



# ALGHERO

## PIANO DEL COLORE

### CENTRO STORICO

## RELAZIONI DI ANALISI

### ANALISI DEL MATERIALE

## Abaco materiali di facciata

SINDACO

Marco TEDDE

ASSESSORE

Maurizio PIRISI

DIRIGENTE

Arch. Vittoria LODDONI

FUNZIONARIO

Arch. Elisabetta BULLA

COORDINATORE

Arch. Giovannangela FLORIS

PROGETTISTI

Arch. Marco VISICARO

Geom. Andrea SALVATORE

Data  
Settembre 2009

# -TOMO I-

## I MATERIALI LAPIDEI E IL LORO IMPIEGO IN ARCHITETTURA

### I. I MATERIALI LAPIDEI NATURALI

#### **1 I MINERALI**

- 1.1 *Definizione*
- 1.2 *Condizione Anisotropa E Isotropa Dello Stato Cristallino*
- 1.3 *Proprietà Fisiche*
- 1.4 *Classificazione*

#### **2 LE ROCCE**

- 2.1 *Definizione*
- 2.2 *Introduzione*
- 2.3 *Struttura E Tessitura – Definizione –*
- 2.4 *Classificazione Delle Rocce*
- 2.5 *I Minerali Delle Rocce*
- 2.6 *Composizione Chimica Delle Rocce*
- 2.7 *Proprietà Fisiche E Durevolezza Delle Rocce*
- 2.8 ROCCE MAGMATICHE O IGNEE**
  - 2.8.1 *Definizione*
  - 2.8.2 *Composizione E Caratteristiche Di Un Magma*
  - 2.8.3 *Formazione Di Una Roccia Magmatica*
  - 2.8.4 *Paragenesi*
  - 2.8.5 *Classificazione Delle Rocce Magmatiche*
  - 2.8.6 *Descrizione Di Alcune Rocce Magmatiche Utilizzate Come Materiali Da Costruzione*

#### **2.9 ROCCE SEDIMENTARIE**

- 2.9.1 *Definizione*
- 2.9.2 *Formazione Di Una Roccia Sedimentaria*
- 2.9.3 *Classificazione*
- 2.9.4 Rocce Detritiche O Clastiche**
  - 2.9.5 *I Conglomerati Definizione*
  - 2.9.6 *Le Arenarie*
  - 2.9.7 *Le Argille*
  - 2.9.8 *I Tufi*
- 2.9.9 Rocce Di Sedimentazione Chimica E Biochimica**
  - 2.9.10 *I Calcari*
  - 2.9.11 *Le Dolomie*
  - 2.9.12 *Classificazione Di Calcari E Dolomie*
  - 2.9.13 *Le Evaporati*

## **2.10 ROCCE METAMORFICHE**

2.10.1 *Definizione*

2.10.2 *Metamorfismo*

2.10.3 *Tipi Di Metamorfismo*

2.10.4 *Fattori Del Metamorfismo*

2.10.5 *Limiti Del Metamorfismo*

2.10.6 *Facies Metamorfiche*

2.10.7 *Tessitura*

2.10.8 *Classificazione*

## **3 CRITERI DI IMPIEGO DELLE PIETRE DA COSTRUZIONE**

### **3.1 FATTORI CHE CONDIZIONANO L'UTILIZZO DELLE PIETRE IN ARCHITETTURA**

3.1.1 *Fattore Geologico*

3.1.2 *Fattore Petrografico*

3.1.3 *Fattore Economico*

3.1.4 *Fattore Estetico*

3.1.5 *Classificazione Petrografica E Commerciale*

## **4 LAVORAZIONE DELLE PIETRE DA COSTRUZIONE**

### **4.1 LAVORAZIONE MANUALE**

4.1.1 *Prodotti Della Lavorazione*

## **5 ANTICHI METODI DI TRASPORTO E DI MESSA IN OPERA**

## **II. I MATERIALI LAPIDEI ARTIFICIALI**

## **6 LE MALTE**

## **7 GLI INTONACI**

### **7.1 GLI INERTI**

### **7.2 I LEGANTI**

#### **7.2.1 I Leganti Aerei**

7.2.2 *La Calce Aerea*

7.2.3 *L'acqua Per Lo Spegnimento Della Calce Viva E La Preparazione Delle Malte*

7.2.4 *Il Tempo Di Presa Delle Calci Aeree*

7.2.5 *L'indurimento*

#### **7.2.6 I Leganti Idraulici**

7.2.7 *Le Calci Idrauliche, Dette Anche "Cementi Idraulici Naturali O Calci Forti"*

7.2.8 *Le Pozzolane*

7.2.9 *Il Cemento*

7.2.10 *Il Cemento Portland*

7.2.11 *Cementi A Presa Rapida E Cementi A Presa Lenta*

### **7.3 GLI ADDITIVI**

7.3.1 *Gli Additivi Organici*

7.3.2 *Limiti Ed Inconvenienti Degli Additivi Organici.*

7.3.3 *Gli Additivi Sintetici*

7.3.4 *Inconvenienti E Problemi Degli Additivi Sintetici*

## **8 GLI INTONACI PER INTERNI**

8.1 *Gli Intonaci A Base Calce/Cemento*

8.2 *Intonaci A Base Gesso*

8.3 *Intonaci A Scagliola*

8.4 *Intonaco Premiscelato A Base Gesso*

### **8.5 RAFFRONTO D'ALCUNE PROPRIETA' TRA I DIVERSI INTONACI PER INTERNI**

8.5.1 *La Permeabilità Al Vapore Acqueo*

8.5.2 *Le Condensazioni E Le Efflorescenze Superficiali*

8.5.3 *Il Comportamento Igroscopico*

8.5.4 *Comfort Ambientale E Condensazioni Superficiali*

8.5.5 *L'isolamento Termico*

8.5.6 *La Temperatura Delle Pareti*

8.5.7 *Il Ritiro*

8.5.8 *L'adesione Al Supporto*

8.5.9 *L'elasticità*

8.5.10 *La Resistenza Meccanica*

8.5.11 *Le Caratteristiche Applicative*

8.5.12 *Il Comportamento Al Fuoco*

8.5.13 *La Corrosione*

## **III. IL DEGRADO**

*III. Introduzione*

### **9 IL RUOLO DELL'UMIDITA' NEL DEGRADO DEI MATERIALI NELLE MURATURE**

#### **9.1 LA RISALITA CAPILLARE DELL'ACQUA NEI SOLIDI POROSI**

9.1.1 *L'equilibrio Igrometrico: Fondazione – Muratura – Ambiente*

9.1.2 *La Risalita Dell'acqua Nelle Murature Della Fondazione*

**9.2 LA FORMAZIONE DEL GHIACCIO NEI MATERIALI DA COSTRUZIONE ESPOSTI ALL'ACQUA AMBIENTALE**

**9.3 EFFLORESCENZE SULLE MURATURE E SUBEFFLORESCENZE DENTRO LE MURATURE**

**9.4 L'INFLUENZA DELL'ACQUA SULLE ALTERAZIONI BIOLOGICHE**

**9.5 REAZIONI CHIMICHE "PERICOLOSE" NELLE MURATURE TRA I MATERIALI ORIGINALI: L'ATTACCO SOLFATICO**

## **10 INTERVENTI PER ELIMINARE O RIDURRE L'UMIDITA' DELLE MURATURE A SEGUITO DELLA RISALITA CAPILLARE**

*10.1 Introduzione*

### **10.2 GLI INTERVENTI DI RISANAMENTO**

**10.2.1 I Sifoni Knapen.**

**10.2.2 Gli Intonaci Macroporosi**

*10.2.2.1 La Resistenza Alla Diffusione Del Vapore*

*10.2.2.2 L'assorbimento D'Acqua Per Capillarità*

**10.2.3 Gli Sbarramenti Fisici Alla Risalita Capillare**

*10.2.3.1 Gli Sbarramenti Orizzontali*

*10.2.3.2 Gli Sbarramenti Verticali*

**10.2.4 L'elettro-Osmosi**

## **11 IL DEGRADO DELL'INTONACO**

*11.1 Introduzione*

### **11.2 I FENOMENI DEL DEGRADO**

**11.2.1 Le Cause Fisiche Del Degrado**

*11.2.2 I Distacchi Del Rivestimento*

*11.2.3 Le Fessurazioni Dello Strato Superficiale*

*11.2.4 I Calcinelli O Bottaccioli*

**11.2.5 Il Deterioramento Dell'intonaco A Causa D'azioni Esterne Dovute All'umidità**

*11.2.6 Il Gelo*

*11.2.7 Le Alterazioni Di Carattere Chimico – Fisico*

*11.2.8 L'efflorescenza*

*11.2.9 La Carbonatazione*

*11.2.10 Le Sollecitazioni Fisiche Prodotte Dall'infiltrazione Dell'acqua*

*11.2.11 Il Ruolo Delle Microalghe Nel Degrado Di Un Intonaco*

*11.2.12 Il Ruolo Della Vegetazione Nel Degrado Di Un Intonaco*

## **12 ALCUNI INTERVENTI PER ELIMINARE O RIDURRE I DEGRADI DEGLI INTONACI**

**12.1 INFLUENZA DELLE FIBRE POLIMERICHE SULLA DURABILITA' DI INTONACI A BASE CALCE**

*12.1.1 Introduzione*

*12.1.2 Materiali E Metodologie Di Prova*

12.1.3 *L'impiego Di Fibre Poliacrilonitriliche*

## **12.2 PRODOTTI E TECNICHE PER LA CONSERVAZIONE DELLE SUPERFICI LAPIDEE DELLE FACCIATE NEL CENTRO STORICO**

12.2.1 *Introduzione*

12.2.2 *Consolidamento*

12.2.3 *Protezione*

## **-TOMO II-**

### **IL COLORE**

A **II)** *Generalità Fisiche.*

B **II)** *Il Colore Nella Società Umana*

### **IV. LE PITTURE**

**13 PITTURE AD ACQUA**

**14 PITTURE AD OLIO**

**15 SMALTI**

**16 VERNICI**

**17 TINTE A CALCE**

17.1 *La Tecnica Di Tinteggiatura A Fresco*

17.2 *La Tecnica Di Tinteggiatura A Secco*

17.3 *Tecnica Del Falso Fresco*

17.4 *Trattamento Delle Superfici Da Tinteggiare A Calce*

**17.5 I PIGMENTI NELLE TINTE A CALCE**

17.5.1 *I Pigmenti Base Tradizionalmente Usati Nella Tinteggiatura A Calce*

**18 SISTEMI DI COLORITURA MODERNI MEDIANTE PRODOTTI PITTORICI A BASE CALCE, SILICATI E SILOSSANICI.**

**18.1 PRESCRIZIONI DI CARATTERE GENERALE SULLA PREPARAZIONE DEI SUPPORTI**

18.1.1 *Supporti Di Nuova Esecuzione*

18.1.2 *Restauro Dei Vecchi Supporti*

**18.2 I SISTEMI DI COLORITURA: CARATTERISTICHE, REQUISITI E COMPATIBILITÀ CON I DIVERSI SUPPORTI**

18.2.1 *Scelta Dei Sistemi Di Coloritura E Natura Dei Supporti*

18.2.2 *Caratteristiche Fisiche Dei Sistemi Di Coloritura*

- 18.3 **CONDIZIONI TERMOIGROMETRICHE AMBIENTALI E DEL SUPPORTO ALL'ATTO DELL'APPLICAZIONE**
- 18.4 **SISTEMA DI COLORITURA TINTA A CALCE**
  - 18.4.1 *Le Tinte*
  - 18.4.2 *Tonachini*
- 18.5 **SISTEMA DI COLORITURA PITTURE AI SILICATI DI POTASSIO**
- 18.6 **SISTEMA DI COLORITURA PITTURE SILOSSANICHE**

## **V. IL DEGRADO DELLE TINTEGGIATURE**

*V. Introduzione*

- 19 **LE CAUSE DI DEGRADO DOVUTE ALL'AZIONE DELL'ACQUA E AD ALTRI FATTORI**
- 20 **LE CAUSE DEL DEGRADO BIOLOGICO**
  - 20.1 **BATTERI**
  - 20.2 **MUSCHI, LICHENI E FUNGHI**
  - 20.3 **ALGHE**

**-TOMO III-**

## **ABACO DEL DEGRADO**

### **VI. FORME E TIPOLOGIE DI DEGRADAZIONE DEI MATERIALI LAPIDEI E DELLE TINTEGGIATURE**

- 21 **ALTERAZIONE CROMATICA**
- 22 **ALVEOLIZZAZIONE**
- 23 **BOTTACIOLI DELLA CALCE**
- 24 **BRUCIATURA DELLA CALCE**
- 25 **CAVILLATURA**
- 26 **CONCREZIONE**

- 27 CROSTA
- 28 DEFORMAZIONE
- 29 DEGRADAZIONE CROMATICA
- 30 DEGRADAZIONE DIFFERENZIALE
- 31 DEPOSITO SUPERFICIALE
- 32 DISGREGAZIONE
- 33 DISTACCO
- 34 EFFLORESCENZA
- 35 EROSIONE
- 36 ESFOLIAZIONE
- 37 FRATTURAZIONE O FESSURAZIONE SUPERFICIALE
- 38 INCROSTAZIONI
- 39 INGRIGIMENTO E RITENZIONE DI SPORCO
- 40 LACUNA
- 41 MACCHIA
- 42 MANCANZA
- 43 PATINA
- 44 PATINA BIOLOGICA
- 45 PELLICOLA
- 46 PITTING
- 47 POLVERIZZAZIONE
- 48 PRESENZA DI VEGETAZIONE
- 49 RIGONFIAMENTO
- 50 SCAGLIATURA
- 51 SFIAMMATURA DEL COLORE
- 52 SOLFATAZIONE DELL'INTONACO
- 53 SOLUBILIZZAZIONE DELLA CALCE

54 SPOLVERATURA DELLE COLORITURE MINERALI O SFARINAMENTO

## **-TOMO IV-**

### **IL CENTRO STORICO D'ALGHERO**

A **IV)** *Introduzione .*

#### **VII. PRINCIPALI RISORSE MATERIALI DA COSTRUZIONE DEL TERRITORIO**

55 LE ROCCE CALCARENITICHE: MATERIALE DA COSTRUZIONE DEL CENTRO  
STORICO D'ALGHERO

55.1 COME SI E' FORMATA LA PIETRA D'ALGHERO

55.2 IL MASSACA' DI ALGHERO

55.3 LE CAVE E LA LAVORAZIONE

56 I FORNI PER PRODURRE CALCE VIVA

57 I FORNI PER PRODURRE IL CEMENTO PORTLAND

58 GIACIMENTI PER L'ESTRAZIONE DI TERRE COLORANTI

## **-TOMO V-**

### **ESPERIENZE DEL LABORATORIO La.Ma.Te.C.S.**

**VIII. INDAGINI CONOSCITIVE TECNICO-DIAGNOSTICHE FINALIZZATE  
ALLA DEFINIZIONE DELLO STATO DI DEGRADO DI SIGNIFICATIVI  
AMBITI DI FACCIATE DI ALCUNI EDIFICI DEL CENTRO STORICO  
D'ALGHERO**

## **59    TECNICHE ANALITICHE**

**59.1   MICROSCOPIA OTTICA**

**59.2   DIFFRAZIONE AI RAGGI X**

**59.3   POROSIMETRIA**

**59.4   MICROSCOPIA ELETTRONICA A SCANSIONE - SPETTROMETRIA A RAGGI X**

**59.5   SPETTROFOTOMETRIA ALL'INFRAROSSO**

## **60    INDAGINI TECNICO–DIAGNOSTICHE**

*60.1   Premessa*

**SCHEDA N°1**

**SCHEDA N°2**

**SCHEDA N°3**

**SCHEDA N°4**

**SCHEDA N°5**

**SCHEDA N°6**

**SCHEDA N°7**

## **-TOMO I-**

# **I MATERIALI LAPIDEI E IL LORO IMPIEGO IN ARCHITETTURA**

In base alla genesi possiamo schematicamente distinguere i materiali lapidei in quelli che hanno un'origine naturale ed in quelli d'origine artificiale. In queste pagine si descrivono dapprima i minerali ed alcune loro proprietà in quanto si tratta dei costituenti delle rocce. In seguito si affrontano: la genesi, la struttura, la composizione mineralogica e la sistematica dei diversi tipi di rocce. Il tema dell'impiego delle rocce in architettura viene sviluppato riportando i criteri per l'impiego e la messa in opera, le metodologie di lavorazione e le loro proprietà fisiche e durabilità.

Si fa particolare riferimento alla roccia utilizzata per edificare il Centro Storico D'Alghero, indicandone: la classificazione, i caratteri mineralogico-petrografici, l'inquadramento geologico, le aree di cava e l'impiego nell'architettura.

Sono poi descritti i cosiddetti materiali lapidei artificiali "gli intonaci", insieme con le materie prime, i processi di preparazione, le tipologie più rappresentative.

Infine vengono presi in considerazione i fenomeni di degrado che interessano questi materiali con riferimento a quelli che interessano il Centro Storico d'Alghero.

## **I. I MATERIALI LAPIDEI NATURALI**

Le rocce sono state impiegate come materiali naturali da costruzione fin dai tempi più antichi per le loro eccezionali qualità. Infatti, per resistenza, durabilità, varietà di aspetto e colorazione, esse potevano essere utilizzate sia per la costruzione di edifici che per la preparazione di ornamenti, sia a scopi celebrativi che rituali. L'importanza della scelta dei materiali lapidei e lo studio scientifico dei materiali lapidei naturali è molto importante sia per l'architettura sia per l'archeologia che per il restauro e la conservazione.

### **1 I MINERALI <sup>1</sup>**

#### *1.1 Definizione*

Si definisce minerale un corpo naturale, per lo più solido ed inorganico, omogeneo dal punto di vista chimico e fisico, in quella condizione stabile, anisotropa dello stato solido che è lo stato cristallino.

## 1.2 *Condizione Anisotropa E Isotropa Dello Stato Cristallino*

I minerali assumono una forma poliedrica caratteristica, detta cristallo, definibile come una porzione omogenea di sostanza allo stato cristallino delimitata da facce, spigoli e vertici. La forma esterna dei cristalli è strettamente legata alla struttura reticolare (reticolo cristallino) che hanno gli atomi delle sostanze componenti il minerale.

Il reticolo cristallino va considerato come un complesso di atomi disposti ordinatamente e periodicamente. Ogni minerale ha costanti reticolari caratteristiche e ben determinate che ne consentono il riconoscimento in base al fenomeno fisico della diffrazione dei raggi X.

I cristalli sono contraddistinti dalla simmetria che si manifesta nella disposizione e ripetizione di facce, spigoli e vertici.

Un tipo di classificazione dei minerali si basa sul grado di simmetria.

Si distinguono tre gruppi di simmetria: monometrico, dimetrico e trimetrico.

Ogni gruppo comprende diversi sistemi: monometrico; trigonale, tetragonale ed esagonale; rombico, monoclinico e triclino.

Ciascun sistema è suddiviso in classi: monometrico (5 classi); trigonale (7), tetragonale (7) ed esagonale (5); rombico (3), monoclinico (3) e triclino (2).

Nei minerali dei gruppi dimetrico e trimetrico capita spesso di osservare che talune proprietà si manifestano con una intensità diversa a seconda della direzione nella quale vengono considerate. Così per es. la conducibilità elettrica, la dilatazione e conducibilità termica, la tenacità ed in particolare la rifrazione della luce, hanno in questi minerali un valore diverso nelle diverse direzioni. Questo vuol dire che il calore e l'energia elettrica si trasmettono più rapidamente in alcune direzioni e meno in altre che la dilatazione prodotta dal calore non è uniforme in tutto il corpo, che la luce non si propaga sempre alla stessa maniera in tutti i punti della massa, ecc. I corpi che hanno questa caratteristica vengono chiamati anisotropi mentre tutti gli altri, nei quali non esistono direzioni privilegiate, si dicono isotropi. Sono isotropi in genere tutti i corpi amorfi in condizione vetrosa metastabile quale l'ossidiana nonché i cristalli del sistema monometrico.

## 1.3 *Proprietà Fisiche*

Le proprietà fisiche costituiscono un elemento utilissimo per il riconoscimento dei minerali in quanto caratteristiche peculiari di ciascun minerale. In particolare le proprietà ottiche (mono o birifrangenza, indice di rifrazione, pleocroismo, colore d'interferenza) assumono un carattere diagnostico di primaria importanza. Infatti il riconoscimento dei

minerali avviene principalmente per via ottica (microscopia ottica in luce polarizzata su sezione sottile) sfruttando queste proprietà.

Nei cristalli di ciascun minerale si possono distinguere le proprietà scalari e le proprietà vettoriali.

Per definire le proprietà scalari è sufficiente un numero. Tra di esse ricordiamo: la densità, il volume, la temperatura.

Per definire le proprietà vettoriali è necessario precisare una direzione e fornire un numero. Tra di esse ricordiamo: la velocità di propagazione della luce, la dilatazione termica, la coesione, la sfaldatura (rottura secondo superfici piane normali a direzioni di minima coesione), l'elasticità, la durezza, varie proprietà elettriche e magnetiche.

#### 1.4 *Classificazione*

Le diverse classificazioni proposte seguono il criterio chimico, fisico, genetico, strutturale, cristallografico. Si esamina ora il criterio cristallografico (l'elenco comprende solo i minerali che più frequentemente sono presenti nelle rocce):

1. ELEMENTI: rame Cu, argento Ag, oro Au
2. SOLFURI: pirite FeS<sub>2</sub>
3. ALOIDI: salgemma NaCl
4. OSSIDI: quarzo SiO<sub>2</sub>, ematite Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
5. CARBONATI: calcite CaCO<sub>3</sub>, dolomite Ca Mg (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>
6. SOLFATI: gesso CaSO<sub>4</sub> 2 H<sub>2</sub>O
7. FOSFATI, ARSENIATI, VANADIATI: apatite
8. SILICATI: sono costituiti da silicio, ossigeno e metalli e sono caratterizzati dalla presenza di tetraedri ("piramidi" a base triangolare con quattro facce eguali tra loro) corrispondenti al gruppo (SiO<sub>4</sub>)<sup>4-</sup>.

La loro classificazione si effettua su base strutturale in funzione del numero e della disposizione dei tetraedri; si distinguono così in:

- 8.1 **Nesosilicati:** tetraedri isolati uniti solo da cationi  
olivina, granati, zirconio, topazio
- 8.2 **Sorosilicati:** due tetraedri accoppiati  
Epidoti
- 8.3 **Ciclosilicati:** anelli costituiti da 3, 4, 6 tetraedri  
berillo (smeraldo, acquamarina)

- 8.4 **Inosilicati:** tetraedri disposti a catena
  - anfiboli (silicati calcio-ferro-magnesiaci)
  - pirosseni (silicati ferro-magnesiaci)
- 8.5 **Fillosilicati:** anelli di tetraedri in strati ripetuti
  - mica muscovite (silicato di alluminio e potassio)
  - biotite (silicato di ferro e magnesio)
  - serpentino (silicato di magnesio)
  - minerali argillosi (silicoalluminati)
- 8.6 **Tectosilicati:** tetraedri disposti in reticolo tridimensionale
  - feldspatoidi (allumosilicati di metalli alcalini)
  - leucite, nefelina
  - feldspati (allumosilicati di potassio, sodio e calcio)
  - ortose
  - plagioclasio (albite, oligoclasio, andesina, labradorite, bytownite, anortite)

9. SOSTANZE ORGANICHE: ambra.

## 2 LE ROCCE<sup>2</sup>

### 2.1 *Definizione*

Si definisce roccia un'associazione naturale costituita da un aggregato mono o polimineralico che rappresenta il risultato tendenzialmente di equilibrio di un processo genetico che si ripete in modo regolare e/o che si sviluppa a grande scala.

