

# DAGLI INTONACI DELLA MAGNA GRECIA AI MODERNI INTONACI MACROPOROSI

L. Coppola  
Enco, Engineering Concrete, Spresiano, Italia

## 1. LE ORIGINI

Fin dall'antichità gli intonaci hanno rappresentato il rivestimento di superficie più diffuso. Le ragioni della notevole diffusione possono ricercarsi nella loro leggerezza, facilità di applicazione ed economicità che ne permettono un rinnovo frequente a compenso di una durabilità limitata.

Le origini dell'intonaco si perdono nella notte dei tempi. Alcune testimonianze del V secolo *a.c.* ci provengono dalla Mesopotamia dove tra le rovine di Hassuna è stata ritrovata una tettoia "intonacata" a gesso. Nella stessa Mesopotamia, inoltre, dall'analisi di alcuni siti è stato rilevato come con lo stesso impasto usato per la produzione dei mattoni, reso più fluido con aggiunta di acqua, si otteneva la malta utilizzata per intonacare le pareti sia interne che esterne dei muri. Un esempio si può rilevare dal palazzo Cosroe I Anushirvan realizzato in mattoni crudi la cui superficie era ricoperta da un intonaco (1).

L'usanza di stendere l'intonaco sulla superficie delle pareti realizzate in mattoni crudi era diffusa anche in Egitto. L'impasto era generalmente costituito da limo misto a paglia sminuzzata con cui veniva realizzato lo strato grezzo sul quale si procedeva a stendere successivamente uno strato di finitura costituito da gesso e calcare macinato. Questi intonaci in molti casi costituivano il fondo per le pitture tombali (2).

Anche l'architettura greca ha utilizzato estesamente - al contrario di quanto si possa pensare - gli intonaci. Quando ci riferiamo all'architettura greca, infatti, siamo abituati a pensare alle strutture a grandi blocchi di pietra generalmente accostati e privi di collegamenti con malte. La nostra immaginazione, cioè, quasi colpita da un *raptus* romantico preferisce pensare a blocchi di materiale lapideo privi di qualsiasi rivestimento, rifiniti unicamente dalla mano dell'architetto. Ma la verità è ben diversa: qualsiasi struttura dell'architettura greca era sempre rivestita da un sottilissimo strato di intonaco se non addirittura ricoperta da uno spesso strato di stucco.

Persino le sculture in marmo erano ricoperte da un sottile strato di intonaco: la "*ganosis*". La realizzazione della "*ganosis*" sulle sculture di Prassitele veniva affidata ad uno dei pittori più famosi dell'epoca, Apelle, degno nell'arte della "*ganosis*" tanto quanto Prassitele nell'arte di scolpire.

## 2. IL PERIODO ROMANO

Durante il periodo romano l'intonaco raggiunge il suo massimo splendore. E' Vitruvio a definire le modalità di realizzazione dell'intonaco, concepito a più strati. L'intonaco secondo Vitruvio doveva essere costituito da un rinzaffo, con funzione di aderenza al supporto, realizzato con calce (1 parte), sabbia grossa (2 parti) e pezzi di mattone misti a ritagli di marmo (1 parte). Dopo aver proceduto "*alla sgrossatura della pareti e mentre si asciuga vi si stenda al di sopra ...*", suggeriva Vitruvio, "*l'arenato*". L'arenato era costituito da un pacchetto di tre strati di intonaco realizzati fresco su fresco con calce e sabbia (1:2) a cui era affidata una funzione strutturale e di durabilità dell'intonaco nel tempo. "*Quando siano stati applicati tre mani di arenato*", consigliava Vitruvio, "*si passa a stendere un'altra serie di strati*": il marmorato. Al marmorato veniva affidata una funzione estetica ed allo stesso tempo di protezione nei confronti degli agenti atmosferici. Al pari dell'arenato, anche il marmorato veniva realizzato in tre strati costituiti da calce e granuli di marmo (1:2) di dimensioni decrescenti verso l'esterno.

