Le malte oggi: materiali in produzione*, pag. 45, "Atti del seminario Rilem, le malte nell'evoluzione del processo costruttivo: passato, presente, futuro", Ed. Anna Gilbert Volterrani, Torino, (1988).

(9) T. Emiliani, *La tecnologia della ceramica*, Ed. Fratelli Lega, Faenza, (1957).

(10) J. P. Adam, *L'arte di costruire presso i Romani: materiale e tecniche*, Ed. Longanesi, Milano, (1989).