### 2.2 *Introduzione*

Le rocce sono generalmente costituite da un numero limitato di specie minerali. In alcune è presente un solo minerale essenziale: i calcari, ad esempio, sono costituiti quasi interamente da calcite; in altre si trovano diversi minerali: i conglomerati, ad esempio, possono avere una composizione mineralogica molto complessa.

La determinazione della composizione mineralogica di una roccia è molto importante per la sua conoscenza e la sua classificazione.

### 2.3 *Struttura E Tessitura – Definizione –*

Con il termine struttura si indica la forma dei singoli minerali componenti una roccia, le loro dimensioni, il modo di aggregarsi e le reciproche relazioni.

Con il termine tessitura si indica la disposizione su larga scala dei componenti nello spazio e si definiscono quegli aspetti determinati dalle orientazioni dei cristalli (insieme delle caratteristiche di una roccia a scala geologica).

Dopo aver determinato la composizione mineralogica di una roccia, condizione necessaria, ma non sufficiente, si procede all'osservazione della struttura, effettuata al microscopio. La struttura è caratteristica di ogni tipo di roccia. Ad esempio, rocce con eguale associazione mineralogica ed eguale composizione chimica possono avere strutture diverse: un caso molto semplice può essere rappresentato da un calcare di Viggiù e da un marmo di Carrara. Entrambe le rocce sono costituite da calcite per la quasi totalità e la loro composizione chimica è quasi esclusivamente rappresentata da carbonato di calcio. La loro struttura risulta tuttavia completamente diversa: nel calcare si nota la struttura oolitica (presenza di ooliti, corpuscoli sferici e subsferici), nel marmo si nota la struttura granoblastica in cui i cristalli di calcite sono disposti a mosaico.

#### 2.4 *Classificazione Delle Rocce*

Le rocce possono essere classificate in base alla loro genesi in:  
rocce magmatiche o ignee (formatesi per cristallizzazione di un magma);  
rocce sedimentarie (formatesi in seguito al deposito di materiale proveniente dalla degradazione di altre rocce);  
rocce metamorfiche (formatesi in seguito alla trasformazione di altre rocce sotto l'azione di agenti esterni quali pressione e temperatura).

#### 2.5 *I Minerali Delle Rocce*

Prendiamo in considerazione i minerali essenziali (costituenti veri e propri della roccia), trascurando i minerali accessori (diffusi con regolarità nelle rocce, ma in quantità ridotte).

Le rocce magmatiche sono costituite da: quarzo, ortose, plagioclasio, miche, anfiboli, pirosseni, olivina, feldspatoidi. Si noti che i feldspati (ortose e plagioclasio) costituiscono da soli oltre il 50% dei minerali di queste rocce.

Le rocce sedimentarie sono costituite da quasi tutti i precedenti minerali con aggiunta di calcite, dolomite e gesso.

Le rocce metamorfiche sono costituite da tutti i precedenti minerali con aggiunta di altri minerali caratteristici (granato, serpentino, ecc.).

## 2.6 *Composizione Chimica Delle Rocce*

Sulla base di analisi chimiche effettuate su campioni, è stata compilata una graduatoria degli elementi più diffusi nelle rocce, indipendentemente dalla genesi di queste: ossigeno: 46,6%; silicio: 27,7%; alluminio: 8,1%; ferro: 5,0%; calcio: 3,6%; sodio: 2,8%; potassio: 2,6%; magnesio: 2,1% (i valori sono espressi come percentuali in peso).

Questi otto elementi, che hanno ciascuno una percentuale superiore all'1%, costituiscono quasi il 99% e sono detti elementi maggiori.

## 2.7 *Proprietà Fisiche E Durabilità Delle Rocce*<sup>3</sup>

**1)** In senso assoluto per **peso specifico** s' intende il rapporto tra il peso di un corpo ed il volume da esso occupato. In pratica si fa riferimento ad un peso specifico detto relativo "chiamato **densità**" che se riferito all'acqua, si definisce come il rapporto tra il peso di un corpo ed il peso di un ugual volume di acqua distillata alla temperatura di 4°C. La densità si misura con il picnometro, si indica con G ed è uguale al rapporto tra il peso del campione lapideo polverizzato ed il peso di ugual volume di acqua distillata a 4°C e si esprime in mg/cm<sup>3</sup> (per i minerali solubili in acqua, si userà un altro liquido di riferimento di cui si conosca la densità rispetto all'acqua).

**2) Il peso di volume** si indica con T ed è uguale al rapporto tra il peso di un campione di roccia asciutto ed il suo volume. Peso specifico e peso di volume possono coincidere nelle rocce compatte, ma in quelle porose, in cui il volume dei pori e delle fessure sono occupate dall'aria (vuoti), il peso di volume sarà inferiore al peso specifico.

**3) Grado di compattezza** è uguale al rapporto T/G, ovvero tra il peso dell'unità di volume ed il peso specifico (densità). Il valore del grado di compattezza è sempre minore di uno e più si avvicina ad uno, tanto è più compatta la roccia. Ciò è importante per rendersi conto della quantità d'acqua che possono assorbire le costruzioni.

**4) La porosità** è una proprietà dei corpi solidi di presentare spazi vuoti detti "pori" tra le particelle che li compongono. Si può distinguere una **porosità originaria**, dovuta agli interstizi tra gli elementi costitutivi la roccia, quali i giunti di sedimentazione e gli interstizi di discontinuità nei reticoli cristallini; ed una **porosità acquisita** dovuta alla soluzione d'elementi solubili, a fratture o ad altre alterazioni quali l'essiccamento. Si può ulteriormente distinguere una **porosità reale** detta "porosità assoluta" che si indica con p, la quale tiene conto dei vuoti interni alla roccia fino ad un livello di capillarità, essa è espressa in percentuale.

Indicando con  $V_v$  (il volume dei pori vuoti), con  $V$  (il volume totale della roccia nelle condizioni iniziali), con  $V_s$  (volume della parte solida della roccia ridotta in polvere), avremo la seguente proporzione dove  $V_v: V=p:100$ . Ma il volume  $V_v$  dei pori vuoti è uguale a  $V-V_s$ , da cui la proporzione precedente diventerà  $(V-V_s):V=p:100$ . Ricordiamo che il volume totale della roccia nelle condizioni iniziali ( $V$ ), è espresso come peso di volume indicato con  $T$ ; inoltre il volume della parte solida della roccia ridotta in polvere è espresso con peso specifico o densità ( $G$ ), perciò nella proporzione precedente avremo:

$$p = \frac{V - V_s}{V} \cdot 100; \quad p = \frac{\frac{1}{T} - \frac{1}{G}}{\frac{1}{T}} \cdot 100;$$

da cui

$$p = T \cdot \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{G} \right) \cdot 100; \quad p = \left( \frac{T}{T} - \frac{T}{G} \right) \cdot 100; \quad p = \left( 1 - \frac{T}{G} \right) \cdot 100$$

ma noi sappiamo che  $T/G$  è uguale al grado di compattezza indicato con  $C$ , quindi avremo  $p = 1 - C \cdot 100$ .

In base alla porosità reale percentuale distingueremo:

- Rocce estremamente porose = più del 20%.
- Rocce molto porose = 10 -20%.
- Rocce abbastanza porose = 5 -10%
- Rocce mediamente porose = 2,5 - 5%.
- Rocce poco porose = 1 - 2,5%
- Rocce molto compatte = meno dell'1%.

Le arenarie hanno una porosità compresa tra il 7 ed il 34%. Oltre una porosità reale si può distinguere una **porosità apparente**, che è uguale alla percentuale in volume di acqua che alla pressione di 150 atmosfere può assorbire un provino di rocce dopo aver espulso l'aria per riscaldamento. Poiché i pori completamente isolati e quelli estremamente fini non possono essere raggiunti dall'acqua, la porosità apparente è notevolmente inferiore a quella reale.

**5)** Altra proprietà è l'**imbibizione** misurata dal coefficiente di imbibizione dato dalla quantità di acqua che un volume o una massa di roccia si imbeve, una volta immersa per un tempo sufficiente lungo ed in determinate condizioni. Il tempo d'immersione ha molta importanza poiché l'acqua penetra dapprima nei pori velocemente, poi sempre più lentamente; dopo almeno un centinaio di ore generalmente, la saturazione è del 90%

circa. Il coefficiente di imbibizione è molto importante poiché dà indicazioni sulla compattezza, resistenza e durezza della roccia.

L'imbibizione, infatti, rammollisce la roccia e può ridurre di metà la resistenza. A parità di altre condizioni se una roccia contiene più argilla di un'altra, l'imbibizione aumenta fortemente.

Le arenarie hanno un coefficiente di imbibizione che si aggira all'incirca tra l'1,5% ed il 7%.

**6) L'assorbimento per capillarità** è una proprietà sfavorevole, poiché favorisce l'umidità e l'imbibimento della roccia fino a dar luogo a desquamazioni ed efflorescenze per aumento di volume, favorendo inoltre l'aggressione chimica. Le desquamazioni, gli sfarinamenti, le efflorescenze sono strettamente legati alla presenza dei sali disciolti nell'acqua. I sali sono normalmente presenti nelle murature umide (classificati a seconda dell'anione) sono i cloruri, i nitrati ed i solfati. Nella maggioranza dei casi si tratta del solfato di sodio e di magnesio. Il solfato di calcio, anch'esso, generalmente presente nelle vecchie murature, è scarsamente solubile in acqua e tende a rimanere all'interno della struttura. Sono principalmente due gli effetti deleteri che derivano dall'accumulo di sostanze saline nella muratura:

- **aumento di volume** nel passaggio fisico da sale disciolto in acqua a sale allo stato cristallino solido, con il conseguente instaurarsi di tensioni sotto la superficie muraria determinandone, col tempo, il degrado.

- **possibilità di reazione tra i solfati ed alcuni costituenti del legante**, di natura cementizia, impiegato nella formulazione dell'intonaco da risanamento con formazione di composti espansivi.

La velocità di risalita è massima all'inizio e diviene poi impercettibile tendendo all'equilibrio.

Nei muri in pietra l'altezza massima viene raggiunta dopo alcuni anni. Le arenarie argillose e le rocce contenenti minerali argillosi, possono assorbire e a volte superare la quantità di circa 10 kg di acqua in un'ora per metro quadro di superficie.

**7) L'igroscopicità** è una proprietà invece data dal confronto tra il peso di un provino di roccia essiccato a 110° centigradi con il peso medesimo dopo esposizione all'aria satura d'umidità. I minerali più igroscopici sono quelli solubili e gli argillosi.

**8) La permeabilità** è una proprietà delle rocce di essere attraversate da fluidi che muovono secondo gradiente pressorio, le rocce permeabili sono quelle con vuoti sufficientemente grandi ed intercomunicanti.

a) **La permeabilità all'acqua** viene misurata dalla quantità di acqua che passa nell'unità di tempo attraverso l'unità di superficie di una sezione di roccia con cadente uno, detto anche "pendenza piezometrica" (cioè l'assorbimento che la quota piezometrica di una corrente d'acqua subisce per unità di percorso), ed a una determinata temperatura. La permeabilità non è proporzionale alla porosità, infatti, un gran numero di capillari (porosità) offre maggior resistenza di un canale di ugual volume (permeabilità).

La permeabilità nelle arenarie varia, si va da arenarie più permeabili poco cementate dette "semicoerenti", fino ad arrivare a quelle più impermeabili ed a cemento omogeneo.

b) **La permeabilità all'aria** è invece una proprietà delle rocce che ci permette di conoscere la quantità di aria che può passare dall'interno all'esterno di una parete e viceversa. Se la ventilazione esterna è sufficiente gli ambienti tenderanno rapidamente ad asciugarsi soprattutto quando la temperatura interna è maggiore di quella esterna. Per l'arenaria la quantità in  $m^3$  di aria che attraversa un  $m^2$  di muro dello spessore di 72cm in un'ora, per ogni grado di temperatura (inteso come differenza da una parte e dall'altra del muro) è di  $2,32m^3/h$ . Il ricambio d'aria o ventilazione può aumentare fino a quattro volte a causa dell'aumento del vento o diminuire fino alla metà per l'aumento dell'umidità.

9) Altra proprietà è il **calore specifico** dato dal rapporto tra il calore fornito e l'innalzamento di temperatura per unità di massa.

10) **La dilatazione lineare**, invece, indicata con  $L = L_0 (1 + \lambda \Delta t)$ , è uguale alla lunghezza iniziale che moltiplica  $1 + \lambda \Delta t$ , dove  $\lambda$  è il coefficiente di dilatazione lineare di quella roccia.

a) **La dilatazione cubica** è data dall'aumento di volume  $\Delta V = \gamma V_0$  dove  $\gamma$  è uguale all'incirca a  $3 \lambda$ . La dilatazione che subiscono le rocce sottoposte all'azione del calore, ha una certa importanza nelle costruzioni: il coefficiente di dilatazione varia in relazione ai vari tipi di rocce; la conducibilità termica interessa soprattutto i materiali utilizzati per le murature delle case. La resistenza al calore è una proprietà dovuta alla capacità delle rocce di resistere alla calcinazione ed alla disidratazione.

11) Le rocce presentano, in modo più o meno notevole, una certa **elasticità e compattezza**; si possono, quindi, flettere ed anche comprimere, naturalmente entro certi limiti.

L'elasticità delle rocce non è la stessa in tutte le direzioni, ad eccezione delle sostanze isotrope quali i porfidi, i graniti e le trachiti ecc; non presentano elasticità in tutte le direzioni e sono dette anisotrope invece le arenarie, i tufi ed altre rocce. La compattezza

nelle rocce può essere vista come solidità, espressa come resistenza alla compressione, resistenza alla trazione, resistenza alla flessione. Le rocce friabili sono poco resistenti; la resistenza allo schiacciamento si misura sottoponendo un provino cubico con 5/7 di centimetro di lato al torchio idraulico: espresso quindi dal rapporto P/S in Kg/cm<sup>2</sup>. Nelle rocce stratificate e scistose maggior pressione può essere esercitata in senso normale ai piani di stratificazione e di scistosità. La resistenza allo schiacciamento varia in variazione ai vari tipi di rocce: nelle arenarie oscilla fra 100 e 2000 Kg per cm<sup>2</sup>.

La resistenza alla trazione nelle rocce è molto debole ed è in genere pari ad 1 /30 della resistenza allo schiacciamento, mentre la resistenza alla flessione è di circa 1/ 7 della resistenza allo schiacciamento.

**12) La divisibilità** è invece l'attitudine delle rocce a dividersi secondo direzioni predeterminate, essa può essere palese o latente. Si possono distinguere quattro tipi di divisibilità: per stratificazione, per scistosità, per fessurazione, per fratturazione.

**13)** Altra proprietà tecnica delle rocce è **la durezza** definita dalla loro segabilità con diversi attrezzi da taglio: verranno definite tenere i tufi, i calcarei tufacei; semidure i calcari ordinari e le arenarie tenere; dure i calcari cristallini e le arenarie forti; durissimi i graniti, i porfidi ed i diaspri.

**14)** Importante proprietà è **la durabilità** di una roccia, cioè la sua resistenza contro le azioni chimiche e fisiche degli agenti atmosferici e di tutte le azioni che, in qualche modo tendono a degradarla nel tempo. Le rocce all'esterno subiscono un degrado chimico, fisico e biologico; per gli ambienti interni è necessario conoscere alcune caratteristiche delle pietre scelte quali durezza e resistenza all'usura.

Gli elementi che influenzano la durabilità possono dividersi in:

- **(Attivi)** quali agenti chimici, fisici, biologici, climatici.

- **(Passivi)** quali le caratteristiche petrografiche delle varie rocce e metodi delle loro messa in opera.

- **Gli agenti attivi** di degradazione chimica comprendono l'azione dell'acqua, dell'ossigeno, dell'anidride carbonica, dell'acido solforico e del cloruro di sodio. Gli agenti attivi di degradazione fisica comprendono l'azione dell'acqua, l'escursioni termiche, l'alternazione umido – secco, lo smog, l'azione del gelo e del disgelo, la salsedine.

Gli agenti attivi di degradazione biologica comprendono l'azione delle alghe, dei funghi, dei licheni, delle muffe, dei muschi, delle piante superiori, degli escrementi organici.

- Per quanto riguarda la degradazione chimica dell'acqua bisogna dire che diverse rocce assorbono l'acqua con facilità ed aumentano di volume disgregandosi. Vari minerali argillosi e le zeoliti, gonfiandosi d'acqua sono causa di degrado di alcune arenarie.

- L'ossigeno, specialmente se disciolto in acqua, produce mutazioni cromatiche dei colori originali di alcune rocce. Nelle acque meteoriche è disciolta aria più ricca d'ossigeno di quella atmosferica, soprattutto d'ozono che è molto reattivo. Ancora l'ossigeno crea danno ossidando i solfuri metallici presenti nelle rocce e liberando acido solforico; con l'idrolisi dei solfati si formano macchie dovute agli idrossidi metallici.

- L'anidride carbonica presente nell'aria, invece dissocia i silicati in silice idrata ed idrossilicati di alluminio, in ossidi metallici idrati, in carbonati alcalini o alcalino terrosi. Parte dei prodotti di alterazione è solubile e viene asportata dalle acque meteoriche, ricche di anidride carbonica e che conseguentemente danno vita ad un ciclo continuo molto lento, maggiormente avvertibili in rocce già alterate, quando sono state messe in opera all'atto costruttivo. Sulle rocce carboniche l'anidride carbonica provoca trasformazioni dei carbonati in bicarbonati che solubili vengono dilavati.

- L'anidride solforosa dell'aria, eliminata nelle combustioni, con l'acqua forma acido solforico, il quale attacca alcuni silicati dissociandoli in elementi argilloso-solfati solubili e silice idrata. Il carbonato di calcio con l'acido solforico forma solfato di calcio cioè gesso, che con il particolato atmosferico forma una crosta nera al di sotto della quale il carbonato tende a disgregarsi.

- Tra i fattori chimici la salsedine NaCl è tra le meno nocive, anche se alcuni calcarei a contatto con l'acqua o aerosol marino divengono friabili per reazione al doppio scambio tra carbonato di calcio, solfato e cloruro di magnesio, formando elementi solubili quali cloruro e solfato di calcio.

-I degradi fisici provocati dall'acqua e da tutte le forme umide ad essa similari quali (neve), nebbia, alta percentuale di umidità atmosferica ecc, agevolano l'opera di degrado chimico, che viene asportato con il dilavamento.

-Le escursioni termiche sono fonte di degrado fisico, per esempio gli sbalzi di temperatura tra giorno e notte, provocano rispettivamente dilatazione e contrazione delle rocce, le quali degradano sotto forma di croste o squame. Le rocce formate da più minerali desquamano secondo un processo caratteristico per ogni minerale che le compone.

- Altro degrado fisico è provocato dall'alternanza umido con il secco, le rocce argillose sono sensibili e come conseguenza si gonfiano e si contraggono

- Anche lo smog, un particolato catramoso e carbonioso, tendente a trattenere sostanze chimiche aggressive, depositandosi sulle superfici lapidee, forma le cosiddette “croste nere”, causa di degrado.

- Nelle zone dove è frequente l'alternanza del gelo con il disgelo, le rocce porose, fessurate ed in grado di far entrare acqua subiscono espansione fino al 9% durante la gelata, quindi cicli di gelo – disgelo provocano degrado lapideo. Alcune arenarie sono gelive.

- Nelle zone costiere dove si è più esposti all'aerosol marino saturo di sali, per condizioni di alternanza di clima umido con il secco nonché alla presenza di un ciclo di concentrazione e saturazione, di soluzione e cristallizzazione della salsedine, il cloruro di calcio può saturare fori o fessure presenti su rocce in vicinanza del mare provocandone il degrado. In presenza di carbonato di calcio si ha, infatti, una reazione di doppio scambio tra quest'ultimo, il solfato e il cloruro di magnesio, formando elementi solubili quali cloruro e solfato di calcio.

- Le cause del degrado biologico<sup>4</sup> sono spesso associate a quelle chimico – fisiche. Alghe, funghi, licheni, muffe, muschi e piante superiori emettono anidride carbonica ed acidi organici determinando erosione chimica e formando lesioni e spaccature, che innescano un degrado fisico. Le alghe, i funghi, i licheni, le muffe, e i muschi hanno, d'altronde, la funzione di preparare il terreno, di arricchirlo di sostanze nutritive per la sopravvivenza delle piante superiori. Alcuni tipi di vegetazione cambiano il colore dei lapidei. Gli escrementi organici animali (uccelli etc.) sviluppano acidi organici quali acido nitrico, nitrati, acido fosforico, i quali intaccano i carbonati con formazione di sali solubili, dilavabili.

Frequentemente in rocce, abitazioni e monumenti esposti all'aperto, sia in ambiente urbano, che rurale o marino, mostrano fenomeni alternativi che si manifestano in un annerimento più o meno diffuso delle superfici.

Soprattutto nelle città tale fenomeno viene interpretato come effetto della deposizione di inquinanti, cioè come risultato degli effetti dello smog ed in particolare delle particelle carboniose che si adsorbono alle superfici andando a formare incrostazioni di diversa forma e spessore, più o meno omogenee, compatte e fortemente ancorate al substrato, comunemente denominate “croste nere”.

I numerosi studi effettuati sulla composizione chimica di tali alterazioni rilevate in particolare nei centri storici mostrano, infatti, che esse sono costituite essenzialmente da

gesso (solfato di calcio biidrato =  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) e particelle carboniose, sebbene alcune differenze siano riscontrabili in relazione al tipo di particolato atmosferico caratteristico del sito.

L'associazione delle "croste nere" esclusivamente con fenomeni di inquinamento chimico non è però del tutto giustificata e numerosi sono i casi in cui i fenomeni di "annerimento" delle superfici hanno invece un'origine biologica.

Diversi organismi pionieri ed in particolare, cianobatteri, alghe verdi di habitat terrestre, funghi ed anche licheni possono formare patine o croste di morfologia apparentemente simile, almeno per un occhio profano. La pigmentazione scura va interpretata come una sorta di adattamento ad un ambiente poco favorevole per motivi di irraggiamento solare e di aridità edafica (mancanza di nutrimento).

Quantitativamente si può osservare che la massima concentrazione si rileva nelle esposizioni settentrionali e non coperte. Ciò può essere spiegato considerando che il fattore idrico è il maggior fattore limitante e che le condizioni microclimatiche e topografiche migliori per la crescita di questi organismi si realizzano dove più elevata è la possibilità di condensa e dove minore è il surriscaldamento che inaridisce ulteriormente il substrato. Nelle esposizioni meridionali, pur realizzandosi un apporto supplementare legato alla pioggia battente avviene un'evaporazione più rapida.