All'estrema cura nella definizione degli strati dell'intonaco Vitruvio associava una grande attenzione nella selezione degli ingredienti per il confezionamento degli impasti. Ad esempio la sabbia "*per gli intonaci*", scriveva Vitruvio, "*sfregata fra le dita provoca una sorta di fruscio e sparsa su un telo bianco e poi scossa via di colpo non dovrà lasciare sporco né residui di terra*". In sostanza, Vitruvio raccomandava di impiegare sabbie poco porose e soprattutto prive di frazioni limo-argillose che potessero compromettere la resistenza dell'intonaco per l'ostacolo all'aderenza pasta di calce/sabbia determinata dalla presenza di frazioni finissime. Potremmo definire il metodo proposto da Vitruvio una sorta di equivalente di sabbia e valore di blu *ante litteram*.

Per la calce il grande architetto suggeriva che quella per gli intonaci dovesse provenire dalla cottura di "*sasso poroso*" e "*macerare a lungo*" fino a quando "*mostri di appiccicarsi come colla al ferro della cazzuola*". Seguendo queste indicazioni si può ottenere una calce, priva di dannosi bottaccioli, che per la sua elevata collosità consenta una facile lavorazione dell'intonaco.

Pur riconoscendo a Vitruvio il grande merito di aver definito e raccolto in maniera sistematica informazioni, prescrizioni e tecniche esecutive, occorre sottolineare come le indicazioni fornite dal grande architetto per realizzare i "*tectoria*" venivano spesso disattese. L'analisi degli intonaci di Pompei, ad esempio, mostra che generalmente essi venivano realizzati in tre strati (3): il primo direttamente applicato alla struttura muraria, veniva di solito inciso con la cazzuola per consentire una migliore compenetrazione del secondo strato. Quest'ultimo costituiva l'intonaco vero e proprio, aveva uno spessore generalmente variabile tra 3 e 5 cm e poteva essere realizzato - oltre che con calce e sabbia - conficcando nello spesso strato dell'intonaco pezzi di marmo e frammenti ceramici. L'ultimo strato era generalmente realizzato con calce pura o mista a calcare o marmo in

polvere. Esso presentava uno spessore di 1-2 mm e poteva essere destinato a ricevere i pigmenti colorati.

### 3. L'ETÀ RINASCIMENTALE

L'influenza di Vitruvio si estenderà fino in età rinascimentale quando la sua opera diviene un autentico modello per i trattatisti dell'epoca. Gli autori rinascimentali - facendo proprie le indicazioni di Vitruvio - assegnano all'intonaco la funzione di protezione e finitura. Uno dei trattatisti dell'epoca L.B. Alberti suggerisce di realizzare l'intonaco almeno in tre strati (4). Al primo (*rinzaffo*), confezionato con calce, sabbia e cocci di mattone (1:2:1), è affidato il compito di aderire al supporto e sostenere gli strati restanti. Al terzo, invece, viene affidata una funzione prevalentemente di tipo estetico. Realizzato in calce e polvere di marmo finissima (1:2), il "*polimento*", scriveva L.B. Alberti "*ha la funzione di dispiegare le attrattive delle decorazioni, dei colori e delle linee*". Faceva da ponte tra questi due strati l'*arricciato*; realizzato con calce e sabbia di fiume (1:2), l'*arricciato* svolgeva funzioni di livellamento oltre ad avere "*l'incombenza di porre riparo ai difetti dell'uno e dell'altro*".

Oltre a L.B. Alberti, si rifanno a Vitruvio architetti quali Palladio, Scamozzi e Zannini. L'appartenenza, però, di questi architetti ad un'area geografica (il Veneto) diversa da quella dell'Alberti determinerà scelte differenti sia nei materiali destinati alla realizzazione degli intonaci che nelle tecniche esecutive. Palladio (5), ad esempio, riferisce di una calce con proprietà idrauliche (*la calce nigra*) ottenuta per cottura di una pietra calcarea con impurezze argillose. In quest'area, inoltre, particolare attenzione veniva posta alla realizzazione dell'intonaco, che prevedeva la battitura (con la mazzanghera, il *baculus* di romana memoria), la lisciatura a ferro e la protezione superficiale, operazioni in grado di conferire all'intonaco compattezza ed "impermeabilità" che non erano richieste in climi più asciutti.