Rispetto al problema delle "croste nere" legate all'inquinamento atmosferico, si può osservare che esistono limitate aree dove il fenomeno si manifesta in maniera rilevante in quanto la deposizione degli inquinanti ed il loro adsorbimento alle superfici si realizza solo in quelle zone dove c'è una totale riduzione del dilavamento dovuto alla pioggia.

In realtà tali patine mostrano per un occhio più attento una certa differenza visiva rispetto a quelle biologiche, soprattutto in relazione ad un colore più tendente al bruno scuro che al nero.

Inoltre la loro distribuzione è limitata alle zone in "ombra di pioggia" e dove c'è dilavamento si assiste invece alla loro rimozione. Nel caso delle patine biologiche si realizza l'esatto contrario.

Va evitata quindi la consuetudine, frequente in ambiente urbano, di considerare indiscriminatamente i fenomeni di "annerimento" come esclusivamente legati allo smog, perché in condizioni in cui l'acqua può arrivare sulle superfici la colonizzazione biologica diventa rilevante. Ciò si realizza in particolare nelle esposizioni soggette alla pioggia battente o nei casi di superfici anche debolmente inclinate (es. bastioni, muraglioni etc.).

- **Gli elementi passivi**<sup>5</sup> che influenzano la durabilità possiamo dividerli in tre classi di agenti di degradazione: la prima classe riguarda le caratteristiche petrografiche, la seconda la condizione della messa in opera, la terza lo stato della superficie e la forma del litotopo da usarsi.

**a)** Per ciò che riguarda la prima classe evidenziamo che le rocce monominerali sono più resistenti; le rocce quali le arenarie, invece, si comportano diversamente in funzione di uno o alcuni componenti (es. le arenarie a cemento siliceo sono di durabilità maggiore delle arenarie a cemento argilloso).

Altro fattore petrografico è la tessitura di un litotipo, una roccia porosa ad esempio facilita l'assorbimento dell'acqua e risente del gelo, le rocce tagliate controvento sono soggette a maggiore imbibizione d'acqua. Le rocce più durevoli sono quelle a grana fine che impediscono l'intromissione degli agenti atmosferici.

**b)** Nella seconda classe che riguarda la messa in opera, possiamo dire che i conci delle abitazioni esposte a nord o perennemente in ombra si degradano più facilmente, mentre l'esposizione al sud è nociva solo se il litotipo soffre delle escursioni termiche.

I conci posti in zone umide avranno maggior degrado, (es. pietre basamentali etc.). Gli elementi lapidei più esposti quali gli spigoli, le parti dei vertici tendono a smussarsi ed ad arrotondarsi.

**c)** Per quanto riguarda la terza classe possiamo evidenziare che più le pietre sono lisce, maggiore è la loro durata nel tempo, mentre le superfici ruvide e scabre accentuano gli effetti degradanti dell'acqua e facilitano l'attecchimento di agenti biologici.

L'accoppiamento di rocce a diversa durabilità può accelerare il degrado di quelle più durevoli, infatti, un diverso coefficiente di dilatazione può mettere in tensione e fessurare la roccia vicina, inoltre i prodotti del degrado possono agire chimicamente con altri litotipi accelerandone la decomposizione chimica. Le rocce chiare sono più durevoli rispetto alle scure.

Importante proprietà tecnica delle rocce che è opportuno accennare è quella relativa alla loro aderenza alle malte (materiali lapidei artificiali); l'aderenza può essere meccanica o chimica e sarà facilitata dai materiali porosi, mentre sarà ostacolata dalle patine argillose.

## **2.8 ROCCE MAGMATICHE O IGNEE**<sup>6</sup>

### **2.8.1 Definizione**

Sono rocce formatesi in seguito alla cristallizzazione di un magma.

### 2.8.2 *Composizione E Caratteristiche Di Un Magma*

I principali componenti sono: silice (40-75%, valori espressi come percentuali in peso), allumina (10-20%), ossidi di ferro (2-12%), calcio (1-12%), magnesio (tracce-12%), sodio (1-8%) e potassio (tracce-7%).

### 2.8.3 *Formazione Di Una Roccia Magmatica*

La cristallizzazione di un magma procede con l'abbassarsi della temperatura nella massa magmatica. Man mano che si creano le condizioni per la cristallizzazione dei diversi minerali il magma diviene via via più ricco di componenti che non si sono ancora solidificati. Esiste un ordine di cristallizzazione dei minerali in seguito al raffreddamento del magma, detto "serie di Bowen".

Olivine di Mg (forsteriti)	Plagioclasio di Ca (anortite)
Olivine di Fe (fayaliti)	Plagioclasio Ca-Na (bytownite)
Pirosseni di Mg	Plagioclasio di Ca-Na (labradorite)
Pirosseni di Ca e Mg	Plagioclasio di Na-Ca (oligoclasio)
Anfiboli	Plagioclasio di Na (albite)
Biotite	
	Ortoclasio
	Muscovite
	Quarzo

I minerali posti sulla stessa orizzontale cristallizzano quasi alla stessa temperatura. La cristallizzazione ha influenza sulla forma dei minerali. I minerali che cristallizzano per primi (olivine, plagioclasio di calcio) si trovano immersi in un liquido che permette di sviluppare cristalli con una forma regolare e ben definita (minerali idiomorfi). I minerali che cristallizzano per ultimi (quarzo) si devono adattare agli spazi residui e non hanno forma ben definita (minerali allotriomorfi). Per questo motivo, nelle rocce magmatiche, il quarzo non ha mai la sua tipica forma di prisma esagonale.

### 2.8.4 *Paragenesi*

Si definisce paragenesi l'associazione di minerali formati insieme o successivamente, ma sempre nello stesso processo genetico di una roccia magmatica.

Ogni roccia avrà quindi una sua paragenesi caratteristica.

### 2.8.5 *Classificazione Delle Rocce Magmatiche*

Si distinguono le rocce plutoniche (o intrusive) e le rocce vulcaniche (o effusive). A seconda del luogo in cui un magma è cristallizzato si ottiene una prima suddivisione delle rocce magmatiche.

**Plutoniche:** rocce formatesi all'interno della crosta terrestre;

**Vulcaniche:** rocce formatesi sulla superficie terrestre per fuoriuscita di lava dai vulcani.

### 2.8.6 *Descrizione Di Alcune Rocce Magmatiche Utilizzate Come Materiali Da Costruzione*

- **Granito** Roccia plutonica acida costituita da ortoclasio, plagioclasio (albite - oligoclasio), quarzo, biotite e minerali accessori. Struttura granulare idiomorfa con grana da media a grossa. Il colore dipende generalmente da quello dell'ortoclasio presente ed è variabile da bianco a rosa a rosso. La punteggiatura nera è dovuta alla biotite. Aree di affioramento: Isola d'Elba, Sardegna.

- **Trachite** Roccia vulcanica. Struttura porfirica con fenocristalli di sanidino, plagioclasio (andesina - labradorite) e biotite; massa di fondo di sanidino (feldspato potassico), spesso vetrosa. Colore grigio, rosa, rosso. Area di affioramento: Sardegna, Isola d'Ischia.

- **Basalto** Roccia vulcanica. Struttura variabile (per lo più interstatale - struttura a cristalli allungati con orientazione a caso) con fenocristalli di olivina, plagioclasio (labradorite) e pirosseno (augite); massa di fondo di plagioclasio (andesina). Colore molto scuro: nero. Area di affioramento: Etna, Sardegna.

## 2.9 **ROCCE SEDIMENTARIE**<sup>7</sup>

### 2.9.1 *Definizione*

Sono rocce costituite da materiali (detti sedimenti) provenienti dalla disgregazione, attraverso processi di varia natura, di rocce preesistenti.

### 2.9.2 *Formazione Di Una Roccia Sedimentaria*

La formazione di una roccia sedimentaria può essere suddivisa in quattro fasi, che rappresentano il "ciclo sedimentario".

- I fase: alterazione delle rocce preesistenti sulla superficie terrestre con formazione di detriti solidi e di sostanze in soluzione.

- II fase: trasporto del materiale detritico e di quello in soluzione ad opera dei fiumi, dei venti, dei ghiacciai, ecc.
- III fase: deposizione (sedimentazione) del materiale in ambienti diversi (continentale, marino, ecc.). La sedimentazione avviene per strati successivi.
- IV fase: formazione della roccia (litificazione dei sedimenti) dovuta alla pressione esercitata da altri sedimenti che si accumulano via via sopra di essi. I processi nel loro insieme prendono il nome di diagenesi (processi diagenetici).

Tutte le rocce sedimentarie hanno un corrispondente nei sedimenti attuali non litificati.

### ***I Fase Del Processo Sedimentario***

Quando una qualsiasi roccia entra in contatto con l'atmosfera iniziano i processi di alterazione. Tali processi possono essere di tipo fisico, chimico e biologico.

I processi fisici causano la disintegrazione della roccia senza però modificarne la composizione chimica e mineralogica (ex: temperatura, erosione ghiacciai, abrasione vento).

I processi chimici portano a cambiamenti nella composizione della roccia e nelle sue proprietà con perdita dei caratteri originari (ex: carsismo, piogge acide).

I processi biologici hanno una notevole influenza sull'alterazione favorendo sia i fenomeni fisici che i fenomeni chimici (ex.: licheni, muschi, alghe).

Nei climi umidi i tre processi agiscono quasi sempre contemporaneamente.

Come conseguenza dell'alterazione si formano: i detriti, costituiti da minerali primari residui (cioè i costituenti originali della roccia) e da minerali secondari (minerali argillosi a granulometria molto fine) derivati dai primari in seguito a processi chimici, ed il materiale in soluzione (ioni alcalini, alcalino-terrosi, ecc.).

### ***II Fase Del Processo Sedimentario***

Il trasporto del materiale detritico avviene per gravità (frane, colate, ecc.) o ad opera delle acque continentali (fiumi), delle correnti marine, dei ghiacciai, del vento. Il trasporto del materiale in soluzione avviene ad opera delle acque.

L'azione di trasporto produce un arrondamento degli spigoli negli elementi detritici (clasti), una classazione del materiale (suddivisione in base all'omogeneità delle dimensioni), una orientazione preferenziale (in presenza di clasti in forma allungata). La durata del trasporto influisce sulla forma degli elementi detritici (sempre più sferica o a contorni arrotondati man mano che ci si allontana dal luogo di origine), sulle dimensioni (sempre minori), sulla composizione mineralogica (maturità: un sedimento è considerato

matturo quando contiene solo minerali stabili, resistenti cioè all'alterazione come il quarzo, ed ha quindi subito un lungo trasporto).

Quando l'alterazione avviene in posto, senza cioè trasporto dei materiali, si ha la formazione di un suolo.

### ***III Fase Del Processo Sedimentario***

La sedimentazione può essere meccanica, chimica, biochimica.

La sedimentazione meccanica riguarda il materiale detritico e si differenzia in base all'ambiente in cui avviene (marino, fluviale, glaciale, ecc.); essa è legata alla perdita della capacità di trasporto del mezzo (acqua, vento, ghiaccio) per diminuzione di energia (ad esempio all'ingresso di un fiume nel mare, la corrente subisce una brusca diminuzione di velocità che favorisce la sedimentazione dei detriti trasportati - delta del Po).

La sedimentazione chimica riguarda il materiale trasportato in soluzione per variazioni intervenute nel mezzo (aumento di temperatura, assenza di moto, ecc.).

La sedimentazione biochimica riguarda ancora il materiale trasportato in soluzione (ad esempio il carbonato di calcio) che può essere fissato da organismi acquatici (molluschi, brachiopodi, coralli, foraminiferi) per la formazione del proprio guscio. I gusci, dopo la morte degli animali, si depositano e si accumulano nei bacini sedimentari.

Caratteristica della sedimentazione è la disposizione dei materiali in strati successivi, ciascuno riconducibile ad un singolo episodio sedimentario. Le differenze composizionali e/o strutturali tra gli strati dipendono dalla variazione nella composizione del materiale trasportato, dalla variazione della velocità di sedimentazione, ecc.

### ***IV Fase Del Processo Sedimentario***

Immediatamente dopo la sedimentazione ha inizio la diagenesi, cioè quell'insieme di processi chimici e fisici che portano alla formazione della vera e propria roccia (litificazione) implicando mutamenti di composizione e di tessitura. La temperatura che si può raggiungere durante la diagenesi è inferiore ai 200°C (a temperature superiori si parla già di metamorfismo).

I processi diagenetici si distinguono, in ordine cronologico, in processi iniziali e processi tardivi. I processi iniziali hanno luogo dal momento della sedimentazione fino a un modesto seppellimento, in questa fase può essere molto intensa l'azione batterica; i processi tardivi hanno luogo durante un seppellimento più profondo. La durata complessiva dei processi diagenetici è pari ad alcune decine di milioni di anni.

Si distinguono diversi processi nel corso della diagenesi. La compattazione è dovuta al peso dei sedimenti sovrastanti, provoca la fuoriuscita delle acque interstiziali e

l'avvicinamento dei singoli grani. La ricristallizzazione coinvolge alcuni minerali instabili presenti nel sedimento. La dissoluzione e la sostituzione interessano alcuni minerali che possono disciogliersi o essere rimpiazzati da altri minerali; è questo un processo molto importante nella formazione di rocce di precipitazione chimica (trasformazione della calcite in dolomite - dolomitizzazione). La precipitazione di nuovi minerali nello spazio fra i grani del sedimento è detta autogenesi; se la precipitazione è abbondante si ottiene la cementazione del sedimento stesso.

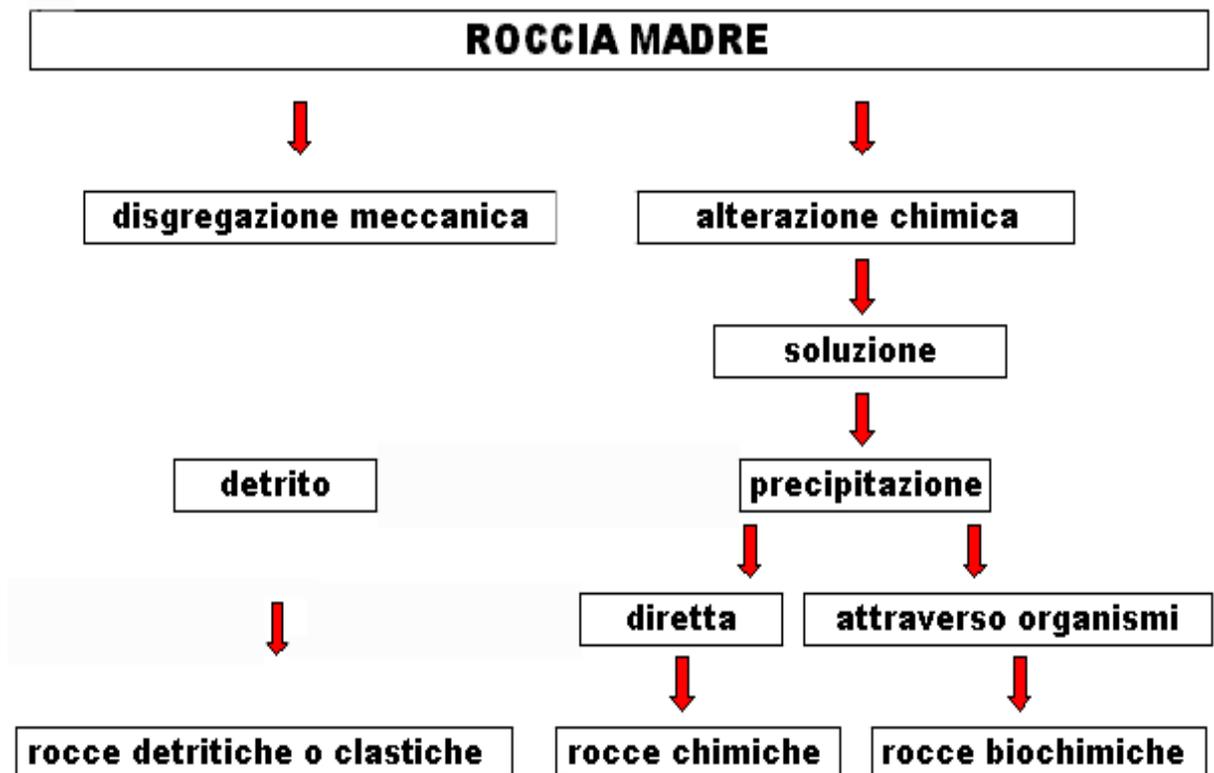
### 2.9.3 Classificazione

Si distinguono due gruppi: le rocce detritiche e le rocce di precipitazione chimica e biochimica. La differenza è basata sui diversi modi di trasporto e di sedimentazione dei materiali.

Le rocce detritiche o clastiche derivano dal materiale trasportato in forma solida; le rocce di precipitazione chimica e biochimica derivano dal materiale trasportato in soluzione.

La suddivisione non è naturalmente netta e sussistono termini intermedi o di origine non univoca.

Lo schema della classificazione genetica delle rocce sedimentarie è riportato di seguito:



#### 2.9.4 Rocce Detritiche O Clastiche

Si suddividono in quattro gruppi: conglomerati, arenarie, argille, tufi.



#### 2.9.5 I Conglomerati Definizione

- I conglomerati rappresentano il termine più grossolano; le dimensioni dei singoli elementi detritici (clasti) vanno da un minimo di 2 mm ad un massimo di 256 mm (scala di Wentworth). Corrispondono alle attuali ghiaie.

I processi diagenetici principali sono la compattazione, la precipitazione di minerali che porta alla cementazione del sedimento (cementi calcitici o cementi silicei) e la dissoluzione sotto pressione.

La composizione mineralogica può essere molto varia rispecchiando naturalmente quella del bacino di provenienza del materiale.

Con il termine *breccia* si fa riferimento a quei conglomerati i cui clasti non hanno subito trasporto ed hanno mantenuto quindi gli spigoli vivi; esse hanno origine da crolli e frane.

I conglomerati sono diffusi in tutto l'Appennino.

#### 2.9.6 Le Arenarie

- Le arenarie rappresentano il termine intermedio; le dimensioni dei clasti sono comprese fra 2 e 0,062 mm. Corrispondono alle attuali sabbie.

I processi diagenetici sono gli stessi descritti a proposito dei conglomerati.

I principali componenti delle arenarie sono: quarzo, ortoclasio, fillosilicati.

Quando predomina la calcite (clasti calcarei) si ha la cosiddetta "calcarenite", roccia che viene classificata fra i calcari (esempio: pietre di Viggiù e Saltrio).

*Arenite*: assoluta prevalenza di quarzo (circa 90%), cemento siliceo, clasti ben arrotondati (hanno subito un lungo trasporto) e con buona sfericità. Il colore è generalmente biancastro. Sono frequenti nelle serie sedimentarie più antiche (era Paleozoica); in Italia sono presenti in Piemonte sottoforma di quarziti (areniti metamorfosate).

*Arcose*: elevata percentuale di ortoclasio; i clasti sono immersi in una matrice fine con cemento costituito dagli stessi minerali. Il colore è rossastro. Sono frequenti nelle serie sedimentarie (periodo terziario) della Svizzera (molassa).

*Grovacca*: elevata percentuale di matrice fine argillosa con cemento calcareo; composizione mineralogica variabile con numerosi frammenti di rocce; clasti angolosi (hanno subito breve trasporto) e con bassa sfericità. Il colore è grigio scuro. In Italia sono diffuse nell'Appennino e in Lombardia (periodo Cretacico).

### 2.9.7 *Le Argille*

- Le argille rappresentano il termine più fine; le dimensioni dei clasti sono al di sotto di 0,062 mm. Corrispondono agli attuali fanghi detritici.

Il processo diagenetico principale è la compattazione: la porosità dei fanghi argillosi prima del seppellimento è assai elevata (70-90% in volume); sotto un carico di mille metri, la porosità si riduce al 30%. Oltre a questo processo meccanico di compattazione sono importanti i processi di natura chimica che consistono in adsorbimenti e scambi ionici.

Le argille sono costituite quasi esclusivamente da fillosilicati (minerali argillosi o minerali delle argille) prodotti dall'alterazione di altri minerali silicati e assumono una tessitura parallela alla stratificazione (orientazione preferenziale dei minerali). Altri componenti sono quarzo, ortoclasio e miche, presenti però solo nella frazione più grossolana.

I minerali argillosi hanno dimensioni estremamente ridotte (qualche millesimo di millimetro); i principali sono: montmorillonite, illite, caolinite.

Sono trasportati in sospensione nelle acque e, viste le loro dimensioni, la sedimentazione è favorita dal fenomeno della flocculazione per cui, in determinate condizioni chimico-fisiche delle acque, si formano dei grumi (micelle) che sedimentano più facilmente delle singole particelle.

Tra le argille si distinguono quelle residuali (rimaste cioè sul luogo di formazione) e quelle trasportate; queste si differenziano a seconda dell'ambiente di deposizione.

Tra le argille residuali è importante il "ferretto" delle Prealpi lombarde, derivato dall'alterazione di depositi glaciali.

Le argille trasportate sono diffuse in tutto l'Appennino.

Le argille non possono essere impiegate come materiale da costruzione, ma impastate con acqua e poi essiccate al sole o in fornace costituiscono i laterizi e le terrecotte.

### 2.9.8 I Tufi

- I tufi rappresentano un gruppo a parte rispetto alle appena descritte rocce detritiche. Essi sono considerati rocce sedimentarie poiché subiscono il processo di messa in posto e successivamente tutti i processi diagenetici che portano alla litificazione; ciò che li differenzia è la loro origine legata alle eruzioni vulcaniche esplosive. Questo tipo di eruzioni vulcaniche è accompagnato da emissioni di gas che conferiscono loro il carattere esplosivo. Il prodotto di tali eruzioni viene denominato *tephra*. Questo termine include tutti i materiali lavici lanciati in aria e in parte solidificati come frammenti di varie dimensioni: blocchi (dimensioni superiori a 64 mm), lapilli (da 64 a 2 mm) e ceneri (inferiori a 2 mm). Questi frammenti, smistandosi nel tragitto aereo, formano depositi di aspetto stratificato in modo regolare. Quando prevalgono i blocchi, si parla di brecciole; quando prevalgono i lapilli si parla di tufi; quando prevalgono le ceneri si parla di cineriti.

Interessanti, dal nostro punto di vista, perché impiegati nell'edilizia, sono i tufi laziali (*peperino laziale*) e campani e la *pozzolana*. I primi, di colore grigio, giallo, bruno punteggiato di nero, sono molto diffusi nell'edilizia romana e napoletana. Il secondo, una cinerite trachitica incoerente dei Campi Flegrei, è utilizzato nella preparazione di malte idrauliche.

### 2.9.9 Rocce Di Sedimentazione Chimica E Biochimica

Si suddividono in tre gruppi: calcari, dolomie, evaporiti.



### 2.9.10 I Calcari

- I calcari comprendono quelle rocce sedimentarie costituite quasi esclusivamente da calcite (carbonato di calcio). Possono essere presenti, in percentuali molto basse, altri minerali quali: quarzo, ortoclasio, ecc.

Sono presenti anche termini di passaggio verso le argille (calcari marnosi, marne calcaree, marne propriamente dette) e le dolomie (calcari dolomitici, dolomie calcaree).

I processi diagenetici principali sono la cementazione, la trasformazione neomorfica, la dissoluzione, la compattazione e la dolomitizzazione. La cementazione è il

processo diagenetico principale che porta alla formazione della roccia compatta attraverso la precipitazione dei cristalli nelle cavità del sedimento; la trasformazione neomorfica indica un processo di sostituzione e ricristallizzazione (ad esempio la trasformazione di aragonite in calcite); la dissoluzione è il risultato del passaggio nei pori di acque sottosature rispetto alla fase carbonatica presente; la compattazione ha luogo durante il seppellimento; la dolomitizzazione è dovuta alla precipitazione di dolomite.

I calcari propriamente detti hanno origine da un processo chimico o biochimico: il primo è costituito da una precipitazione diretta di carbonato di calcio (fenomeno più sensibile in zone con acque calde), il secondo dalla rimozione degli ioni calcio e degli ioni carbonato dalle acque marine da parte di organismi, come i molluschi, che li utilizzano per formare il proprio guscio.

Esistono anche rocce di origine detritica, le cosiddette *calciruditi*, *calcareniti* e *calcilutiti*, la cui composizione è principalmente calcitica e la cui origine è del tutto simile a quella descritta a proposito delle rocce clastiche (conglomerati, arenarie, argille). L'azione disgregante si è svolta a danno di rocce calcaree già esistenti dando luogo a clasti calcarei di varie dimensioni, cementati successivamente da cristalli di calcite. In questo caso prevale un criterio di classificazione mineralogico (predominanza di calcite) su quello genetico. La pietra di Viggiù è un esempio in Lombardia.

#### 2.9.11 Le Dolomie

- Le dolomie contengono invece, in quantità preponderante, il minerale dolomite. Sono presenti tutti i termini di passaggio con i calcari.

Le marne contengono una percentuale preponderante di argilla. Anche in questo caso sono presenti tutti i termini di passaggio con i calcari. Si tratta di rocce di colore variabile (grigio, rosso, verde, bianco o variegato) sottilmente stratificate e spesso addirittura scagliose. Per questa loro caratteristica sono del tutto inutilizzabili come pietra da costruzione. La frazione argillosa le rende invece adatte alla fabbricazione di leganti idraulici e di cementi di tipo Portland. In Italia esistono formazioni marnose utilizzate nella fabbricazione dei leganti: il cosiddetto Alberese (ora indicato come Complesso di Canetolo), calcari marnosi dell'Eocene diffusi nell'Appennino toscano, e i calcari marnosi della "Formazione di Casale Monferrato" (Eocene), utilizzati nella preparazione del primo cemento Portland italiano (seconda metà del XIX secolo).

### 2.9.12 Classificazione Di Calcari E Dolomie

Esistono tre sistemi di classificazione. Il primo, più semplice, è basato sulla granulometria e comprende: calcirudite (dimensione dei grani superiore a 2 mm), calcarenite (fra 2 mm e 0,062 mm) e calcilutite (inferiore a 0,062 mm).

Un cenno a parte meritano i travertini e gli alabastrini. I primi si sono formati in ambiente fluviale da acque ricche di carbonato di calcio, racchiudono spesso resti vegetali e sono ricchi di cavità. I secondi derivano dalla precipitazione di carbonato di calcio in ambienti sotterranei molto tranquilli (grotte) ed hanno struttura zonata. Travertini (travertino deriva dal nome con cui gli antichi romani indicavano la pietra che cavavano a Tivoli: *lapis tiburtinus*) sono diffusi in Toscana e nel Lazio, mentre gli alabastrini sono presenti nel Carso.

### 2.9.13 Le Evaporati

- Le evaporiti sono rocce formatesi in seguito alla precipitazione chimica del solfato di calcio, del cloruro di sodio e di altri sali di minore importanza, in bacini lagunari con climi caldi e aridi.

ì In campo architettonico hanno grande importanza i depositi di solfato di calcio (gesso e anidrite); altri usi hanno invece i depositi di cloruro di sodio (salgemma).

Il gesso (*solfato di calcio biidrato*) si presenta in formazioni ben stratificate con intercalazioni di argille, spesso con cristalli grossolani (selenite).

L'impiego del gesso come pietra da costruzione è limitato all'Emilia ed alla Sicilia, mentre l'impiego come legante nelle malte e negli stucchi è molto diffuso. In quest'ultimo caso il gesso viene macinato e cotto a temperatura di circa 160 °C e poi mescolato con acqua in determinate proporzioni dando luogo al fenomeno della "presa".

L'anidrite (*solfato di calcio anidro*) ha tipico colore grigiastro. L'anidrite tende a trasformarsi in gesso non appena entra in contatto con l'acqua o con l'umidità atmosferica. Ha avuto limitato impiego nel rivestimento di interni.

## 2.10 ROCCE METAMORFICHE<sup>8</sup>

### 2.10.1 Definizione

Sono rocce che hanno subito modificazioni nella composizione mineralogica o nella struttura e nella tessitura in seguito a mutamenti di temperatura e pressione (metamorfismo).

### 2.10.2 *Metamorfismo*

Il metamorfismo avviene sempre in profondità nella crosta terrestre; le rocce possono venire in superficie in seguito a fenomeni orogenetici e geomorfologici.

Tutte le rocce (magmatiche, sedimentarie, metamorfiche) possono essere soggette al metamorfismo.

### 2.10.3 *Tipi Di Metamorfismo*

Si distinguono: metamorfismo regionale (su grandi estensioni), di contatto (localizzato presso corpi magmatici intrusivi), dinamico (localizzato presso fratture o faglie).

- Metamorfismo regionale: interessa una grande estensione di rocce (decine, fino a centinaia di chilometri) in aree sottoposte a movimenti orogenetici che provocano un aumento generalizzato di temperatura e di pressione. Dà origine a nuove e particolari tessiture.

- Metamorfismo di contatto: interessa settori dello spessore di pochi metri, decine e centinaia di metri; è causato dall'aumento di temperatura connesso ad intrusioni magmatiche. Viene interessata un'aureola di rocce (aureola di contatto) intorno all'intrusione. Dà origine a nuovi minerali ed a strutture caratteristiche.

- Metamorfismo dinamico: è causato dall'aumento di pressione in prossimità di zone di frattura o di faglia (aree tettoniche). Interessa zone molto limitate; dà luogo a nuove strutture e tessiture.

### 2.10.4 *Fattori Del Metamorfismo*

I fattori che influenzano il metamorfismo sono i seguenti.

Gradiente geotermico: aumento di temperatura (gradiente) con la profondità (circa 3°C ogni cento metri);

Pressione di carico: essa dipende dalla profondità e dalla densità delle rocce soprastanti. L'aumento è di circa 30 atmosfere per chilometro.

Pressione orientata: è causata dalle spinte e dalle deformazioni orogenetiche; E' sempre presente nel metamorfismo regionale ed è assente in quello di contatto.

Pressione della fase fluida: la fase fluida, presente negli interstizi, esercita una pressione eguale alla pressione di carico che interessa la fase solida.

### 2.10.5 Limiti Del Metamorfismo

Il metamorfismo è compreso fra una temperatura di circa 300°C (al di sotto di essa non avvengono reazioni e si rientra nei processi sedimentari di alterazione e diagenesi) ed una temperatura di 800°C (temperatura al di sopra della quale non può sussistere una roccia allo stato solido);

### 2.10.6 Facies Metamorfiche

In geologia *facies* è l'insieme dei caratteri petrografici, sedimentologici e paleontologici che una roccia presenta in un determinato luogo o area geografica e che testimoniano l'ambiente di formazione.

La *facies metamorfica* è l'insieme delle rocce che hanno subito un metamorfismo negli stessi intervalli di temperatura e di pressione. Ogni facies riunisce rocce di composizione mineralogica variabile.

### 2.10.7 Tessitura

La tessitura scistosa è tipica delle rocce metamorfiche; per scistosità si intende la possibilità di una roccia a dividersi in lastre sottili secondo piani subparalleli. La scistosità è il prodotto della pressione orientata ed è marcata dalla disposizione dei minerali di forma allungata, fibrosa, lamellare (miche). Si parla di foliazione se la scistosità non è molto pronunciata.

Altre tessiture caratteristiche sono: massiccia (granuli senza orientazione), zonata (bande parallele differenti per struttura e colore), occhiadina (grossi noduli chiari circondati da sottili bande scure).

### 2.10.8 Classificazione

Per semplicità si segue una classificazione basata sulla natura della roccia originaria, tenendo separati i diversi tipi di metamorfismo.

Se la roccia originaria è magmatica si avranno gli ortoscisti, se la roccia originaria è sedimentaria si avranno i parascisti.

ROCCIA ORIGINARIA      —> ROCCIA METAMORFICA

**METAM. REGIONALE**

argille                      —> argilloscisti (1), filladi (2), micascisti (3)  
areniti, arcose              —> quarziti (4)  
calcari, dolomie            —> marmi calcitici o dolomitici(5)  
calcari argillosi          —> calcescisti (6)  
peridotiti, pirosseniti     —> cloritoscisti (7), prasiniti (8), serpentiniti (9), anfiboliti (10)  
graniti, dioriti             —> gneiss (11), granuliti (12)

**METAM. di CONTATTO**

argille                      —> cornubianiti (13)  
areniti, arcose              —> quarziti (14)  
calcari puri, dolomie      —> marmi calcitici o dolomitici (15)  
calcari impuri, marne     —> marmi a silicati (15), calcefiri (16)

Si descrivono ora in dettaglio alcune rocce metamorfiche; si tenga presente che esistono tutti i termini di passaggio fra i vari gruppi.

Argilloscisti: colore scuro, grana finissima, notevole scistosità con facile fissilità in lastre sottili, hanno la stessa composizione delle rocce da cui provengono (quarzo, mica, sostanze argillose e minerali accessori). Es: (ardesia).

Marmi: colore variabile da bianco a grigio venato, a rosa a giallo; grana molto diversificata (maggiore nei marmi alpini, minore in quelli appenninici), scistosità ridotta. Si compongono di calcite o dolomite; possono essere presenti quarzo e muscovite in corrispondenza di venature.

Sono abbondanti nell'Appennino toscano (zona delle Apuane).

### **3 CRITERI DI IMPIEGO DELLE PIETRE DA COSTRUZIONE <sup>9</sup>**

I materiali naturali si estraggono dai loro giacimenti (cave) e poi, se occorre, si lavorano colle forme e dimensioni richieste. I pezzi di roccia che si cavano con dimensioni molto superiori alle richieste, si dividono in pezzi minori che vengono sbozzati e rifiniti nella forma e grado di lisciezza delle loro superfici. La lavorazione delle pietre comprende quindi tre operazioni principali: divisione, sbozzo, rifinitura. Esse richiedono strumenti e mezzi

lavoranti a mano o a macchina, e si eseguono con metodi diversi secondo la natura delle pietre o le abitudini locali nei vari paesi.

I materiali lapidei utilizzati in campo architettonico si suddividono a seconda della lavorazione cui possono essere sottoposti in:

Pietra grezza (pezzi informi per spaccatura); pietra conca (forma definita con molta tolleranza mediante sbizzo di pietra grezza): per murature ordinarie.

Pietra da taglio( lavorata su tutte le facce fino alla martellatura): per murature speciali.

Lastre non lucidate né scolpite (due dimensioni prevalenti sulla terza); per pavimenti, rivestimenti, scale, coperture.

Manufatti e lastre lucidati o scolpiti: per decorazioni.

La maggioranza delle rocce che affiorano sulla superficie terrestre può fornire pietra da costruzione. Perché una roccia possa fornire il materiale adatto all'architettura devono però essere soddisfatti alcuni **fattori** fondamentali che si possono definire come:

**Geologico, Petrografico, Economico, Estetico.**

### **3.1 FATTORI CHE CONDIZIONANO L'UTILIZZO DELLE PIETRE IN ARCHITETTURA<sup>10</sup>**

Il fattore geologico è riferito alle caratteristiche degli affioramenti geologici; il fattore petrografico è riferito alle caratteristiche costitutive (chimiche, mineralogiche, fisiche) della roccia di tali affioramenti; il fattore economico è riferito alle possibilità di sfruttamento dell'affioramento mediante la coltivazione di cave; il fattore estetico è riferito agli effetti che si possono ottenere dall'uso di un materiale.

#### *3.1.1 Fattore Geologico*

Si riflette nell'estensione e nella morfologia dell'affioramento, nelle tipologie del materiale coltivabile, nella modalità di estrazione richiesta dal materiale stesso.

L'estensione areale degli affioramenti condiziona il numero delle cave da cui ricavare il materiale e quindi la disponibilità dello stesso.

La morfologia dell'affioramento dipende dalla disposizione e dallo spessore degli strati, dalla presenza di pieghe e faglie e determina la quantità di materiale ricavabile da ciascuna cava.

Le tipologie (blocchi, conci, lastre) del materiale coltivabile sono in funzione dell'andamento delle fessurazioni (rocce magmatiche); dello spessore degli strati e della

presenza di interstrati (rocce sedimentarie); della scistosità e della presenza di venature (rocce metamorfiche).

Le modalità di estrazione richiedono un consumo di energia e di tempo strettamente correlato alla durezza delle pietre (le pietre dure richiedono maggiore energia e tempo rispetto a quelle tenere). Esse vengono svolte con metodi differenziati per i diversi materiali lapidei, metodi che si sono affinati nel corso del tempo.

### 3.1.2 *Fattore Petrografico*

Si riflette nelle caratteristiche costitutive dei materiali e quindi nel colore, nella durabilità, nella lavorabilità, nella lucidabilità e nella scolpibilità.

Il colore può essere uniforme (rocce sedimentarie), punteggiato (rocce magmatiche), variegato (marmi) o plurimo (breccie).

La durabilità deve essere considerata in funzione dell'impiego cui una pietra è destinata. Una roccia resistente all'usura (roccia metamorfica scistosa) è adatta alle pavimentazioni; una roccia resistente alla compressione (roccia magmatica) è adatta per colonne e pilastri; una roccia resistente al deterioramento ad opera degli agenti atmosferici e con caratteri cromatici stabili (rocce magmatiche, rocce sedimentarie compatte) è adatta per rivestimenti in esterno.

La lavorabilità, è migliore nelle pietre tenere (rocce sedimentarie porose, rocce prive di quarzo e silicati) che vengono spaccate, segate o perforate più facilmente, rapidamente e con minori costi rispetto a pietre dure (rocce magmatiche, rocce metamorfiche, rocce con quarzo e silicati).

La lucidabilità non è realizzabile in alcuni materiali, come le arenarie, a causa delle diverse caratteristiche dei minerali presenti e della tessitura clastica (costituita cioè da un aggregato di frammenti di durezza diversa ancora perfettamente distinguibili); al contrario è ottenibile in rocce compatte e tessituralmente omogenee (rocce magmatiche, calcari compatti, marmi).

La scolpibilità è in stretta relazione con la grana, l'omogeneità mineralogica e tessiturale, la compattezza, la presenza di venature e di minerali che possono alterarsi (pirite): nei marmi a grana fine queste condizioni sono soddisfatte al meglio; nei marmi a grana grossa, invece, i cristalli di calcite rispondono diversamente allo scalpello, sfaldandosi e rendendo scabra la superficie. Le rocce clastiche a grana grossa (conglomerati) non possono essere scolpite per ovvi motivi legati alla granulometria ed alla

tessitura. Le rocce magmatiche, oltre ai motivi come la coesistenza di numerosi minerali con caratteristiche diverse, sono inadatte per il loro colore poco omogeneo.

### 3.1.3 *Fattore Economico*

Si riflette nella coltivazione in cava e nelle possibilità di accesso e trasporto del materiale cavato ai cantieri di utilizzo.

### 3.1.4 *Fattore Estetico*

Si riflette soprattutto nel risultato ottenuto con l'uso di un determinato materiale, con le diverse lavorazioni superficiali, con l'accostamento di materiali di natura diversa. In tale fattore confluiscono molti degli elementi prima citati (colore, durabilità, lavorabilità, scolpibilità). Un corretto uso comprende anche lo studio delle condizioni ambientali di messa in opera, condizioni che possono rapidamente alterare l'effetto voluto al momento della progettazione.

### 3.1.5 *Classificazione Petrografica E Commerciale*

1. La classificazione petrografica è basata su un criterio genetico.

MAGMATICHE - Rocce originate da cristallizzazione di magmi  
(granito, diorite, gabbro, sienite; porfido, andesite, basalto, trachite)

SEDIMENTARIE - rocce originate da deposizione di sedimenti  
(conglomerato, arenaria, argilla, tufo; calcare, dolomia, travertino)

METAMORFICHE - rocce originate da aumenti di temperatura e pressione  
(fillade, micascisto, quarzite, marmo, calcescisto, serpentinite, anfibolite, gneiss, granulite)

2. La classificazione commerciale considera invece criteri diversi quali la lucidabilità, la lavorabilità, ecc.

GRANITI - rocce resistenti di natura silicatica, lucidabili  
(granito, diorite, gabbro, sienite; porfido, andesite; gneiss, granulite)

PIETRE - rocce compatte o porose, non lucidabili  
(basalto, trachite; conglomerato, arenaria, argilla, tufo, calcare tenero, dolomia; fillade, micascisto, quarzite, serpentinite, anfibolite)

MARMI- rocce compatte di natura carbonatica, lucidabili  
(marmo, calcescisto; calcare compatto)

TRAVERTINI - rocce ricche di cavità, compatte, lucidabili (travertino)

## **4 LAVORAZIONE DELLE PIETRE DA COSTRUZIONE<sup>11</sup>**

Fino alla metà dell'Ottocento esisteva solamente la lavorazione manuale. Progressivamente sono stati introdotti macchinari adatti alle diverse operazioni che garantiscono maggior sicurezza nel lavoro e permettono la riduzione dei tempi di esecuzione. Attualmente solo le attività di scultura sono effettuate a mano, mentre le altre attività sono effettuate con macchine a controllo numerico.

### **4.1 LAVORAZIONE MANUALE<sup>12</sup>**

Il materiale lapideo veniva cavato in blocchi con sistemi diversi a seconda della natura e della giacitura della roccia. Si ricordano i due metodi principali di coltivazione: a cielo aperto e in galleria. Nel primo caso la cava si estende e si approfondisce, asportando tutto il materiale e sconvolgendo la morfologia del territorio interessato; nel secondo caso lo scavo in galleria, adoperato per rocce sedimentarie e marmi, si appronta quando il materiale da asportare è in quantità tanto elevata da non rendere conveniente la coltivazione a cielo aperto. La coltivazione in galleria è più impegnativa e laboriosa.

La separazione dei blocchi "dal monte" dipende dalle condizioni di giacitura della roccia. Nel caso più semplice si sfruttano i giunti naturali (fessure per le rocce magmatiche, stratificazioni per le rocce sedimentarie, scistosità per le rocce metamorfiche) aprendoli con cunei battuti da una mazza; nel caso più complesso si scavano solchi intorno al blocco da cavare, con piccone oppure con mazza e punta ed infine lo si distacca dalla roccia inserendo cunei in apposite fessure praticate lungo l'ultima superficie da staccare. Casi intermedi prevedono l'utilizzo di giunti naturali e di solchi appositamente scavati al "contro".

L'estrazione di grandi blocchi richiede tecniche diverse secondo la natura della roccia. In presenza di rocce tenere si scava una larga trincea fino a raggiungere le dimensioni desiderate del blocco; in presenza di rocce dure, l'estrazione di un grande blocco è preceduta dall'estrazione di blocchi più piccoli ai lati, in tal modo si riducono il lavoro e lo scarto.

Il blocco deve essere spaccato o segato in pezzi delle dimensioni desiderate a seconda della natura geologica della roccia.

Nella divisione dei blocchi è importante riconoscere il verso, il secondo, il contro.

Figura 15 - Individuazione di verso, secondo e contro (p. di Luserna)



Nelle rocce magmatiche (es. granito) sono evidenti: una direzione (verso) lungo la quale la roccia si divide più facilmente rispetto alle altre direzioni; un'altra (secondo) normale al verso, lungo la quale la divisione è più difficile; una terza (contro) normale alle altre lungo la quale la divisione è nettamente più difficile.

Nelle rocce sedimentarie il verso è identificato dalle superfici di stratificazione. Il secondo e il contro

sono individuati di conseguenza.

Nelle rocce metamorfiche il verso è identificabile con i piani di scistosità.

Gli strumenti necessari per dividere i blocchi sono: cunei, battuti da una mazza in file di fori paralleli appositamente scavati (utilizzati per rocce dure) e seghe, a denti oppure senza denti in cui l'azione di taglio è dovuta al trascinarsi di granuli di sabbia (utilizzate per rocce tenere).

I pezzi ottenuti mediante divisione vengono in seguito sbozzati e portati a compimento sia per la forma che per l'aspetto superficiale.

Gli strumenti per lo sbozzo di pietre dure sono: la subbia (o punta), su grandi estensioni; lo scalpello, su piccole superfici piane; la sgorbia, per piccole superfici curve. Per lo sbozzo delle pietre tenere si utilizzano: asce; scalpelli a taglio largo o pialle.

Per dare compimento si utilizzano: la subbia fine; la gradina; la martellina, la bocciarda e lo scalpello. In caso di lavori di scultura vengono anche impiegati ugnetti, raschietti, lime e trapani. Subbia, gradina, scalpello, ugnetto e sgorbia, detti ferri, necessitano dell'uso di un mazzuolo; gli altri sono strumenti a manico.