### 4. L'ETÀ MODERNA E CONTEMPORANEA

Nella seconda metà del 1700 l'intonaco inizia a perdere il valore estetico che aveva assunto sino a quel momento. A differenza di quanto raccomandato l'intonaco non viene più battuto, né lisciato, ma viene semplicemente rifinito con il fratazzo. Solo in poche situazioni, inoltre, si preparano gli impasti in accordo alle ricette contenute nei trattati. Il risultato delle "pratiche sbrigative" che si vanno affermando è che gli intonaci del periodo settecentesco sono fragili e caratterizzati da una ridotta durabilità alle azioni aggressive ambientali. Anche il numero degli strati di intonaco viene notevolmente ridotto tanto che Francesco Milizia (6) ricordando i numerosi strati dell'intonaco Vitruviano, lamentava "*... ci contentiamo di un solo strato di arena su cui spianiamo subito un'incrostatura marmorea. Qual meraviglia se i nostri riescono infirmi e fragili*".

Il lento declino degli intonaci continuerà inesorabile per la difficoltà di reperimento delle materie prime, ma soprattutto per una crescente insensibilità delle maestranze verso le raccomandazioni contenute nella manualistica. A questo declino contribuirà non poco l'avvento dei nuovi leganti che soppianderanno nella trattativa italiana quelli utilizzati per gli intonaci antichi. Per i nuovi materiali si registra un crescente apprezzamento per la facilità e la rapidità di impiego garantite dai ridotti tempi di presa ed allo stesso tempo dalle caratteristiche idrauliche spinte. In questo particolare momento storico, infatti, l'elemento chiave per l'edilizia comincia ad essere rappresentato dalla rapidità di realizzare le opere.

Il generale decadimento della qualità degli intonaci riguarderà non solo quelli realizzati con i nuovi cementi, ma anche quelli a calce, che risulteranno il più delle volte costituite da un unico strato di modesto spessore (1 cm).

Agli inizi del secolo si affermerà definitivamente l'intonaco a cemento, cosiddetto "tradizionale", realizzato di solito in tre strati. Purtroppo, l'inosservanza di alcune regole fondamentali nella realizzazione delle stabiliture e soprattutto l'abuso di cemento nel confezionamento degli impasti determinerà una serie di insuccessi, fessurazioni e un generale scadimento delle proprietà estetiche dei rivestimenti superficiali. La scarsa attenzione nella realizzazione degli intonaci si perpetuerà anche nel secondo dopoguerra, quando, l'edilizia per sostenere il rapido processo di industrializzazione che coinvolge il Nord del Paese, adotterà materiali e tecniche costruttive basate più sulla necessità di una rapida esecuzione che sulla volontà di realizzare manufatti durevoli.

## **5. GLI INTONACI MACROPOROSI**

Negli ultimi anni, anche alla luce della crisi che ha coinvolto il settore, la durabilità delle opere ha acquistato sempre più un ruolo centrale del processo costruttivo. Ed in quest'ottica che si sta assistendo ad una rivalutazione dell'intonaco, non solo come elemento decorativo e di abbellimento delle facciate, ma anche quale presidio contro l'azione aggressiva degli agenti atmosferici. Questa rivalutazione sta avvenendo attraverso una riscoperta in chiave moderna degli intonaci del passato. Riscoperta che avviene nella consapevolezza che la maggior parte degli insuccessi e delle brutture dei moderni intonaci a cemento sono da ascrivere ad una eccessiva compattezza della matrice legante.

### **5.1 Compatibilità elasto-meccanica**

La matrice delle malte di cemento è caratterizzata dalla pratica assenza di quelle porosità che, invece, costituivano la caratteristica peculiare della microstruttura degli antichi intonaci a calce e pozzolana.

Grazie alla ridotta porosità della matrice gli intonaci a base di cemento hanno garantito resistenze meccaniche a compressione maggiori di quelle conseguibili con le tradizionali stabiliture a base di calce, calce-pozzolana o calce idraulica. A questa apparente maggiore "solidità" degli intonaci di cemento, tuttavia, si associa

una rigidità nettamente più elevata: il modulo elastico delle malte cementizie, infatti, può risultare - a seconda della composizione degli impasti - da 5 a 8 volte maggiore di quello di una malta a base di leganti tradizionali. A causa di questa elevata rigidità gli intonaci di cemento esaltano, generando tensioni di trazione elevate, tutte le contrazioni di natura termo-igrometrica conducendo alla fessurazione e nei casi più gravi al distacco del rivestimento dalla parete. Al contrario, le malte di calce, calce e pozzolana o calce idraulica, grazie alle numerose cavità disseminate nella matrice - sebbene meno resistenti meccanicamente - sono caratterizzate da una bassa rigidità. Grazie al modulo elastico decisamente ridotto ( $4-6000 \text{ N/mm}^2$ ) le contrazioni dimensionali prodotte da fenomeni di origine termo-igrometrica producono modesti valori dello sforzo di trazione non in grado di fessurare o distaccare l'intonaco dal supporto cui aderisce.

Sulla base delle considerazioni esposte si evince come nella realizzazione dei moderni intonaci sia necessario, se si vogliono evitare fessurazioni e distacco delle stabiliture dalla muratura, riprodurre il più possibile la struttura macroporosa degli intonaci antichi. Questo obiettivo viene conseguito aggiungendo negli impasti additivi aeranti capaci di creare un sistema di microbolle opportunamente spaziate, in grado di garantire l'ottenimento di un malta con un modulo di elasticità variabile tra 4 e  $6000 \text{ N/mm}^2$  simile a quello delle malte antiche. La presenza delle microbolle nella matrice di cemento consente anche di attenuare le pressioni indotte dal fenomeno della cristallizzazione dei sali evitando la nascita di tensioni dirompenti capaci nei casi più gravi di disgregare completamente l'intonaco.

## **5.2 La cristallizzazione salina**

Il fenomeno della cristallizzazione salina si manifesta con un aumento di volume che, se avviene in un materiale poroso - quale ad esempio la malta da intonaco - può creare la nascita di tensioni di trazione capaci di provocarne la fessurazione una volta superata la resistenza a trazione del materiale stesso.

Perché si manifesti la cristallizzazione dei sali è necessario che l'umidità relativa di un determinato ambiente risulti inferiore ad un valore limite funzione della natura del sale e della temperatura. Da questo punto di vista risultano particolarmente pericolosi i solfati, i carbonati ed il cloruro di sodio i cui valori di U.R. limite si attestano tra il 75 ed il 92%. E' molto facile, infatti, che l'U.R. dell'ambiente scenda al di sotto di questi valori determinando la cristallizzazione del sale.

In condizioni di bassa ventilazione il fenomeno di cristallizzazione si verifica generalmente sulla superficie esterna con la comparsa di efflorescenze che principalmente deturpano l'estetica del rivestimento. In presenza di forti ventilazioni, invece, i sali possono cristallizzare nei pori situati su piani più o meno distanti dalla superficie determinando, a seguito della formazione di cristalli, forti degradi con esfoliazioni e distacchi della stabilitura. Le pressioni di cristallizzazione che insorgono all'interno dei pori della matrice possono essere opportunamente attenuate grazie alla realizzazione di un sistema di macrobolle che

fungano da "vaso di espansione" capaci di ospitare gli aumenti di volume a seguito della cristallizzazione dei sali senza generare tensioni dirompenti per la matrice legante. A seconda del contenuto salino della muratura e dell'apporto di sale da parte dell'acqua risalente dalle fondazioni, il volume di microbolle d'aria all'interno della matrice può essere fatto variare da un minimo del 20 ad un massimo del 45% rispetto al volume dell'impasto. Per l'elevato contenuto di microbolle nell'impasto gli intonaci prendono anche il nome di "macroporosi".

### 5.3 Lo smaltimento dell'umidità

La struttura porosa determinata dall'aggiunta dell'additivo aerante consente all'intonaco di smaltire efficacemente l'eventuale umidità presente nella muratura. La traspirabilità al vapore di un intonaco può essere misurata in accordo con la metodologia proposta dalla norma DIN 52615.