Nelle figure a,b,c,d sono illustrati alcuni degli strumenti appena citati. Figura a - Mazzuolo in legno

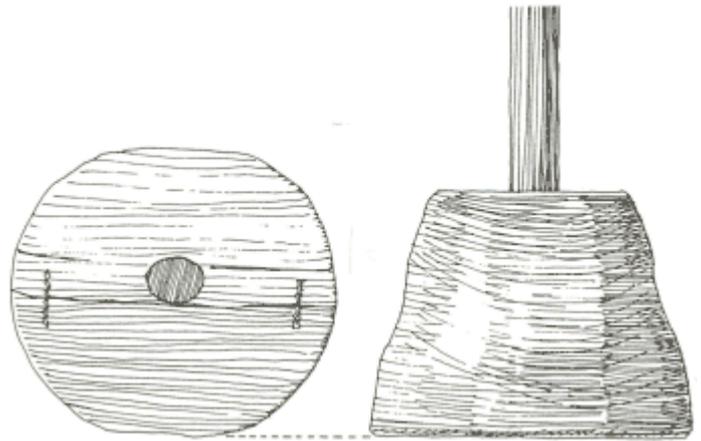


Figura b - Scalpello a taglio largo e subbia o punta

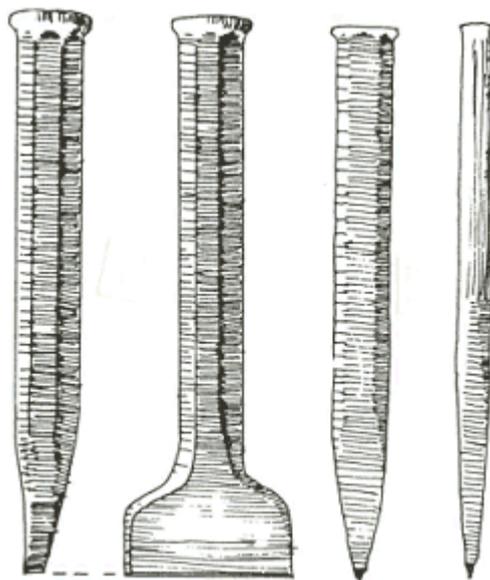


Figura c - Gradina e due diversi scalpelli

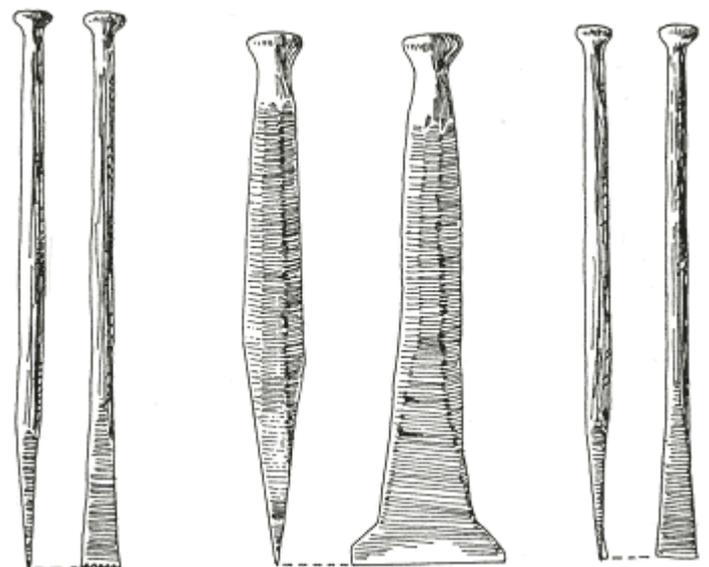
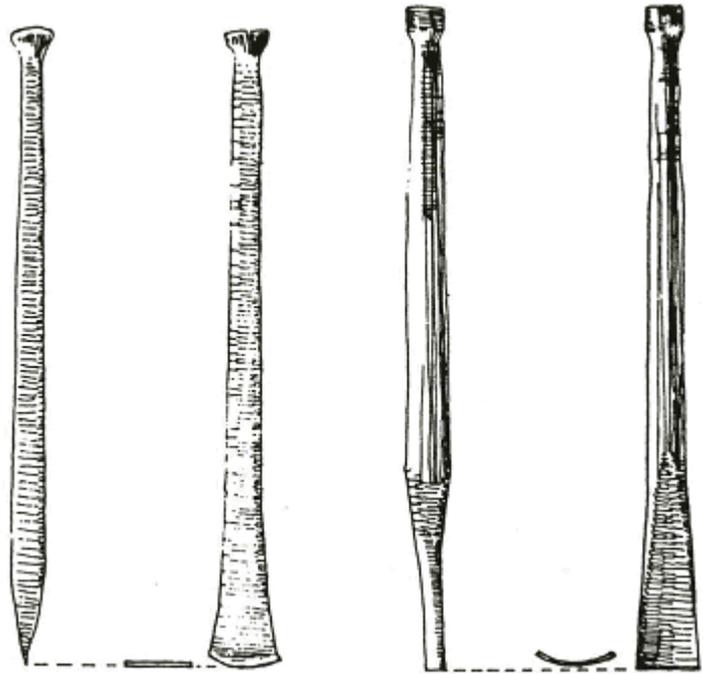


Figura d - Ugnetto e sgorbia



La lavorazione delle facce dei conci per muratura deve essere perfetta sulle superfici di appoggio; le superfici laterali sono invece rifinite solo per una ristretta fascia lungo i bordi, il resto viene lasciato grezzo. Un sottile strato di malta favorisce lo scivolamento dei conci facilitandone la messa in opera definitiva.

Come ultima operazione, i graniti, i marmi o alcuni calcari ricevono il cosiddetto pulimento ottenuto attraverso l'azione abrasiva di determinate sostanze: l'arrotatura (con pezzi di arenaria), la levigatura (con la pomice), la lucidatura (con limatura di piombo). La superficie lavorata si definisce pelle (pelle grossolana, mezzana, liscia, levigata, lucidata). Le caratteristiche che contraddistinguono una roccia lucidabile sono: la coesione, l'omogeneità mineralogica, l'uniformità nella durezza dei componenti e la bassa porosità.

Tutte queste lavorazioni necessitano di un continuo controllo e di misurazioni; si utilizzano la riga graduata, la squadra, il compasso, il filo a piombo e l'archipendolo.

#### 4.1.1 *Prodotti Della Lavorazione*

In relazione alla natura geologica e petrografica dei materiali lapidei si possono ottenere diversi tipi di manufatti: blocchi, lastre, ecc.

Blocchi di grandi dimensioni si ricavano da graniti o rocce magmatiche in genere, da rocce sedimentarie in stratificazione massiccia (alcuni calcari), da rocce metamorfiche prive di scistosità e venature (quasi tutti i marmi). Sono adatti per fusti di colonne, architravi, statuaria. Blocchi di piccole dimensioni si ricavano da rocce sedimentarie

(calcari, dolomie, arenarie, tufi) in stratificazione media. Sono adatti alla preparazione di conci per muratura.

Blocchi di piccole dimensioni adatti alla preparazione di elementi decorativi ricchi di ornamentazione, si ottengono da rocce sedimentarie tenere (calcari teneri).

Lastre di vario spessore si ricavano, mediante rottura, da rocce sedimentarie a stratificazione sottile (calcari, calcari marnosi). Sono adatte alle murature e alle coperture.

Lastre di grande estensione molto resistenti all'usura e alla flessione si ricavano, mediante fenditura, da rocce metamorfiche di natura silicea con elevata scistosità (gneiss, serpentiniti). Sono adatte alle pavimentazioni esterne ed alle coperture.

Lastre di grandi dimensioni si ricavano, per segagione, da rocce compatte di diversa natura (graniti, calcari, marmi). Sono adatte al rivestimento di pareti ed alle pavimentazioni interne.

## **5 Antichi Metodi Di Trasporto E Di Messa In Opera**

La discesa dei blocchi dal fronte di cava ai laboratori era effettuata o con caduta libera o con "lizzatura" o con carri a trazione animale. Nel primo caso si facevano rotolare i blocchi sul pendio; nel secondo caso i blocchi, caricati su slitte di legno, scendevano lungo piani inclinati scivolando su traverse di legno trattenuti da squadre di uomini mediante robuste funi; nel terzo caso i carri avevano un assetto particolare (ruote posteriori più piccole delle anteriori) per mantenere il carico orizzontale e non gravare troppo sugli animali. L'uso dei diversi metodi era dettato dalle particolari condizioni sia del materiale cavato che della morfologia della cava e del territorio circostante.

La preparazione di semilavorati nei laboratori presso le cave permetteva di ridurre il peso dei pezzi da trasportare ai diversi cantieri di messa in opera. Il trasporto dal laboratorio al cantiere seguiva metodi diversi a seconda dell'ubicazione della cava e delle dimensioni dei semilavorati. Venivano usati carri a trazione animale oppure si utilizzavano vie d'acqua. Il caricamento avveniva mediante apposite macchine.

In casi particolari, soprattutto fusti giganteschi di colonne, venivano trainati sfruttando la loro possibilità di rotolamento (con opportune ruote fissate alle estremità) oppure, soprattutto per grandi blocchi prismatici, si utilizzava lo spostamento su rulli di legno.

La messa in opera dei conci per la costruzione di un edificio richiedeva l'impiego di macchine più o meno complesse a seconda del peso dei conci stessi. La macchina più semplice, detta capra, adatta al solo sollevamento verticale, era costituita da tre travi in

legno, riunite in alto a sostenere il paranco; il sollevamento dei pesi era reso possibile da verricelli mossi a braccia, per pezzi piccoli o da gigantesche ruote (tamburi) mosse da uomini che camminavano al loro interno, per pezzi grandi.

L'ancoraggio della pietra era effettuato ad esempio in diversi modi:

- con corde che imbracavano il concio sfruttando alcune protuberanze lasciate sulle superfici ed eliminate a messa in opera avvenuta;

- con tenaglie che si inserivano in due fori praticati su una superficie del concio o su due superfici opposte, il peso stesso della pietra faceva sì che le tenaglie, tirate dalla corda, si chiudessero consentendo il sollevamento

- Macchine più complesse permettevano non solo il sollevamento verticale, ma anche lo spostamento laterale dei conci, vere e proprie gru costruite con travi di legno che potevano ruotare su una base fissa. Anche in questi casi il sollevamento dei pesi era reso possibile da funi comandata da verricelli o da ruote.

La costruzione di edifici con conci di pietra poteva richiedere l'applicazione di chiavette metalliche fissate con piombo per rendere più salda la giustapposizione dei conci stessi; la forma delle chiavette poteva essere a doppia coda di rondine o a "U" rovesciata. L'alloggiamento delle chiavette era scavato parte in uno dei conci da accostare e parte nell'altro, il piombo liquefatto veniva versato nello spazio rimasto. Anche le basi ed i fusti delle colonne erano collegati con chiavette disposte verticalmente, il piombo poteva fluire attraverso appositi canalicoli incisi nella base.

## **II. I MATERIALI LAPIDEI ARTIFICIALI**

### **6 LE MALTE<sup>13</sup>**

I materiali lapidei artificiali hanno avuto ed hanno grande importanza nel campo dei materiali da costruzione e per la fabbricazione di manufatti per i più svariati usi. In questa definizione rientrano quei materiali, come le malte, fabbricati a partire da materie prime naturali.

Per le materie prime è consueto l'approvvigionamento locale. La calce proviene dalla cottura di rocce carbonatiche (calcari). Cave e fornaci sono sparse su tutto il territorio.

Gli aggregati provengono dalla sabbia dei fiumi; la composizione petrografica delle sabbie riflette quella delle rocce presenti nei bacini fluviali (graniti, dioriti, porfidi, micascisti, gneiss, calcari, dolomie, arenarie). I minerali più comuni sono: quarzo, muscovite, feldspato potassico, calcite, dolomite, ecc.

Le malte vengono classificate sulla base della tipologia d'impiego in:

- malte per murature (di allettamento, di riempimento);
- malte per intonaci;
- malte per decorazioni (a spessore, a rilievo);
- malte per usi particolari (stuccature, sigillature, stilature);
- malte per applicazione rivestimenti (pavimentazioni, pareti, ecc.).

### **7 GLI INTONACI<sup>14</sup>**

I caratteri economici e culturali che hanno condotto il settore delle costruzioni verso una progressiva industrializzazione, hanno provocato un'inevitabile standardizzazione delle tecniche e un'omologazione dei materiali. Il tutto a discapito dei tradizionali sistemi di lavoro concepiti nei vecchi cantieri, con le tecniche e gli strumenti artigianali che tramandavano di generazione in generazione antiche metodologie di lavoro.

Una questione complessa in bilico tra un atteggiamento di sfiducia verso i tradizionali sistemi, ritenuti ormai superati, e l'insicurezza per il nuovo. Un processo esauritosi solo da poco, in un clima che ha reso spesso incerto e contraddittorio il campo degli intonaci e dei rivestimenti murari. Nel campo delle costruzioni, l'intonaco è, fra tutti,

l'elemento che contiene per sua natura più variabili e che per questo può essere soggetto a più interpretazioni.

Data la sua funzione protettiva, l'intonaco può essere considerato come una superficie "di sacrificio" sottoposta a sollecitazioni diverse e quindi votate ad un processo naturale e reversibile d'usura e di decadimento più o meno rapido. Ciò significa che quando per il deterioramento, l'intonaco, non può più mantenere la funzione preposta si rende necessario un intervento che può andare dal restauro più o meno importante fino al rifacimento completo.

L'intonaco è il prodotto dell'indurimento della malta, formata dall'impasto di diversi materiali che svolgono a secondo delle loro proprietà chimico – fisiche diverse funzioni.

I componenti delle malte si possono dividere in tre categorie: gli inerti, i leganti, gli additivi.

**Gli inerti** sono quei materiali di diversa consistenza che, mescolati con i leganti, si distribuiscono nell'impasto interagendo e dotando l'intonaco di una vera e propria trama. Si realizza così un tessuto rigido, vera armatura portante della malta, che grazie all'azione dei leganti si mantiene compatto assicurando la sua azione di rivestimento. Tra gli inerti alcuni esercitano un'azione passiva, altri (per esempio i materiali a comportamento pozzolanico) possono reagire contribuendo con i leganti alla coesione dell'intero sistema.

**I leganti** hanno la capacità di indurire a contatto con l'aria o l'acqua, hanno il compito di aderire ai componenti dell'impasto interponendosi fra loro e svolgendo un'azione di coesione. Le loro azioni si manifestano con fenomeni di carattere chimico – fisico.

**Gli additivi** sono sostanze che aggiunte in piccola quantità alle malte ne modificano alcune proprietà. Possono essere di natura organica o sintetica ed a seconda dell'azione che esse esplicano nella reazione chimico – fisica delle malte si possono suddividere in:

- 1) Ritardanti o acceleranti la velocità di reazione della malta.
- 2) Plastificanti
- 3) Aeranti
- 4) Sostanze che diminuiscono il fabbisogno d'acqua nel dosaggio
- 5) Impermeabilizzanti

## **7.1 GLI INERTI**

Nella preparazione delle malte normalmente ai leganti e all'acqua si aggiungono gli inerti, generalmente sabbia, la quale quando le malte si asciugano, durante il tempo di

presa, si oppongono al loro ritiro rendendole più porose e facilitandone conseguentemente il processo d'indurimento.

**La Sabbia**<sup>15</sup> è un fine materiale litoide di formazione naturale ottenuta per frantumazione di pietrame o di ghiaia. Sono sabbie finissime quelle che passano attraverso il setaccio a 324 maglie per cm<sup>2</sup>, quelle fini, comprese tra 324 e 121 maglie, quelle medie tra 121 e 56 maglie, quelle grosse fra 56 e 20 maglie e la ghiaietta fra 20 e 4 maglie. Al disotto di 4 maglie abbiamo la ghiaia vera e propria.

Per la composizione delle malte sono consigliabili le sabbie silicee e calcaree a spigoli vivi con diametri variabili da zero a 3 mm. Per gli intonaci sono da escludere quelle provenienti da rocce friabili o gessose e comunque non devono contenere argilla o altre impurità. Le migliori sabbie sono di fiume o di lago; meno buone sono quelle di cava a meno che non siano ben lavate con acque dolci; inadatte quelle di mare, a causa della presenza di vari contenuti, tra i quali i sali. Le sabbie comunque devono essere dure, vive, aspre al tatto, ma soprattutto pure e assolutamente non devono contenere né pirite di ferro, né particelle di carbone, perché possono causare fessurazioni e chiazze negli intonaci, né impurità scagliose, negative sulla resistenza degli impasti. Inoltre sabbie friabili, gessose, contenenti percentuali d'argilla e di limo sono in grado di indebolire la resistenza della malta e di aumentarne il ritiro. Nelle sabbie è accettabile una percentuale massima dello 0,1% di Cl + SO<sub>3</sub> contenuti in sali quali il cloruro, il solfato etc. La granulometria della sabbia ha una notevole influenza riguardo alla resistenza, la lavorabilità ed il ritiro di un impasto. Un intonaco esterno relativamente poco resistente, ma con una sabbia viva si comporterà in maniera più soddisfacente di un impasto con più legante, ma con una sabbia di bassa granulometria.

Infine esistono gli inerti per le finiture che servono per caratterizzare esteticamente un intonaco nello strato di finitura. Possono essere materiali inerti con granulometrie abbastanza consistenti che caratterizzano l'aspetto estetico della parete, oppure materiali inerti macinati molto finemente. I primi possono essere ghiaie, pietrame e materiali diversi in varie forme e varietà a seconda della disponibilità locali e delle disponibilità applicative. Il pietrame sovrapposto in tal modo allo strato di arriccio né maschera la consistenza e ne caratterizza direttamente il rivestimento. I secondi sono costituiti da materiali a volte anche pregiati come il marmo, peperino ecc, macinati finemente in modo da far assumere all'intonaco un aspetto simile alla qualità del materiale utilizzato prima di essere macinato.

**Le Pozzolane**<sup>16</sup> che si possono considerare come tufi vulcanici incoerenti, formati da lapilli e ceneri vulcaniche o meno frequentemente dal disfacimento di rocce laviche,

non possono essere considerate dei materiali passivi come inerti, perché possiedono caratteristiche fisico – chimiche capaci di reagire nell’impasto contribuendo alla resistenza e alla coesione finale dell’intonaco.

## **7.2 I LEGANTI**

I leganti tradizionali più comunemente usati sono le calce grasse, le calce idrauliche, dette anche “cementi idraulici naturali”, il cemento Portland e il gesso. Indicheremo con “presa”, il fenomeno di rassodamento dovuto all’asciugatura dei leganti ed “indurimento”, il processo che porta alla loro successiva accresciuta tenacia nel tempo. Queste materie le possiamo suddividere in due classi: i leganti aerei ed i leganti idraulici. I primi possono far presa e indurire solo esponendoli all’aria, i secondi invece possono far presa ed indurire anche sott’acqua.

La calce<sup>17</sup>, antichissima materia, vecchia almeno di cinquemila anni, non trova però che angusti spazi nei nostri cantieri, infatti, i vari cementi sembrano godere di maggior fiducia. La calce è stata il più incredibile salto tecnologico che mai l’uomo abbia compiuto nella storia dei materiali da costruzione, terra, fuoco, acqua, aria sono i quattro elementi che governano l’antica arte di prepararla e lavorarla. Con l’avvento della civiltà del cemento la cultura della calce è andata impietosamente e progressivamente scemando, e già nel 1933 lungimiranti industriali proponevano i primi intonaci cementizi premiscelati. Ai nostri giorni la pura calce è una rarità per pochi estimatori, ma fortunatamente, dopo quasi un secolo di insuccessi, molti stanno volgendo la propria attenzione al recupero della cultura del passato.

Il calcare comune è formato da  $\text{CaCO}_3$  (carbonato di calcio) più o meno impuro. Si hanno diverse varietà, fra cui le principali sono:

- 1) Calcare dolomitico: quello contenente carbonato di magnesio  $\text{MgCO}_3$ .
- 2) Calcare argilloso: quello contenente argilla, chiamato anche “marna”.
- 3) Calcare siliceo: contenente silice.

Questi calcari vengono usati come materiali edili, sia direttamente come pietre da costruzione, sia per produrre leganti come calce e cementi.

### 7.2.1 I Leganti Aerei

#### 7.2.2 La Calce Aerea<sup>18</sup>

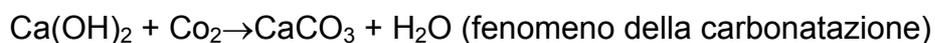
La calce aerea è un composto artificiale prodotto in principio per calcinazione del carbonato di calcio, ottenendo il monossido di calcio più anidride carbonica, tramite la seguente reazione:



La reazione si fa avvenire in appositi forni detti “forni da calce” dove il calcare viene cotto alla temperatura di circa 900 gradi centigradi e si trasforma in una sostanza bianca, friabile, detta “calce viva” resistente al calore tanto da poter essere impiegata come materiale refrattario fino a 2000 gradi centigradi. In seguito il monossido di calcio così ottenuto, fortemente igroscopico, reagisce violentemente in presenza d’acqua sviluppando notevoli quantità di calore, si ottiene così un altro composto, l’idrato di calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , detto anche “calce spenta”, secondo la reazione:



L’idrato di calcio, ottenuto spegnendo con acqua il monossido di calcio in proporzione stechiometrica, è una polvere bianca, amorfa, pochissimo solubile in acqua; la soluzione viene chiamata acqua di calce. Spappolando la calce spenta in tanta acqua quanta ne basta si ottiene una sospensione acquosa, bianca, lattiginosa, detta latte di calce, impiegata per imbiancare e igienizzare i muri (pittura a calce). Impastata con abbondante acqua la calce spenta ci dà poi il grassello, il quale si può ottenere direttamente dalla calce viva con una quantità d’acqua pari circa il triplo del suo peso. La malta aerea per muratura è ottenuta impastando del grassello, acqua e sabbia e viene definita così perché, a differenza dei cementi, fa presa solo all’aria per la presenza dell’anidride carbonica atmosferica, con la quale l’idrato di calcio reagisce trasformandosi in carbonato di calcio più acqua:



La lenta progressione di questo processo è dovuta soprattutto al fatto che la concentrazione della  $\text{CO}_2$  nell’atmosfera è normalmente molto bassa (~ lo 0,03%).

Di forni propriamente detti per produrre la calce viva a temperature come già detto di circa 900 gradi centigradi e mai superiori, perché si otterrebbe un monossido di calce troppo compatto e poco avido d’acqua che ne ridurrebbe la resa in grassello, se ne possono distinguere tradizionalmente due tipi. Un forno molto antico<sup>19</sup> è quello, costruito a forma di torre cava nella quale venivano posti alternativamente calcare o strati di legna o carbone, alla base veniva attizzato il fuoco, che si propagava lungo l’intera torre per la

cottura dei sassi. Si ottenevano calci scadenti, in quanto le ceneri del carbone e della legna potevano contenere indesiderati residui di zolfo. Per ovviare a questo inconveniente nacque un altro tipo di forno ove il fuoco veniva alimentato in un vano, separato dalla cavità della torre dove veniva ammassato il calcare, i due vani stavano in connessione tra loro in modo tale che le fiamme vive provenienti dal vano di fuoco potessero avvolgere le pietre. A cottura ultimata il monossido di calcio veniva fatto uscire da un portello retrostante la torre. Questo tipo di forno veniva chiamato continuo, producendo una calce viva composta da sassi leggeri, porosi e friabili che all'aria facilmente sfioriscono cadendo in polvere.

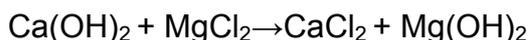
Vi sono due modi per spegnere la calce viva, uno per innaffiamento e l'altro per immersione. Nel primo caso si pone la calce viva in piccoli recinti triangolari di legno o di mattoni e si innaffia con acqua a poco a poco, e rimestando il tutto in modo tale che tutta la massa sia sfiorita e trasformata in poltiglia. Dai triangoli di legno, il grassello cade poi in fosse scavate nel terreno, dette "calcinaie", attraverso aperture munite di grata metallica che funge da setaccio per fermare i grumi di calcare non cotti e le forme più grossolane. Nelle calcinaie, il grassello viene lasciato a macerare a lungo, fino a quando ogni singolo calcinello abbia assorbito tutta l'acqua necessaria per spegnere completamente il monossido di calcio. Una buona resistenza meccanica d'un intonaco a calce si può ottenere tenendo a bagno la calce cinque o sei mesi prima di porla in opera. Lo spegnimento tecnicamente corretto di tutto il biossido di calcio è importante per l'approntamento di un intonaco notevolmente plastico. Quando l'idrossido di calcio viene lavorato nelle calcinaie con troppa fretta e senza dargli i giusti tempi d'idratazione avviene che alcune particelle d'idrossido, dette "calcinelli", rimangono mal spente nel loro interno. I calcinelli mal spenti, negli intonaci e conseguentemente alla loro presa, provocano danni quali il distacco "a bolle" o i caratteristici "bottaccioli", dovuti all'idratazione e al successivo aumento di volume del monossido di calce contenuto all'interno delle particelle mal spente.