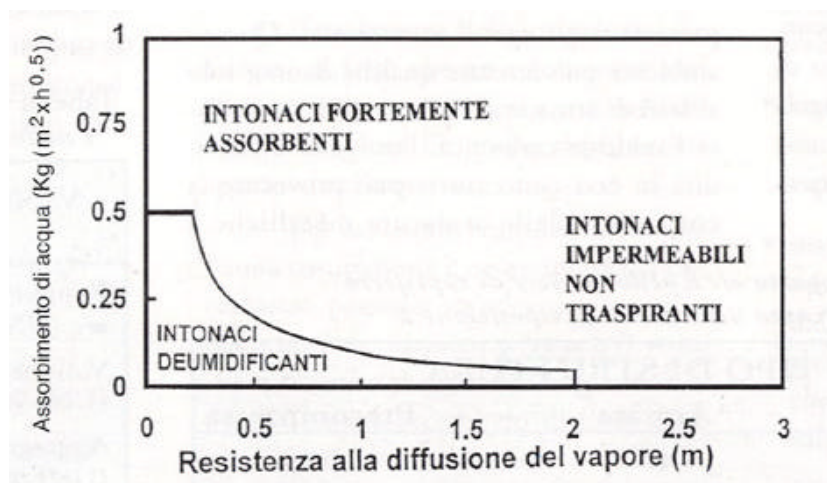
Il raggiungimento di un'elevata permeabilità al vapore, tuttavia, non è il solo obiettivo che si deve perseguire nella realizzazione di un intonaco, in quanto occorre anche impedire che l'intonaco assorba l'acqua piovana proveniente dall'esterno. In sostanza, quindi, l'intonaco ottimale è costituito da strati di malta capaci di assorbire ridotti quantitativi di acqua, ma allo stesso tempo in grado di garantire una elevata permeabilità al vapore.

Queste due esigenze - tra di loro antitetiche - possono essere quantificate attraverso i requisiti imposti dalla normativa tedesca DIN 18550 (punto 6.2.4) la quale richiede che un rivestimento protettivo superficiale possieda le seguenti caratteristiche (Fig. 1):

- resistenza alla diffusione del vapore ( $S_d$ ) non superiore a 2 m equivalenti di aria;
- assorbimento di acqua per capillarità ( $A$ ) non superiore a  $0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ ,
- il prodotto della resistenza alla diffusione del vapore ( $S_d$ ) per l'assorbimento di acqua per capillarità ( $A$ ) deve essere minore di 1.

Relativamente al primo requisito - resistenza alla diffusione del vapore minore di 2 m - esso può essere conseguito realizzando un intonaco a calce, calce-pozzolana e calce idraulica (Tab. 1), oppure un intonaco macroporoso con un contenuto di aria variabile tra il 20 ed il 45%. La Tabella 1 mostra, invece, come l'impiego di malte a base di cemento puro o tagliato con calce determina valori di  $S_d$  decisamente maggiori del limite massimo ammesso (2 m).

Per quanto attiene al secondo requisito - assorbimento d'acqua ( $A$ ) inferiore a  $0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$  - la Tabella 1 evidenzia come esso sia antitetico rispetto al fattore di resistenza al vapore. Infatti, le malte caratterizzate da valori di  $S_d$  minori di 2 m posseggono tutti assorbimenti capillari maggiori del massimo ammesso. Al contrario, le malte di cemento che non soddisfano il requisito in termini di  $S_d$  sono caratterizzate da assorbimenti capillari prossimi a  $0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ .



**Fig. 1 - Resistenza alla diffusione del vapore e assorbimento di acqua per capillarità per gli intonaci deumidificanti (Norma DIN 18550).**

**Tabella 1 - Resistenza alla diffusione del vapore per diversi intonaci.**

Intonaco di:	Resistenza a compressione (N/mm <sup>2</sup> )	S <sub>d</sub> (m)	A (kg/(m <sup>2</sup> · h <sup>0.5</sup> ))
Calce (1:3)	1 - 2	0.2 - 0.4	>15
Calce-pozzolana (1:1:2)	2 - 4	0.6 - 1.0	>10
Calce idraulica (1:3)	3 - 6	1.0 - 1.5	>6
Calce e cemento (0.5:0.5:3)	10 - 20	5 - 20	2 - 4
Cemento (1:3)	25 - 40	40 - 60	0.5 - 1.5
Intonaco macroporoso (contenuto aria 20-45%)	2 - 8	0.5 - 1.8	>10

In sostanza, quindi, perché l'intonaco risulti ottimale ai fini dello smaltimento corretto dell'umidità occorre:

- che sia poroso con una malta di calce per garantire una resistenza alla diffusione del vapore minore di 2 m di aria equivalente;
- che sia più impermeabile di una malta di cemento (1:3) per consentire un ridotto assorbimento capillare di acqua (minore di 0.5 kg/(m<sup>2</sup> · h<sup>0.5</sup>))

Queste due esigenze sono tra loro inconciliabili o più correttamente possiamo dire che il rispetto di entrambi i requisiti richiesti non può avvenire attraverso un mera modifica della composizione delle malte o attraverso una scelta di leganti di natura diversa da quelli menzionati, ma va ricercata nell'impiego materiali e/o trattamenti complementari all'intonaco stesso. In particolare, le esigenze di traspirabilità ed impermeabilità possono essere conseguite applicando sulla superficie di un intonaco macroporoso un prodotto idrorepellente a base di alchil

alcossi silani (per brevità silani) capace di ridurre l'assorbimento di acqua ( $A < 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ ) senza però alterare le proprietà di trasmissione del vapore ( $S_d \leq 2 \text{ m}$ ).

L'azione dei silani consiste nel modificare la pelle degli intonaci sui quali vengono applicati in spessore così sottile (quello corrispondente ad una molecola) senza modificarne il colore originale. Dopo il trattamento con silano l'intonaco da materiale idrofilo (cioè affine all'acqua e capace, quindi, di assorbirla) si trasforma in un materiale idrofobo (o anche idrorepellente).

Il risultato di un trattamento con silano dell'intonaco consiste nella persistenza delle gocce d'acqua - che assumono una conformazione sferica - sulla superficie della malta (Fig. 2). Per contro la stessa goccia d'acqua verrebbe rapidamente assorbita dallo stesso materiale in assenza del trattamento (Fig. 2). Il vantaggio principale dell'applicazione del silano consiste nel fatto che esso comunque consente di smaltire in forma di vapore l'umidità presente all'interno della malta, attraverso i pori capillari che non vengono occlusi dal trattamento idrorepellente.



**Fig. 2 - Provini di malta da intonaco trattati (a destra) e non (a sinistra) con idrorepellente a base silanica.**

Quest'ultimo aspetto rappresenta la caratteristica principale del trattamento silanico, giacché la creazione di una semplice barriera all'acqua potrebbe essere realizzata con materiali alternativi (resine, pitture acriliche, rivestimenti plastici) capaci di occludere i pori dell'intonaco. Questo tipo di trattamento, però, impedirebbe la fuoriuscita dell'umidità interna. Inoltre, laddove la superficie è esposta all'irraggiamento solare, il riscaldamento del vapore rimasto intrappolato al di sotto del rivestimento provocherebbe le classiche sbollature e nei casi più gravi il distacco della pellicola superficiale protettiva. Il silano, invece, stabilisce una sorta di senso unico nei confronti dell'acqua, impedendo a quella proveniente dall'esterno di penetrare la stabilitura ed allo stesso tempo garantendo la fuoriuscita in forma di vapore di quella presente nell'intonaco.



Nella pratica per rendere idrorepellente la superficie dell'intonaco si può applicare il silano a spruzzo o a pennello direttamente sulla superficie della stabilitura. L'idrorepellenza della superficie dell'intonaco può essere ottenuta anche realizzando una finitura (1-2 mm) in cui il silano (in polvere o liquido) è stato predisposto. Solitamente queste finiture contengono anche il pigmento necessario per conferire alla stabilitura il colore desiderato.