Per capire quanto possa essere buona una calce, si deve osservare la sua resa in grassello. Il saggio viene effettuato quando la calce asciugandosi nelle calcinaie lascia vedere le prime fessure sulla superficie. Il saggio ci consente di distinguere le calci grasse da quelle magre. Le grasse mostrano un forte rigonfiamento, in quanto avidissime d'acqua, sono molto bianche, pastose ed untuose al tatto. Le magre, invece, richiedono minor acqua, si rigonfiano poco, sono poco pastose e nello spegnerle emanano una minor quantità di fumo. Un chilogrammo di calce viva grassa fornisce da 1,8 a 2,4 litri di

grassello assumendo da 1,7 a 2,8 litri d'acqua. Un chilogrammo di calce viva magra fornisce da 1,4 a 1,8 litri di grassello ed assume solamente da 1,0 ad 1,7 litri d'acqua. Le impurità sono le maggiori responsabili della magrezza delle calci: massivamente l'ossido di magnesio che assumendo acqua non rigonfia, inoltre i calcari impuri è risaputo che si lasciano calcinare a più alta temperatura, danno calci vive poco porose e di conseguenza meno avide d'acqua. Le migliori calci sono quelle che si lasciano calcinare a bassa temperatura. Un altro metodo, come già detto, per spegnere la calce è quello per immersione della calce viva, sostenuta in cestelli di ferro, per pochi istanti nell'acqua, dalla quale prontamente si ritrae, la calce idrata in questo modo cade sottoforma di polvere. La calce idrata, in polvere, disponibile dentro sacchi di carta, perché si trasporta con maggior facilità, si mescola a secco, si aggiunge l'acqua, si aspetta un paio di giorni e dopo si usa come malta ordinaria per intonaci. Questi risulterebbero col tempo fragili e friabili, infatti, la calce idrata in polvere è un materiale che generalmente presenta delle caratteristiche inferiori rispetto al grassello che è disponibile sul mercato allo stato di idrogel colloidale, cioè come una massa pastosa.

### 7.2.3 *L'acqua Per Lo Spegnimento Della Calce Viva E La Preparazione Delle Malte*<sup>20</sup>

L'acqua per lo spegnimento della calce viva e la preparazione delle malte deve essere dolce, priva di sali dannosi quali cloruro di sodio, che può dare efflorescenze sui muri, ma ancor più dannoso si rivela il cloruro di magnesio, contenuto soprattutto nelle acque e nelle sabbie marine, perché reagisce con la calce secondo la reazione:



formando cloruro di calcio che è igroscopico e deliquescente. Altrettanto dannose sono le acque torbide che rendono difficile la presa e l'indurimento delle malte e quindi la loro resistenza.

La presenza di sali quali nitrati e carbonato di potassio, possono dare quelle caratteristiche fioriture sulle pareti, comunemente chiamate salnitro. Tali sali si possono trovare nelle acque per la preparazione delle malte, nei cantoni di costruzione o più comunemente nelle acque che ristagnano attorno alle fondazioni delle case, che vengono assorbite dai muri.

L'acqua d'impasto nelle malte non deve essere, né troppo poca, perché, se assorbita in gran parte delle murature, impoverirebbe l'intonaco e le calci non avrebbero la giusta umidità per fare una buona presa, né troppa, perché terrebbe distanti le particelle di

calce impedendone la loro interazione, con una conseguente debole legatura e presa dei componenti.

Ecco perché bisogna preventivamente bagnare le superfici murarie da intonacare, nonché mettere la giusta quantità d'acqua nell'impasto, considerando nel contempo alcuni parametri climatico – ambientali, quali ventilazione, temperatura ed umidità. Buona prassi è dopo aver steso in sottili strati l'intonaco a cazzuola, di batterlo con il frattazzo, in modo da far salire in superficie l'eccesso d'acqua indesiderato e compattare di conseguenza l'intonaco che ne trarrà maggior beneficio.

Nel rifacimento degli intonaci è opportuno, dopo aver scrostato le vecchie strutture, rimuovere le materie occludenti i pori dei cantoni mediante energiche spazzolature, getti d'acqua o delicate sabbiature, in modo che dopo aver bagnato le pareti, detti pori possano raccogliere le nuove malte ed interagire con esse.

#### *7.2.4 Il Tempo Di Presa Delle Calci Aeree*

Il tempo di presa delle calce aeree è molto breve e riguarda il tempo che intercorre affinché si asciughi l'acqua d'impasto.

#### *7.2.5 L'indurimento<sup>21</sup>*

L'indurimento, invece, è un processo chimico che dura di gran lunga di più. E' quel lungo processo di trasformazione che prende il nome di "carbonatazione" durante il quale la CO<sub>2</sub> atmosferica ritrasforma tutto l'idrato di calcio, presente nell'intonaco, in carbonato di calcio. Durante la carbonatazione si ha perdita d'acqua, ed è perciò che le malte e gli intonaci ancora soggetti a tale fenomeno rimangono umidi per lungo tempo, subendo una contrazione di volume, detto "ritiro", contrastata dalla presenza della sabbia, senza la quale l'intonaco si compatterebbe troppo. Avvenendo questo si renderebbe poco poroso alla penetrazione di anidride carbonica, impedendo di conseguenza una completa carbonatazione e rendendo l'intonaco più debole; è per questo motivo che bisogna scegliere il giusto rapporto in volume fra calce e sabbia. Comunemente per le calce grasse si prepara una malta con un rapporto di 1:3, cioè un volume di calce e tre di sabbia asciutta. L'acqua d'impasto delle malte deve essere in quantità adeguata, infatti l'anidride carbonica agisce con l'idrato di calcio quando questo si trova disciolto nell'acqua in soluzione satura. Questo spiega perché bisogna preventivamente bagnare le superfici da intonacare, in quanto le superfici asciutte assorbirebbero acqua dalle malte, arrestando il fenomeno della carbonatazione e di indurimento la dove vi è proprio il contatto fra la malta

e le superfici da intonacare. La carbonatazione è un processo che procede dall'esterno verso l'interno degli intonaci e quando tutto l'idrato di calcio viene trasformato in carbonato di calcio e l'acqua di reazione è evaporata, l'indurimento si arresta e la malta si dice morta.

## 7.2.6 I Leganti Idraulici

### 7.2.7 Le Calci Idrauliche, Dette Anche "Cementi Idraulici Naturali O Calci Forti"<sup>22</sup>

Le calci idrauliche, dette anche "cementi idraulici naturali o calci forti", al contrario delle calci aeree, possono indurire anche sott'acqua. Le calci idrauliche naturali si ottengono dalla calcinazione di calcari marnosi, che in natura contengono dalle sei alle venti parti per cento d'argilla. L'idraulicità è la proprietà che hanno queste calci di rapprendersi anche sott'acqua, e dagli studi effettuati dal francese Vicat, tale proprietà è espressa dall'**Indice di Idraulicità** dato dal rapporto tra l'argilla e l'ossido di calcio, in altre

parole 
$$\frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{CaO}}$$

Inoltre il Vicat notò che nelle stesse marne, un aumento della temperatura di calcinazione porta ad una maggiore idraulicità della calce ottenuta. Per esempio, se calcinassimo assieme il 25% di buona argilla ed il 75% di ottimo calcare a diverse temperature, otterremo calci con diversi indici di idraulicità. A 1.000 gradi centigradi si formano le calci limiti poiché oltre tale temperatura si ottengono i cementi propriamente detti, a 1.200 gradi centigradi si hanno i Cementi Romani, detti anche "cementini", ed a 1.500 gradi centigradi il cemento Portland.

A temperature comprese tra i 100 e 600 °C si ha la perdita dell'acqua di umidità e di buona parte di quella di combinazione dell'argilla. A partire da ~600 °C si hanno reazioni chimiche allo stato solido tra CaCO<sub>3</sub> ed i costituenti dell'argilla (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) con formazione di vari alluminati, silicati e ferriti, con sviluppo di CO<sub>2</sub>. A temperatura tra 800 e 900 °C si ha la decomposizione termica del CaCO<sub>3</sub> restante in CaO e CO<sub>2</sub> (CaCO<sub>3</sub> → CaO + CO<sub>2</sub>) e quindi la formazione di altri alluminati e silicati. I principali componenti delle calci, cotte a ~1000 °C, sono: ossido di calce (CaO), silicato bicalcico (2CaOSiO<sub>2</sub>), e alluminato tricalcico (3CaO Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), assieme a minori quantità di composti secondari. Il silicato bicalcico e l'alluminato tricalcico sono idraulicamente attivi (idrauliti), hanno cioè la capacità di fare presa ed indurire anche in presenza di acqua. La temperatura di cottura viene scelta in base al contenuto di argilla ed alla tessitura del calcare di partenza: essa ha molta influenza sulle caratteristiche meccaniche del prodotto.

Maggiori sono le temperature di calcinazione, maggiore è la formazione di composti quali alluminati e silicati idraulicamente attivi, i quali con buona sabbia e giusta quantità d'acqua, nella preparazione delle malte, avvieranno il processo d'idratazione sviluppando le loro proprietà idrauliche, iniziando quindi la presa e successivamente l'indurimento. Nonostante le alte temperature aumentino l'indice d'idraulicità, le calce idrauliche migliori sono quelle naturali ottenute dalle Marne, che si lasciano calcinare a 900 gradi centigradi, spegnendosi con minor acqua e tempo in modo da non far alterare i composti idraulicamente attivi come gli idrossilicati di alluminio delle argille originali. Questi composti non subendo la trasformazione in alluminati e silicati durante la calcinazione, reagiscono poi in presenza d'acqua con la calce durante il periodo di presa e di indurimento per dare comunque dei composti dalle proprietà idrauliche.

Le calce marnose si spengono per immersione in poca acqua. Si ottengono delle zolle che tendono a disgregarsi in polvere coperte a ben stagionare all'aria.

A stagionatura avvenuta sfioriscono e macinate in fine polvere vengono vendute come calce idraulica pronta per le malte. Il colore delle calce idrauliche naturali una volta adoperate ed asciugate, vira dal giallastro pallido ad un tiepido nocciola rosato, ma non tutte. Infatti, a volte, si possono trovare calce idrauliche naturali altrettanto bianche quanto le calce idrate bianche comuni. Ottime calce idrauliche naturali bianche si ottengono da calcarei silicei che hanno la prerogativa di rapprendersi sia all'aria sia in acqua. Questi calcari silicei si lasciano calcinare alla temperatura di 900 gradi centigradi perdendo quasi la metà del loro peso e trasformandosi in leggere pietre spugnose. Bagnandoli con poca acqua mostrano effervescenza, si trasformano velocemente in una polvere dal colore bianco candido. La silice contenuta in queste malte durante la calcinazione si trasforma in silicati, i quali conferiscono alle malte preparate con queste calce proprietà pozzolaniche, quindi con proprietà eminentemente idrauliche, per questo vanno mantenute in polvere dentro sacchi al riparo dall'umidità per impedirne l'indurimento fino al momento di utilizzarle. Con questa bianca calce idraulica naturale ottenuta da carbonati silicei si ottengono degli ottimi intonaci che migliorano con il passare del tempo, tenaci, resistenti, flessibili, resistenti all'acqua come le più antiche malte pozzolaniche romane. Il confronto dei risultati analitici di quattro campioni di calcare è il seguente:

- CA** calcare puro (calce grassa comune)
- CB** calcare siliceo (calce forte bianca)
- CC** calcare marnoso (calce forte d'Abettone)
- CD** altro calcare marnoso (calce forte d'Albizzano)

<b>Valori</b>	<b>C.A</b>	<b>C.B</b>	<b>C.C</b>	<b>C.D</b>
<b>P.a.f</b>	25,85	20,96	34,25	24,20
<b>SiO<sub>2</sub></b>	0,10	11,20	10,11	13,35
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,06	0,49	0,179	3,00
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,04	0,17	0,41	1,29
<b>CaO</b>	73,28	65,56	52,40	54,93
<b>MgO</b>	0,58	0,05	0,40	0,97
<b>SO<sub>3</sub></b>	<0,06	0,59	1,17	1,12
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,10	0,17	0,03	0,21
<b>K<sub>2</sub>O</b>	<0,04	0,11	0,15	0,59
<b>SrO</b>	0,04	0,12	0,11	0,13
<b>Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,04	0,04	0,05	0,06
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<0,03	0,03	0,04	0,06
<b>TiO<sub>2</sub></b>	<0,01	0,02	0,12	0,14
<b>Idraulicità</b>	0,00	0,18	0,21	0,32
<b>Colore</b>	Bianco Candido	Bianco Opaco	Giallastro	Nocciola Rosato

Dalla tabella si estrapola assoluta purezza della calce grassa comune dovuta alla povera presenza di sali e all'insignificante contenuto di elementi idraulizzanti SiO<sub>2</sub>+ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; ciò la fa preferire per lavori di stucco o tinteggiatura. La calce silicea bianca CB, poiché non contiene che piccole quantità di Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dalle virtù pozzolaniche, la fa preferire per i lavori d'intonacatura colorata di muri esposti all'umido e alle intemperie. CC e CD contengono i più alti valori di elementi idraulici rapportati al loro relativo contenuto di ossido di calcio.

Bisogna ricordare che più basso è l'indice di idraulicità di una calce e più questa si farà calcinare a basse temperature, sarà quindi più porosa, più elastica, e più duratura. Un basso indice d'idraulicità significa anche un lungo tempo di presa che andrà tutto a vantaggio degli assestamenti statici e delle deformazioni volumetriche delle strutture che verrebbero assorbite dalla matrice di legante ancora in fase di presa; ecco perché le calce bianche silicee, dalle proprietà idrauliche, sono da preferirsi per le intonacature.

### 7.2.8 *Le Pozzolane*<sup>23</sup>

Le pozzolane, come già detto, possiedono proprietà di interagire con l'impasto esplicando caratteristiche fisico – chimiche in modo tale da aumentare la resistenza e la coesione finale dell'intonaco. La pozzolana, così vengono chiamati gli inerti dalle proprietà pozzolaniche, è un tufo incoerente di origine vulcanica, ma anche di lapilli, ceneri e rocce laviche. Assai ricche di silice ( $\text{SiO}_3$ ) reattive capaci di reagire a temperatura ambiente con l'idrossido di calcio, in presenza d'acqua, per dare silicati idrati di alluminio, assai resistenti ed aventi caratteristiche idrauliche. Ottime cave di pozzolane in Italia si trovano a Pozzuoli, da cui il nome, nel Lazio, in Campania etc.

Buone capacità pozzolaniche si possono riscontrare anche in alcuni altri materiali, che hanno acquistato questa proprietà grazie alla trasformazione della loro primitiva natura per effetti termici; tali sono i cascami della fusione di alcuni metalli, ma anche materiali argillosi cotti a temperature comprese tra i 600 e i 900 gradi centigradi, macinati in polvere. Grazie al loro contenuto di silicati mostrano un'ottima attività pozzolanica. Questi materiali altro non sono che i cocci di risulta dalla lavorazione dei mattoni, coppi, tegole o qualsiasi altro manufatto argilloso, cotto a bassa temperatura, che nel complesso, una volta macinato, va sotto la denominazione di cocchiopesto. Questo è il materiale più antico, più economico e più comune usato per preparare calce idrauliche. Ciò è dovuto essenzialmente alla presenza dei silicati solubili ed alluminati che costituiscono la materia dei cocchiopesti. Il processo di indurimento del cocchio pesto si compie in tempi lunghissimi. Il Vitruvio nel suo *De Architectura* raccomanda per l'intonacatura di muri a pianterreno, al fine di impedire la risalita dell'umido dal suolo, di bagnare prima le pareti con latte di calce, perché se inaridite non potrebbero ricevere né sostenere l'intonaco, quindi consiglia di applicare un rinzafo di calce e cocchiopesto al posto della sabbia e successivamente gli altri strati d'intonaco, in altre parole l'arriccio con funzioni plastiche in calce grassa e la finitura marmorata.

Nei muri che trattengono l'umidità e danno segno di non asciugarsi mai, raccomanda di cambiare la calce grassa dell'arriccio con una miscela composta per metà di calce grassa e per l'altra di calce forte silicea.

### 7.2.9 *Il Cemento*<sup>24</sup>

Il cemento è un legante idraulico in quanto indurisce e si lega agli inerti reagendo e combinandosi con l'acqua : questa reazione può avvenire sia all'aria sia sott'acqua. Il

cemento idraulico più usato nei vari tipi di costruzioni è il cemento Portland. Esso deve questa denominazione al fatto che, quando indurisce, assume l'aspetto ed il colore della pietra che in Gran Bretagna si estrae da Portland, una volta largamente usata nell'edilizia londinese.

#### 7.2.10 Il Cemento Portland

Il cemento Portland si ottiene per cottura, a temperatura prossima a quella d'incipiente fusione (clinkerizzazione) di marne, oppure di miscele artificiali di calcare e argilla, nelle quali quest'ultima sia presente in quantità pari al 22÷24%. A differenza delle calce idrauliche, tutta la calce presente nel prodotto ottenuto dopo la clinkerizzazione, detto Clinker, si trova combinata come silicati, alluminati, e ferriti di calcio. Il meccanismo d'indurimento di questo legante riguarda praticamente soltanto l'idratazione dei composti formati durante la cottura. Per la preparazione del cemento Portland si può partire da "marne di cemento" col 22÷24% d'argilla, ottenendo così il cemento Portland naturale, oppure da miscele artificiali di calcari e materiali argillosi, ottenendo, in questo caso, il cemento Portland artificiale. Il più importante è quest'ultimo, avendo la possibilità di poter dosare i vari componenti della miscela. Per fabbricare un cemento Portland artificiale, occorre per prima cosa preparare una miscela, chimicamente e fisicamente omogenea, di calcare e argilla in opportuni rapporti molecolari. Per questo sono stati definiti dei parametri chimici, detti "moduli", i quali servono per dosare le miscele crude. A questi moduli, a seconda del tipo di cemento da preparare, vanno assegnati dei valori appropriati. Di tali parametri quelli più usati sono:

- 1) il "Modulo Idraulico" **[Mi]**
- 2) il "Modulo Silicico" **[Ms]**
- 3) il "Modulo dei Fondenti" **[Mf]**
- 4) il "Modulo Calcareo" **[Mc]**

**Il modulo idraulico** è dato dall'inverso dell'indice d'idraulicità e per ottenere dei buoni cementi Portland avrà i seguenti valori:

$$Mi = \frac{CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3} = 1,7 \div 2,2$$

**Il modulo silicico** è dato dal rapporto:

$$\mathbf{Ms} = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} = 2 \div 3$$

**Il modulo dei fondenti** è dato dal rapporto:

$$\mathbf{Mf} = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3} \cong 2$$

Il valore del modulo fondente stabilisce la proporzione tra i due componenti fondenti che sono l'alluminato tricalcico ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) e il ferro alluminato tetracalcico ( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Nel cemento Portland il valore di questo modulo si aggira intorno a due. Per valori di [Mf] molto elevati, corrispondenti alla quasi assenza di  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  si hanno i cementi bianchi, con pochissimo ferro alluminato tetracalcico. Per valori, invece, di [Mf] uguale o inferiore a 0,64, diminuisce l'alluminato tricalcico e si hanno i cementi ferrici.

Il monossido di calcio che si forma durante la cottura, reagisce in parte con l'allumina e l'ossido ferrino; il rimanente si combina chimicamente con la silice per formare silicato bicalcico ( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) e silicato tricalcico ( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) che sono i più attivi costituenti idraulici del cemento, specialmente quello tricalcico. Per questo non è il modulo idraulico, cioè il rapporto tra il monossido di calcio e i componenti dell'argilla, che ha veramente importanza per giudicare le proprietà idrauliche di un cemento, quanto invece il rapporto tra il monossido di calce residuo e il biossido di silice  $\text{SiO}_2$ , detto modulo calcareo.

**Il modulo calcareo** è dato dal rapporto:

$$\mathbf{Mc} = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} (\text{residuo}) = 1,8 \div 2,8$$

Per il cemento Portland questo modulo ha un valore compreso tra 1,8 e 2,8

La gran parte dell'industria del cemento producono ora cemento artificiale. La produzione del cemento naturale ed artificiale nel complesso è analoga. Il materiale proveniente dalle cave, dopo essere stato opportunamente miscelato e corretto viene lavorato dai mulini del crudo e polverizzato, quindi omogeneizzato, umidificato ed insufflato nei forni (che nelle industrie più moderne sono rotativi orizzontali) e viene portato mediante circolazione di aria calda alla temperatura di 1500 – 1600 gradi centigradi fino a giungere ad un inizio di fusione detto clinkerizzazione. Il clinker così ottenuto, esce dal

forno dalla parte opposta dove era stato insufflato, viene raccolto, portato ai mulini del cotto e macinato sotto forma di una polvere impalpabile che passa poi ai silos e confezionato in sacchi di carta da 50 chili. Il cemento così ottenuto viene definito cemento Portland, dalla pietra da taglio estratta e usata a Portland in Inghilterra.

In genere tutti i calcari possono essere sfruttati per la produzione di cemento dato che la tecnica moderna è in grado di correggere eventuali squilibri nelle miscele, tuttavia ci sono limiti all'equilibrio. Innanzitutto la silice sotto forma di selce, diffusa in certi depositi calcarei può essere nociva se abbondante poiché può danneggiare gli impianti di macinazione. Anche il carbonato di magnesio associato al carbonato di calcio può essere tollerato solo se presente in quantità inferiori al 5% per il cemento Portland normale.

Attualmente vi sono impianti che consentono di preparare cementi magnesiaci che sfruttano il carbonato di magnesio presente nelle rocce, in quantità superiore al 5%. Anche l'argilla deve avere adeguate e costanti caratteristiche, quali idonee percentuali di silicati di alluminio e di ferro.

Nel **clinker** saranno presenti i seguenti costituenti fondamentali, nei rapporti seguenti:

$3\text{CaOSiO}_2$	55% ( $\text{C}_3\text{S}$ ) Silicato tricalcico	<b>(Alite)</b>
$2\text{CaOSiO}_2$	20% ( $\text{C}_2\text{S}$ ) Silicato bicalcico	<b>(Belite)</b>
$3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$	12% ( $\text{C}_3\text{A}$ ) Alluminato tricalcico	<b>(Celite)</b>
$4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$	8% ( $\text{C}_4\text{AF}$ ) Ferro alluminato tetracalcico	

Nei cementi l'indice d'idraulicità è espresso, come per le calce, dal seguente rapporto:

$$\frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{CaO}}$$

### 7.2.11 Cementi A Presa Rapida E Cementi A Presa Lenta<sup>25</sup>

Importante per i cementi è il tempo di presa, si distinguono cementi a presa rapida (chiamati, anche, cementi romani) e cementi a presa lenta (cementi di Portland).

Fu Joseph Parker, nel 1796, a produrre uno dei primi apprezzabili cementi idraulici. Egli chiamò la sua mistura Cemento Romano poiché ricordava, per il colore brunastro, gli antichi cementi fatti di calce e pozzolana. Il cemento romano è un agglomerato cementizio a rapida presa, ottenuto facendo cuocere a circa 1200 gradi centigradi delle marne

calcareae che contengono dal 30 al 60% d'argilla. Tra i cementi, oltre al Portland normale possiamo ricordare i cementi speciali, caratterizzati all'uso a cui sono destinati. Tra essi il cemento pozzolanico, ottenuto dalla macinazione di clinker con pozzolana; esso presenta un'alta resistenza all'attacco di acque aggressive. Il cemento ferrico viene ottenuto aggiungendo al cemento sostanze ricche di ossido di ferro. Il cemento alluminoso si ottiene in genere fondendo assieme una miscela di calcare e bauxite a circa 1500 gradi centigradi. E' un cemento usato soprattutto per costruzioni e fondazioni nelle acque del mare. Il cemento bianco usato per la preparazione di materiali edilizi può essere ottenuto solo con materiale privo di ossido di ferro, e spesso con aggiunta di caolino di calcare.

La loppa d'altoforno può servire per preparare il cosiddetto cemento d'altoforno, dalle buone proprietà idrauliche.

Come legante il cemento Portland, per le sue particolari caratteristiche viene utilizzato anche per la produzione di certi tipi di intonacature.

Infatti, in seguito all'indurimento è in grado di sopportare notevoli sollecitazioni meccaniche e di costituire un involucro poco sensibile agli agenti atmosferici. Per questo l'uso del cemento Portland è fondamentalmente sconsigliato soprattutto in ambiti delicati, quali la manutenzione ed il recupero di edifici di un certo interesse architettonico.

La tabella(1)<sup>26</sup> classifica i leganti in funzione del mezzo e del tempo di presa; il loro indice d'idraulicità in funzione del rapporto percentuale dell'argilla e del carbonato di calcio.

Indicazione dei prodotti		Tempo necessario per la presa	
<b>Calce aerea</b>	Grassa	Non fanno presa nell'acqua	Fanno presa solo nell'aria
	Magra		
<b>Calce idraulica</b>	Debolmente idraulica	16÷30 giorni	Fanno presa tanto nell'acqua che nell'aria
	Mediamente	10÷15 giorni	
	Propriamente	5÷9 giorni	
	Eminentemente	2÷6 giorni	
<b>Cemento</b>	A lenta presa	6÷24 ore	
	A rapida presa	Meno di 6 ore	

Indicazione del prodotto	Indice di idraulicità	Su cento parti di calcare	
		Argilla	Carbonato di calcio
1 Calce grassa e magra	0,00÷0,10	0,00÷5,30	100÷94,70
2 Calce debolmente idraulica	0,10÷0,16	5,30÷8,20	94,70÷91,80
3 Calce mediamente idraulica	0,16÷0,31	8,20÷14,80	91,80÷85,20
4 Calce propriamente idraulica	0,31÷0,42	14,80÷19,10	85,20÷80,90
5 Calce eminentement. idraulica	0,42÷0,50	19,10÷21,80	80,90÷78,20
6 Calce limite	0,50÷0,65	21,80÷26,70	78,20÷73,30
7 Cemento	0,65÷1,20	26,70÷40,00	60,00÷37,40
8 Cemento magro	1,20÷3,00	40,00÷62,60	73,30÷60,00
9 Pozzolana	alta 3,00	alta 62,60	meno 37,40

L'indice d'idraulicità della calce viene misurato secondo la formula di Vicat.  
Il peso specifico varia da 2,5 a 2,8

### 7.3 GLI ADDITIVI<sup>27</sup>

Sono prodotti capaci di alterare le proprietà di una malta, al fine di migliorarne alcune caratteristiche, Disquisire su quest'argomento è compito alquanto arduo per il fatto che la loro composizione viene tenuta molte volte gelosamente segreta. Secondo la loro natura, gli additivi vengono suddivisi in **organici**, cioè sostanze utilizzate allo stato naturale e **sintetici**, cioè sostanze artificiali o naturali adulterate e precedentemente trattate prima di essere impiegate nella malta.

Inoltre a seconda degli effetti che provocano negli impasti si possono suddividere in:

- Fluidificanti (riducono il fabbisogno d'acqua)
- Impermeabilizzanti
- Ritardatori (influenzano la velocità d'indurimento)
- Acceleratori (sveltiscono i tempi d'indurimento)

- Plastificanti (migliorano la viscosità, la stabilità e l'omogeneità delle malte, aumentando la coesione tra i vari componenti e diminuendone lo spurgo dell'acqua).
- Aeranti (determinano nelle malte una struttura microporosa a bollicine, non comunicanti tra loro, né con l'esterno).

### 7.3.1 Gli Additivi Organici

Una adeguata conoscenza e modalità d'azione degli additivi organici è determinante nel caso si vogliano restaurare intonaci di un certo interesse storico ed artistico, in modo da riprodurre il manufatto con gli stessi procedimenti del passato. Il conoscere il modo di agire di queste miscele ed il riprodurle è molto importante, perché se mal adoperate possono provocare numerosi inconvenienti. L'utilizzo delle sostanze organiche naturali nel passato era dettato dall'esigenza della disponibilità del materiale e dal costo. Così per rinforzare malte deboli si usava il sangue di bufala, lo zucchero, il formaggio, il letame ecc. Invece per favorire l'indurimento si aggiungeva all'impasto: succo di fico, miscela di segale, latte quagliato, il sangue ed il tuorlo d'uovo etc.

La tabella (2) espone l'uso degli additivi organici nella storia, a seconda delle testimonianze documentarie.

Additivi organici	150 a.C. Egitto	46 a.C. Vitruvio	23 a.C. Plinio	800 d.C. Rochester	1200	1500	1653 Plat	1703 Neve, Noxon	1750	1837 Vicat, Smith	1850 Burnell
<b>Albume</b>	▪										
<b>Colla animale</b>	▪							▪			▪
<b>Orzo</b>			▪						▪		
<b>Birra</b>					▪	▪			▪		
<b>Cera d'api</b>					▪	▪		▪	▪		▪
<b>Sangue</b>	▪	▪	▪	▪		▪	▪	▪	▪		▪
<b>Burro</b>										▪	
<b>Latte di burro</b>									▪		
<b>Caseina</b>	▪										
<b>Formaggio</b>								▪	▪	▪	▪
<b>Cotone</b>											▪
<b>Latte cagliato</b>		▪							▪	▪	

Additivi organici	150 a.C. Egitto	46 a.C. Vitruvio	23 a.C. Plinio	800 d.C. Rochester	1200	1500	1653 Plat	1703 Neve, Noxon	1750	1837 Vicat, Smith	1850 Burnell
Sterco									▪		
Uova	▪				▪	▪		▪	▪		▪
Bianco d'uovo	▪	▪			▪	▪	▪	▪		▪	▪
Corteccia d'olmo			▪								
Fibre			▪								
Succo di fico	▪	▪	▪						▪		
Succo di frutta					▪	▪			▪		
Glutine						▪	▪				▪
Gomma arabica	▪					▪	▪				▪
Peli			▪								
Lardo di maiale		▪	▪					▪			▪
Cheratina	▪										
Malto					▪	▪					
Latte		▪	▪					▪	▪	▪	▪
Melassa										▪	
Olio			▪							▪	▪
Resina								▪			
Riso						▪	▪				
Pasta di segale		▪							▪		
Zafferano			▪								
Gomma lacca											▪
Bozzima			▪		▪	▪					
Sugna			▪								
Zucchero					▪	▪			▪		
Tannino			▪								
Urina					▪	▪					
Succo vegetale								▪			
Vino			▪								
Mosto					▪				▪		

La tabella (3) elenca tutte le sostanze organiche utilizzate come additivi nelle malte, gli utilizzi per ciascun additivo e la composizione con il corrispettivo sintetico.

<b>Tipologia della sostanza</b>	<b>Funzione da assolvere</b>	<b>Additivo organico</b>	<b>Additivo sintetico sostitutivo</b>
Aeranti	Migliorano la durata	-Malto -Birra -Urina -Peli d'animale -(Sali di sostanze proteiche)	-Alchile-arile sulfonato -Sali di sulfonato di lignina -Alchile benzolo -Alcuni detergenti sintetici -Idrossido di bario -Sulfonato idrocarburi -Derivati del petrolio
Stabilizzatori emulsionanti	Stabilizzanti in emulsioni (in piccola quantità)	-Uova -Oli -Grasso -Cere	-Benzofenolo -Bezotriazolo -Acrilonitrile
Riempitivi	Migliorano la durezza	-Bozzima -Colla di pesce -Gomma arabica -Talco -Zucchero -Saccharina -Succo di frutta -Glutine -Riso	-Carbone fluido grezzo -Emulsione di leganti -Acrilici polimerici -Emulsioni acriliche -Borosilicato di sodio
Anticongelanti	Resistenza alla penetrazione del gelo	-Zucchero	-Alcol propile -Politene -Sostanze acriliche
Acceleratori	Accelerano l'indurimento e sviluppano da subito le azioni meccaniche	-Bianco d'uovo -Corteccia d'olmo -Acqua d'orzo -Succo di fico -Pasta di segale -Lardo di maiale -Latte quagliato -Sangue -Amido -Colostro -Mastice di gomma -Zucchero	-Cloruro di calcio -Trietanolamine -Foramato di calcio -Resina epossidica -Urea con idrossido di bario
Adesivi	Incrementano l'azione legante	-Resina -Gelatina -Colla animale -Cuoio -Glutine -Colla vegetale -Caseina -Sangue	-Resine acriliche -Polimeri acrilici -Polimeri epossidici -Emulsioni acriliche -Gomma -Copolimeri butadiene-stirene -Cloruro di polivinile

			(Pvc) -Acetato di polivinile (Pva) -Pva con Pv alcol
Generatori di gas	Accentuano la dilatazione durante l'applicazione	-Colla vegetale -Colla animale	-Sapone di resina -Proteine idrolizzate -Polvere d'alluminio -Saponine
Anti-ritiro	Riducono il ritiro	-Cera d'api	-Carbone fluido -Polvere d'alluminio -Gel di silice -Polimeri acrilici -Emulsioni acriliche
Plastificanti	Incrementano la lavorabilità	-Zucchero -Latte -Bianco d'uovo -Sterco impastato -Colle animali -Glicerina -Glucosio -Lecitina di soia -Olio minerale -Olio di semi di lino -Lardo di maiale -Fichi	-Sali di lignosulfonato siliconi -Resine epossidiche -Fosfati -Polibutene -Emulsioni acriliche -Polimeri acrilici -Borosilicato di sodio
Ritardanti	Ritardano il tempo d'indurimento	-Zucchero -Sangue -Bianco d'uovo -Saccarina -Glutine -Borace	-Acido e sale tartarico -Lignina -Siliconi -Acido carbonico idrossilato
Indurenti	Incrementano le capacità meccaniche	-Zucchero -Colla vegetale -Sciroppo di zucchero -Melassa	-Siliconi -Agenti accoppianti silane -Barata
Leganti		-Cheratina -Caseina -Corteccia d'olmo -Orzata -Tannino -Bozzima -Pasta di segale -Olio di noce -Peli di mucca -Capelli -Riso -Olio di semi di lino -Bianco d'uovo -Flocchi di cotone -Gomma arabica -Colla animale	-Resine acriliche -Acilonitrile -Emulsioni acriliche -Polimeri acrilici -Nylon -Carbone fluido -Cloruro di polivinile(Pvc) -Acetato di polivinile(Pva) -Politilene terephtalate -Politilene -Alcol di propile

		-Succo di fico con tuorlo d'uovo -Zucchero	
Ispessitori	Ispessiscono la consistenza nell'emulsione	-Sangue -Latte acido -Caseina -Formaggio -Gelatina -Gomma arabica con acqua	-Silice pirogenica -Emulsioni di copolimeri acrilici
Impermeabilizzanti		-Colla animale e tannino -Bitume -Emulsione di cera -Emulsione d'olio minerale e cera d'api	-Cloruro solubile -Starato di calcio -Starato d'alluminio -Starato d'ammonio -Starato di butile -Gruppi di metile -Acido starico -Acido oleico -Poliuretano -Resine epossidiche con silicone -Resine siliconiche con spirito minerale -Metilsiliconato di sodio con acqua -Acetato di polivinile(Pva) -Carbone fluido -Resine acriliche
Fluidificanti	Riducono il fabbisogno d'acqua	-Zucchero	-Sali di ligno sulfonato -Acido di idrossilato carbossilico -Gluconato -Eptonato -Polisaccaridi -Tartaro -Citrato -Silicone -Sulfonato di melamina formaldeide -Sulfonato di naftalina formaldeide

La tabella (4) approfondisce meglio i problemi dati da alcune sostanze organiche rispetto soprattutto ai prodotti sintetici da prendere in considerazione al loro posto.

Tipologia	Additivi organici	Problemi	Additivi sintetici
<b>Leganti</b>	Resina	Ingiallisce	Resina epossidica
<b>Aeranti</b>	Urina	Crescita di licheni	Ossido di polietilene
<b>Plastificanti</b>	Olio di semi di lino	Scarsa resistenza alle basse temperature	Pva, copolimeri acrilici
<b>Rinforzanti</b>	Tannino	Solubile in acqua	Emulsioni acriliche
<b>Riempitivi</b>	Sangue	Macchie scure	Silicio pirogenico
<b>Impermeabilizzanti</b>	Caseina	Scarsa resistenza all'idrolisi e all'attacco microbatterologico	Silicone

La tabella (5) mostra i risultati d'alcuni test sull'uso degli additivi organici in diversi esempi di malte, tra le più comuni.

Descrizione della malta	Resistenza al ritiro	Ciclo secco/bagnato	Protezione all'attacco biologico	Aspetto estetico
1) "Cemento freddo" (1703): 1/8 lb. Formaggio, 1/2 tazza di latte, 3 uova, 1/8 lb. Calce	O	O	D	O
2) 1:3:12; Portland: Calce: Sabbia;	O	O	O	O
3) 1:1:6; Portland: Calce: Sabbia;	D	O	O	O
4) 1:1/2:3; Calce: Sangue di bue: Sabbia	B	S	S	P
5) 1:3; Calce: Sabbia + corteccia d'olmo	D	B	B	D
6) 1:3; Calce: Sabbia con peli di bue	B	B	B	B
7) 1:3; Calce: Sabbia con riso	B	D	B	B
8) 1:1:3; Calce: Bianco d'uovo: Sabbia	P	D	B	D
9) 1:1:3; Calce: Succo vegetale: Sabbia	D	B	B	O
10) 1:2:9; Portland: Calce: Sabbia	O	O	O	O

Leggenda: O = ottimo; B = buono; D = discreto; P = povero; S = scarso.

### *7.3.2 Limiti Ed Inconvenienti Degli Additivi Organici.*

Gli inconvenienti di natura biologica sono di sicuro quelli preponderanti negli additivi organici. Infatti, l'azoto presente nelle sostanze organiche e quindi nelle molte forme di  $\text{NH}_3$ , viene convertito dai batteri in nitriti e dai nitrobatteri in nitrati, iniziando un processo che porta l'intonaco verso l'esfoliazione, la rottura e il crollo dell'intonaco, com'è evidenziato per additivi quali urine, letame, sangue ecc. Altri problemi si sono evidenziati con sostanze dalle presunte proprietà rinforzanti quali l'orzo, il tannino, la colla di bozzima, il sangue di bue con effetti disastrosi. Da tutto ciò si desume l'impossibilità di assicurare sempre con gli additivi organici l'effetto desiderato.

### *7.3.3 Gli Additivi Sintetici*

Gli additivi sintetici in una malta di base possono essere utili o sotto forma di miscela o come componenti principali. Il loro maggior vantaggio è che sia i loro requisiti sia le loro quantità possono essere controllate con maggior sicurezza. Diversi prodotti sintetici possono essere combinati per ottenere materiali con diverse qualità.

L'osservanza delle loro modalità d'uso è essenziale per la loro efficacia. Resine epossidiche e poliestere nelle malte esplicano un'ottima funzione adesiva e di protezione. La combinazione di questi due additivi può variare secondo le diverse caratteristiche che si vogliono ottenere in una malta. Esempio, aumentando la resina poliestere, aumenta la resistenza alla solubilità e all'azione degli acidi. L'uso del tannino, nel campo degli additivi organici, rappresenta la più efficace alternativa. La resina epossidica invece agisce regolando la durezza e la compattezza di una malta, migliorandone la flessibilità, l'adesività e la resistenza agli alcali. Altri additivi sintetici sono gli acetati acrilici e polivinilici, che agiscono stabilizzando le variazioni di temperatura, sostituendo positivamente nelle sue caratteristiche l'azione del sangue di bue, come additivo organico.

### *7.3.4 Inconvenienti E Problemi Degli Additivi Sintetici*

Inconvenienti e problemi degli additivi sintetici sono quelli che si possono manifestare con la formazione di sali solubili, con il conseguente rischio di efflorescenze, esfoliazioni e rotture. Un inconveniente da non trascurare è dato dall'irreversibilità di molti prodotti sintetici e in molti casi dalla loro eccessiva compattezza e durezza.

## 8 GLI INTONACI PER INTERNI

Come gli intonaci esterni sono delle superfici “di sacrificio”, in altre parole che devono proteggere gli edifici da tutti gli agenti di degrado esterno, che dal punto di vista climatico definiremo “macroclima”; così gli intonaci interni di un edificio sono delle superfici che senza degradarsi, devono mantenere nella norma tutti quei parametri che contribuiscono a definire salubre e sicuro un ambiente chiuso, definito da un punto di vista climatico “microclima”.

Le tipologie degli intonaci interni si possono suddividere in due gruppi:

- 1) Intonaci a base “calce/cemento”.
- 2) Intonaci a base “gesso”.

### 8.1 *Gli Intonaci A Base Calce/Cemento*

Gli intonaci a base calce/cemento possono suddividersi in :

- a) Intonaci tradizionali: sono quelli dove i leganti calce/cemento, gli inerti siliceo e/o calcareo ed acqua, sono miscelati in cantiere, con formulazione alquanto varia a seconda delle disponibilità della materia e consuetudini locali.
- b) Intonaci premiscelati a base calce/cemento: sono, invece, quelli dove i leganti calce/cemento e gli inerti calcareo e/o siliceo eventualmente alleggeriti con della Perlite ed additivi specifici vengono miscelati in fabbrica ed in cantiere si aggiunge la sola acqua d'impasto.

### 8.2 *Intonaci A Base Gesso*

Il gesso:  $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (solfato di calcio biidrato), si trova in natura in diverse varietà mineralogiche, quali la selenite, la sericolite, l'alabastro gessoso.

La selenite, se pura, è incolore, è trasparente dall'aspetto vetroso, ha peso specifico 2,3. forma caratteristici aggruppamenti cristallini, detti “geminati a ferro di lancia”.

Quando le masse gessose non hanno qualità estetiche particolari, vengono sfruttate per la preparazione del cosiddetto “gesso da presa”; infatti per le sue caratteristiche il gesso è un legante aereo che per la rapida “presa” ed “indurimento” viene impiegato per usi dove la sua debole resistenza meccanica non costituisce un inconveniente. Per la preparazione industriale si cuoce il gesso (**solfato di calcio biidrato**) a pressione atmosferica e a temperatura relativamente bassa di 107 gradi centigradi, trasformandolo in **gesso semiidrato**  $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$  , con la perdita di circa 2/3 di acqua. A 150 gradi centigradi, il gesso cuoce perdendo tutta l'acqua che contiene

trasformandosi in  $\text{CaSO}_4$  detta anidrite solubile o **anidrite  $\alpha$**  e a 250 gradi centigradi in **anidrite  $\beta$**  detta anche anidrite insolubile.

La cottura dei gessi può avvenire in forni di vario tipo: a tino, a marmitta, a camera oppure tubolari ruotanti. A seconda della temperatura di cottura si ottengono diversi tipi di gesso:

- Gesso d'opera: preparato a temperatura di 200 – 300 gradi centigradi; fa presa in diversi minuti.

- Gesso a rapida presa: preparato a temperatura inferiori a 180 gradi centigradi; fa presa in 2 – 4 minuti.

- Gesso a rapida presa: preparato a temperatura bassa; fa presa in 1 o 2 minuti.

- Se il gesso viene trattato a 600 gradi centigradi non è più in condizioni di fare presa ed è chiamato "Gesso morto".

- Se il gesso viene trattato a 900 – 1200 gradi centigradi, l'anidrite  $\beta$  o anidrite insolubile perde un  $\text{SO}_3$  e si trasforma in  $\text{CaO}$ , costituendo nuovamente un materiale da presa noto con il nome di "**Gesso idraulico**", che presenta discreta resistenza meccanica.

### 8.3 *Intonaci A Scagliola*

Gli intonaci a scagliola sono intonaci costituiti da solo legante (solfato di calcio emidrato, a volte additivato) ricavato dalla cottura a circa 180 gradi centigradi del solfato di calcio biidrato. In cantiere si aggiunge la sola acqua d'impasto.

### 8.4 *Intonaco Premiscelato A Base Gesso*

L'intonaco premiscelato a base gesso è un intonaco premiscelato in fabbrica, costituito da legante gessoso, inerte (calcare/siliceo ed eventualmente leggero come la Perlite o la Vermiculite) ed additivi specifici, pronto a ricevere in cantiere la sola acqua d'impasto. Il legante impiegato è un solfato di calcio biidrato cotto in particolari tipi di forni a temperature comprese tra i 160 –170 gradi centigradi. Fra gli intonaci premiscelati a base gesso meritano considerazione quelli contenenti, come legante, l'anidrene, costituita da una miscela di solfato di calcio emidrato ed anidrite  $\beta$  (solfato di calcio privo di acqua di cristallizzazione), che conferisce all'intonaco elevate caratteristiche di resistenza e lavorabilità.

## **8.5 RAFFRONTO D'ALCUNE PROPRIETA' TRA I DIVERSI INTONACI PER INTERNI**

### **8.5.1 La Permeabilità Al Vapore Acqueo**

Condizione indispensabile per la salubrità degli ambienti chiusi è una corretta permeabilità al vapor acqueo di un intonaco per un'efficiente traspirazione delle pareti.

La proprietà di un materiale di consentire o meno il passaggio del vapore viene espressa mediante un parametro inversamente proporzionale alla permeabilità, che rappresenta di quanto si oppone il materiale al passaggio del vapore, rispetto all'aria nello stesso spessore:

**$\mu$  = fattore di resistenza al passaggio del vapor acqueo.**

I valori medi del  $\mu$  per i diversi tipi di intonaci sono:

intonaco tradizionale:  $\mu = 20$

premiscelato calce/cemento:  $\mu = 15$

scagliola:  $\mu = 10$

premiscelato a base gesso:  $\mu = 7$

Si evidenzia, da quanto sopra riportato, che più alto è il valore di  $\mu$  (fattore di resistenza al passaggio di vapor acqueo), minore è la traspirazione della parete.