#### **5.4 Il degrado promosso da alghe e microorganismi**

Garantire l'idrorepellenza dello strato corticale può - in alcuni casi - limitare il degrado arrecato agli intonaci dalle popolazioni algali. Il danno generato da questi microorganismi non è - come si è solito credere - solo di natura estetica, ma esso può consistere nella solubilizzazione del carbonato di calcio presente negli strati corrosivi, prodotta dall'azione delle sostanze generate dal metabolismo algale. Le alterazioni tipiche prodotte dalle alghe possono presentarsi in forma di strati gelatinosi di vario colore, oppure in forma di patine o croste aderenti, o ancora in forma di pellicola pulverulenta di colore variabile dal grigio al nero. I microorganismi responsabili di questi fenomeni, generalmente ciano batteri e microalghe, sono fotoautotrofi. Essi, cioè, necessitano per il loro metabolismo di luce, acqua e sali minerali. Pertanto, l'impiego di sostanze idrorepellenti sulla superficie dell'intonaco, grazie al ridotto tenore di umidità e alla pratica assenza di acqua che essi determinano nello strato corticale esterno esposto alla luce, può impedire la proliferazione della microflora algale. Una conferma indiretta di quanto affermato emerge dall'analisi della Figura 3 che si riferisce ad un normale intonaco senza alcun trattamento superficiale idrofobo. Si può notare come nelle zone dell'intonaco (quelle chiare) che non vengono lambite dall'acqua piovana, la pratica assenza di umidità impedisce alla popolazione algale di proliferare. Le alterazioni dell'intonaco determinate dalle alghe, invece, sono evidenti laddove la pioggia mantiene costantemente umida la superficie della stabilitura.



**Fig. 3 - Alterazione dell'intonaco determinata dalla formazione di alghe nelle sole zone sottoposte al ruscellamento dell'acqua piovana. Le zone di intonaco non lambite dall'acqua si presentano prive di patine algali.**

## 6. CONCLUSIONI

I moderni intonaci macroporosi riproducono in chiave moderna, utilizzando i materiali e le tecnologie attualmente disponibili, la struttura degli intonaci antichi a base di calce e pozzolana, calce e cocchiopesto e calce idraulica. In particolare, nei moderni intonaci l'aggiunta di additivi aeranti consente di ottenere una microstruttura in cui sono disseminate una serie di cavità capaci di:

- garantire compatibilità elasto-meccanica con la muratura ( $E \leq 10 \text{ N/mm}^2$ ;  $R_c \leq 8 \text{ N/mm}^2$ );
- ospitare, senza generare tensioni distruttive, l'aumento di volume connesso con il fenomeno di cristallizzazione dei sali;
- smaltire l'umidità risaliente dalle fondazioni (resistenza al vapore  $\leq 2 \text{ m di aria equivalente}$ ).

Suddette proprietà dall'intonaco debbono essere integrate da un trattamento idrorepellente capace di limitare o impedire l'ingresso nell'intonaco dell'acqua liquida (assorbimento capillare  $\leq 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ ), senza ostacolare la fuoriuscita di umidità, ed allo stesso tempo in grado di limitare il degrado arrecato dai microorganismi e dalle popolazioni algali.

## BIBLIOGRAFIA

- (1) C. Singer, Storia della Tecnologia, Vol. I, pp. 467-470, Ed. Boringhieri.
- (2) L. Colombo, I colori dell'antico Egitto, Pitture e Vernici, 9, pp. 62-63, 1988.
- (3) J.P. Adam, L'Arte di Costruire presso i Romani, Longanesi (Milano).
- (4) L.B. Alberti, L'Architettura (De Re Aedificatoria, 1845), a cura di G. Orlandi, Libro II, Cap. 12, Il Polifilo (Milano).
- (5) A. Palladio, I quattro libri dell'Architettura, Venezia 1570, a cura di L. Magagnato, Il Polifilo (Milano).
- (6) F. Milizia, "Principi di architettura civile", Bassano 1823, Tipografia G. Remondini e Figli.