Si nota, quindi, che gli intonaci a base gesso hanno una maggiore permeabilità al vapore rispetto a quella degli intonaci a base calce/cemento. Ciò è dovuto alla natura porosa del gesso esaltata nel premiscelato dalla presenza di inerti.

Infatti nell'intonaco a base calce/cemento, il cemento in esso presente, anche a basse percentuali, assume nella propria presa una struttura poco porosa a fibre orientate, avente una buona funzione strutturale, ma negativa nei confronti della permeabilità al vapore.

### **8.5.2 Le Condensazioni E Le Efflorescenze Superficiali**

Tale fenomeno viene erroneamente considerato da molti esperti una conseguenza dell'utilizzo dell'intonaco a base gesso e della sua presunta impermeabilità al vapore.

L'applicazione della legge n. 373 che ha reso obbligatorio l'isolamento degli edifici, il controllo del ricambio d'aria, con l'introduzione sul mercato di infissi a perfetta tenuta di spifferi, e la limitazione della temperatura all'interno dei locali, insieme ad una scarsa conoscenza delle problematiche igrotermiche, hanno portato alla realizzazione verso la fine degli anni settanta di intonaci, con temperature superficiali interne, spesso inferiori alla temperatura di rugiada corrispondente alle condizioni igrotermiche dei locali.

Un inadeguato ricambio d'aria degli ambienti ha portato quindi ad un innalzamento del tasso di umidità, favorendo sulle pareti la formazione di condensa e creando le condizioni ideali allo sviluppo di muffe ed efflorescenze.

Vi è da considerare, infine, che il fenomeno della formazione di muffe, è dovuto generalmente all'utilizzo di pitture organiche, a prescindere dal tipo d'intonaco impiegato.

### 8.5.3 Il Comportamento Igroscopico

L'igroscopicità di un intonaco c'indica la proprietà che esso ha di intervenire regolando le variazioni di umidità relativa di un ambiente chiuso.

Mentre l'intonaco a base calce/cemento non interviene in questa regolazione, per la natura dei leganti impiegati; l'intonaco a base gesso, invece, grazie alla struttura cristallina del solfato di calcio, è in grado di assorbire e cedere vapor acqueo nell'ambiente.

Questa proprietà è stata suffragata da prove di laboratorio su provini di gesso sottoposti per una settimana ad essiccamento a 23 gradi centigradi ed ad un'umidità relativa del 60%, e, successivamente per un'altra settimana ai seguenti cicli alterni:

- 20 ore a 23 gradi centigradi ed umidità relativa del 90%
- 4 ore a 23 gradi centigradi ed umidità relativa del 50%

Questi i risultati ottenuti:

	Valore medio per provino in 24 ore	
	Assorbimento d'acqua	Restituzione d'acqua
Peso in grammi	0,88	0,89
% in relazione al gesso secco	0,71	0,70

Essi dimostrano un leggero essiccamento corrispondente di circa 52 grammi d'acqua per metro quadro d'intonaco a base gesso (spesso un centimetro); in un ambiente normale, tale quantità può corrispondere a più del triplo della quantità di vapor d'acqua che un ambiente contiene a 23 gradi centigradi ed ad un'umidità relativa pari al 90%, concludendo possiamo affermare che l'intonaco a base gesso interviene in un ambiente chiuso come un attivo compensatore igroscopico capace di immagazzinare l'eccesso d'umidità presente nell'aria e di cederlo quando il tasso d'umidità si riduce.

Questo processo può svolgersi ciclicamente senza per questo alterare le caratteristiche di resistenza dell'intonaco.

#### 8.5.4 *Comfort Ambientale E Condensazioni Superficiali*

La regolazione igrometrica dell'intonaco a gesso favorisce quindi l'istaurarsi di migliori condizioni di comfort e salubrità limitando il pericolo di condensazioni di vapore d'acqua e le conseguenti possibili formazioni di muffe ed efflorescenze superficiali.

#### 8.5.5 *L'isolamento Termico*

IL termo isolamento di un edificio può essere favorito da un buon intonaco con un innalzamento della temperatura superficiali delle pareti. Ciò comporta:

- minori rischi di condensa grazie ad una differenza di temperatura maggiore fra la temperatura della parete e la temperatura di rugiada dell'aria, nelle condizioni termoigrometriche ambientali.

- a parità di condizioni igrometriche, maggior stato di benessere termico dipende dallo scambio di calore dall'uomo con l'ambiente per convezione ed irraggiamento.

Lo scambio per convezione dipende dalla temperatura dell'aria, quello per irraggiamento dalla temperatura delle pareti.

Quindi la temperatura di benessere (t) percepita dall'uomo in un ambiente dipende sia dalla temperatura dell'aria sia da quella delle pareti secondo la seguente formula approssimativa:

$$t = \frac{t_a + t_b}{2}$$

$t_a$  = temperatura dell'aria

$t_p$  = temperatura delle pareti

#### 8.5.6 *La Temperatura Delle Pareti*

Dalla formula precedente se ne deduce che se vogliamo aumentare la temperatura di benessere umano, senza innalzare la temperatura dell'aria, dobbiamo necessariamente aumentare la temperatura delle pareti. Per fare ciò bisogna migliorare l'isolamento delle pareti anche utilizzando intonaci con un coefficiente di conducibilità termica basso. Questo coefficiente ( $\lambda$ ) per i vari intonaci ha i seguenti valori:

intonaco tradizionale	1,1 Kcal/m h °C
Intonaco premiscelato base calce/cemento	0,8 Kcal/m h °C
scagliola	0,22 Kcal/m h °C
Intonaco premiscelato a base gesso	0,12 Kcal/m h °C

Ciò significa che l'intonaco premiscelato a base gesso soprattutto, se contiene come inerte la Vermiculite, è in grado di innalzare di 2 – 3 gradi centigradi rispetto ad un intonaco tradizionale la temperatura superficiale delle pareti. Il gesso inoltre fornisce una sensazione tattile di calore paragonabile a quella del legno.

#### 8.5.7 *Il Ritiro*

Mentre l'intonaco a base calce/cemento è soggetto ad un ritiro plastico ed ad uno idraulico, a causa dei leganti impiegati e dei lunghi tempi d'idratazione dei leganti, dando screpolature e fessurazioni, l'intonaco a base gesso, invece, grazie alle caratteristiche di veloce presa del legante, è esente da tali inconvenienti. Infatti, durante il periodo di presa, si verifica una contrazione inferiore rispetto alla dilatazione avvenuta durante l'impasto a vantaggio ed in compensazione d'eventuali fessurazioni.

#### 8.5.8 *L'adesione Al Supporto*

L'intonaco fluido a base gesso è in grado di introdursi nei pori del supporto cristallizzando, dando quindi un ancoraggio di compenetrazione abbastanza solido superiore a quello che può dare un intonaco a base calce/cemento.

#### 8.5.9 *L'elasticità*

L'intonaco interno ha fra le sue molteplici funzioni, inoltre, quella di rivestire, proteggere e di finire le opere murarie; deve possedere, quindi, una sufficiente elasticità per compensare i piccoli movimenti del supporto. Il parametro che caratterizza questa proprietà è il modulo d'elasticità normale di Young (E). La capacità di deformarsi di un materiale è inversamente proporzionale ai valori di tale modulo, e dai valori ricavati per i vari tipi d'intonaci, se ne ricava che le maggiori garanzie contro le screpolature dovute agli assestamenti e dilatazioni delle strutture, sono date da un intonaco premiscelato a base gesso e per ultimo dall'intonaco tradizionale.

#### *8.5.10 La Resistenza Meccanica*

I pregi delle modalità di presa del gesso, l'assenza di ritiro idraulico e le ottime condizioni di posa offrono a questo legante delle ottime prestazioni di resistenza meccanica.

#### *8.5.11 Le Caratteristiche Applicative*

Negli intonaci interni a base calce/cemento è soprattutto la calce a caratterizzarne i limiti dell'applicazione. Infatti, la calce fa presa, mediante il fenomeno della carbonatazione, cioè il riassorbimento dell'anidride carbonica dell'atmosfera persa durante la calcinazione del carbonato di calcio. La carbonatazione è una reazione molto lenta che può avvenire solo attraverso una graduale ed efficace perdita d'acqua d'impasto. Inoltre, la superficie a diretto contatto con l'aria si carbonata prima, ostacolando la carbonatazione della parte sottostante. Per queste ragioni, lo spessore di quest'intonaco va applicato in più fasi per consentirne la completa carbonatazione, nonché suddividerne il ritiro dell'intonaco in più stadi e ridurre quindi i pericoli di screpolature e fessurazioni. Tutto ciò richiede tempo e manodopera inconciliabili con i ritmi dell'edilizia moderna. Inoltre tali intonaci sono sensibili alle condizioni atmosferiche e n'è sconsigliabile la loro posa in opera a temperature superiori a 35 gradi centigradi o inferiori a 5°C. Gli intonaci a base gesso, invece, sono insensibili alle variazioni climatiche, la velocità e le loro caratteristiche di presa consentono l'applicazione di forti spessori d'intonaco e ritmi di lavoro più rapidi. Ciò li rende particolarmente adatti negli interventi di ristrutturazione e recupero di vecchi edifici, dove supporti poco aggrappanti e difetti di planarità delle murature necessitano di tali peculiarità.

#### *8.5.12 Il Comportamento Al Fuoco*

Gli intonaci a base gesso assicurano un'ottima protezione, in caso d'incendio, grazie al loro contenuto d'acqua di cristallizzazione pari a circa il 20% del gesso reidratato. L'intonaco a base calce/cemento, invece, a causa della sua elevata conducibilità termica, non è in grado di esercitare un'efficace azione di contrasto all'innalzamento della temperatura. La calcinazione dello strato più esterno dell'intonaco a gesso da parte del fuoco, offre inoltre un'ulteriore protezione allo strato di gesso sottostante. Tali caratteristiche di protezione al fuoco sono maggiormente incrementate negli intonaci premiscelati dall'uso d'isolanti termici quali la Perlite e soprattutto la Vermiculite.

### 8.5.13 La Corrosione

La corrosione delle superficie ferrose a contatto con l'intonaco è un processo elettrochimico risultante da due reazioni elettrodiche: una anodica ed una catodica. Tale processo viene esaltato dalle correnti vaganti dovute ad un incauto collegamento dell'impianto di messa a terra con l'impianto idrico.

## III. IL DEGRADO

### III. *Introduzione*<sup>28</sup>

I principali fenomeni di degrado riscontrati negli edifici costruiti in arenaria "massacà", pietra altamente porosa, sono per lo più riconducibili all'azione dell'acqua meteorica ed alle infiltrazioni d'umidità di risalita. Fenomeni di erosione per dissoluzione dei sali solubili, trasporto ed incrostazione per ricristallizzazione del carbonato di calcio, o di altri sali responsabili della formazione di efflorescenze e sub-efflorescenze, con conseguente aumento della porosità della pietra ed innesco di fenomeni di decoesione e di distacco dei diversi elementi clastici (processo di alveolizzazione).

L'acqua esercita anche un'azione d'erosione meccanica, nonché una disgregazione fisica in seguito a sbalzi termici, producendo tensioni meccaniche interne alla pietra, responsabili di forme di esfoliazioni, scagliature, fessurazioni e fratturazioni. Anche l'aerosol marino, l'alta umidità notturna, le probabili precipitazioni di piogge acide, trasportate da forti venti provenienti dall'area industriale di Porto Torres, solubilizzano il cemento calcitico decoesionando la pietra ed aumentandone la porosità. Altro tipo di degrado è quello dovuto all'azione dell'erosione eolica e all'evaporazione per ventilazione, che provoca la disgregazione del cemento calcarenitico. Anche l'alta temperatura, che nei mesi estivi raggiunge spesso i quaranta gradi centigradi, favorisce una veloce evaporazione dell'acqua contenuta all'interno della porosità della pietra provocando un'azione disgregatrice.

Eventi di gelività, trattandosi di un'area temperata sono sporadici.

L'umidità favorisce anche l'attecchimento di biodeteriogeni che per lo più agiscono alterando la cromaticità lapidea.

I su elencati fenomeni di degrado nonché le trascurate manutenzioni e ristrutturazioni e gli inadeguati interventi di restauro sono concause del degrado del centro storico di Alghero.

## **9 IL RUOLO DELL'UMIDITA' NEL DEGRADO DEI MATERIALI NELLE MURATURE** <sup>29</sup>

Numerose sono le cause che possono determinare la presenza di umidità negli edifici storici, tuttavia quelle più comuni sono riconducibili:

- a) alla presenza del vapore acqueo nell'atmosfera che può condensare sulla superficie oppure all'interno della muratura;
- b) alla presenza di acqua nel terreno che può essere "attratta" per il fenomeno della risalita capillare o a causa di forze elettro- osmotiche;
- c) alla presenza di acqua nei materiali usati per la costruzione dei muri. Negli edifici antichi, questo tipo d'umidità può riscontrarsi anche per qualche secolo, se nella realizzazione delle murature, di grosso spessore, sono state impiegate malte di calce aerea che per il mancato contatto con l'anidride carbonica dell'atmosfera si presentano ancora non indurite;
- d) per la pioggia che può penetrare all'interno degli edifici se le superfici esterne e gli intonaci non sono capaci di impedire l'ingresso dell'acqua. La presenza di umidità negli edifici può essere imputabile, inoltre, ad una non corretta impermeabilizzazione delle coperture e dei terrazzi ed ad una raccolta delle acque non ottimale unitamente ad uno smaltimento non corretto;
- e) alla presenza di acqua determinata da cause impreviste quali rotture di condutture, serbatoi e fognature nel terreno.

La presenza di acqua può determinare:

- a) degrado dei materiali per effetto delle pressioni generate dal congelamento dell'acqua;
- b) degrado per incompatibilità chimica dei materiali costituenti la muratura che in assenza di acqua potrebbero convivere senza generare reazioni chimiche distruttive;
- c) diminuzione del comfort termico degli edifici causata dalla presenza di acqua e di quello igienico per la inevitabile comparsa di muffe;

d) esfoliazione e distacchi superficiali degli intonaci dalla muratura per effetto del trasporto dei sali dal terreno o dalle zone più interne del muro verso l'esterno del paramento.

Nella esposizione che segue verranno considerate esclusivamente le problematiche connesse con **l'umidità nelle costruzioni derivanti dalla presenza di acqua nel sottosuolo**, la quale può avere la sua origine:

- dalla presenza di una falda freatica;
- dall'acqua piovana assorbita o non sufficientemente raccolta e istradata;
- dall'acqua dispersa accidentalmente per la rottura di fognature, tubazioni, etc.
  - a) Nella prima situazione la presenza di acqua si registra durante tutto l'arco dell'anno ed interessa generalmente ed indistintamente tutti i muri, sebbene nei muri spessi ed esposti nelle zone a nord l'umidità risulta più evidente;
  - b) Quando l'umidità è determinata dall'imbibizione con acqua piovana i muri interessati dal fenomeno sono soltanto quelli perimetrali. Le altezze di risalita variano raggiungendo i valori massimi durante i periodi più piovosi ed annullandosi nel periodo estivo;
  - c) Quando l'umidità è determinata dalla presenza di acqua accidentalmente dispersa sono solo i muri o le porzioni di muro a diretto contatto con il terreno coinvolto con la presenza di acqua dispersa ad essere interessati al fenomeno.

### **9.1 LA RISALITA CAPILLARE DELL'ACQUA NEI SOLIDI POROSI**

L'acqua, come tutti i composti chimici, è caratterizzata da una serie di proprietà fisiche, quali la tensione di vapore, la temperatura di solidificazione, quella di ebollizione, ecc.

I valori di queste proprietà possono cambiare in modo significativo se l'acqua, anziché essere contenuta in un comune recipiente di proporzioni relativamente grandi, viene a trovarsi all'interno di piccole cavità quali possono essere i pori presenti nei materiali di costruzione delle murature.

Un solido nei confronti di un liquido può assumere comportamento liofilo (affine al liquido) o liofobo (nemico del liquido): nel caso in cui il liquido sia l'acqua i due termini diventano idrofilo ed idrofobo.

Se si considera una superficie idrofila piana di solido come un mattone, o una malta o una pietra, a contatto con una goccia d'acqua, l'angolo di contatto  $\theta$  risulterà minore di  $90^\circ$ , in quanto la goccia d'acqua, per la sua affinità con il solido, tenderà a "schiacciarsi" sulla superficie per estendere al massimo il contatto con il solido.

Invece il mercurio il quale mostra un comportamento di liofobia, , l'angolo di contatto  $\theta$  risulterà maggiore di  $90^\circ$ , in quanto la goccia di mercurio tende ad assumere una forma sferica per minimizzare il contatto con la superficie del solido.

Il comportamento idrofilo di un liquido può trasformarsi in idrofobo se la superficie del solido viene trattata con prodotti quali i silani, gli stearati, i grassi, ecc. impiegati per rendere idrorepellente la superficie di un solido che di per sé sarebbe idrofilo: in tal caso l'angolo di contatto  $\theta$ , diventa maggiore di  $90^\circ$ .

Una conseguenza della diversa affinità di un solido per un liquido, e viceversa, consiste nel fenomeno della risalita capillare.

Un liquido, che mostri affinità per le pareti interne di un tubo immerso in una vaschetta contenente il liquido stesso, risale spontaneamente all'interno del tubo spinto da una pressione ( $P$ ) così calcolabile (equazione di Washburn):

$$P = (2\sigma/r_c)\cos\theta \quad [1]$$

Dove  $\sigma$  è la tensione superficiale del liquido,  $r_c$  è il raggio del tubo capillare e  $\theta$  è l'angolo di contatto.

Se  $\theta$  è minore di  $90^\circ$ , il  $\cos\theta$  è maggiore di zero e la pressione  $P$  risulta positiva: è come se la pressione capillare spingesse "spontaneamente" il liquido all'interno del tubo dal basso verso l'alto. Essa è tanto maggiore quanto minore è  $r_c$  (cioè quanto più piccola è la dimensione del tubo) e quanto minore è  $\theta$  (cioè quanto maggiore è l'affinità del liquido per la superficie interna del tubo).

La risalita del liquido all'interno del tubo avviene, finché raggiunta un'altezza  $h$ , si stabilisce un equilibrio tra la pressione capillare ( $P$ ) e la pressione idrostatica ( $m \cdot g \cdot h$ ):

$$m \cdot g \cdot h = (2\sigma/r_c)\cos\theta \quad [2]$$

dove  $m$  è la massa volumica del liquido e  $g$  è l'accelerazione di gravità.

Nel caso di liquidi, come il mercurio, dove il  $\cos\theta$  risulta negativo anche il valore di  $P$  risulta negativo: ciò significa in pratica, che il mercurio non risalirà "spontaneamente"

all'interno del tubo, ma sarà necessario applicare una pressione  $P$  sul mercurio per vincere la liofobia del mercurio nei confronti delle superfici interne del tubo: la pressione da applicare sarà in tal caso tanto maggiore quanto minore è il raggio del capillare e questo principio viene sfruttato per calcolare il raggio medio dei pori in un corpo attraverso la misura  $P$  che occorre per forzare il mercurio in un solido poroso (porosimetro a mercurio).

### 9.1.1 L'equilibrio Igrometrico: Fondazione – Muratura – Ambiente

In teoria la massima risalita ( $h$ ) di acqua per capillarità è ricavabile dall'equazione [2] che nella forma dell'equazione [3] è nota come legge di Yurin:

$$h=2\sigma\cos\theta/r_c \cdot mg \quad [3]$$

dove  $m$ , la massa volumica dell'acqua, è  $1000 \text{ Kg/m}^3$ ,  $g$  vale  $9,81 \text{ ms}^{-1}$ , e  $\sigma$  è la tensione superficiale ed è uguale a  $72 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ . Per  $\theta = 0$ , cioè assumendo la massima affinità possibile tra acqua e materiale poroso (mattoni, pietra, malta), si ottiene l'equazione [4]:

$$h=14.7 \cdot 10^{-6}/r_c \quad [4]$$

Ciò significa che in un materiale poroso costituito solo da pori con raggio capillare  $r_c$  di  $1 \mu\text{m}$  (cioè  $1 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ ), l'altezza di risalita dell'umidità dovrebbe arrivare al massimo di circa 15 m:

$$h=14.7 \cdot 10^{-6}/1 \cdot 10^{-6}=14.7\text{m} \quad [5]$$

In effetti, anche in murature costantemente insistenti su un sottofondo bagnato come si verifica in quelle di Venezia, difficilmente si registrano risalite capillari oltre i 2-3m (3). La ragione di questa discrepanza tra teoria e realtà (cioè tra 14-15 m contro 2-3m) sta nel fatto che accanto al fenomeno della risalita capillare, coesiste quello dell'evaporazione. Inoltre la risalita capillare richiede del tempo: inizialmente essa procede con una velocità lineare di circa 2 cm/ora, successivamente la cinetica di risalita è molto più lenta. Tuttavia l'aspetto cinetico del fenomeno è praticamente annullato, dopo qualche anno, laddove, come si verifica per le murature di Venezia, le murature insistono su fondazioni che sono perennemente immerse in acqua; esso deve essere, invece, preso in considerazione laddove la bagnatura delle fondazioni è discontinua o addirittura occasionale.

L'evaporazione dell'acqua, attraverso la parete esposta all'aria, influenza il contenuto residuo di umidità risalita per capillarità nella muratura. Si osserva che il contenuto di acqua può raggiungere valori del 20-30% nelle zone basse della muratura fino a circa 1m. Per altezze superiori, l'evaporazione dell'acqua annulla in gran parte l'alimentazione dell'acqua per risalita capillare e si registra una diminuzione brusca dal 15-20% fino a circa il 5% nella fascia di muratura tra 1 e 2 m di altezza. Per altezze della muratura superiore a 2-3 m, il valore dell'umidità residua non è tanto dovuto alla risalita capillare, quanto invece alla condensazione capillare ed il valore (circa 2-3%) dipenderà ovviamente dall'UR ambientale e dalla dimensione dei pori.

Ovviamente dipenderà dal tipo di muratura, dalla costanza o meno di alimentazione di acqua dalla fondazione e dalle particolari condizioni microclimatiche (vento, UR, temperatura, insolazione) che potranno favorire o meno l'evaporazione dell'acqua.

Per quanto concerne l'umidità della muratura a parità di altezza, essa varierà solo leggermente in funzione dello spessore della muratura e tenderà ad essere leggermente inferiore verso la parete da dove avviene l'evaporazione.

#### *9.1.2 La Risalita Dell'acqua Nelle Murature Della Fondazione*

La risalita capillare dell'acqua nelle murature allorquando queste insistono su una fondazione umida porterà l'umidità ad altezze tanto maggiori quanto minore è la dimensione dei pori presenti all'interno dei materiali.

In realtà, data la grande eterogeneità dei materiali che compongono la muratura (mattoni, pietre, malta di allettamento, ecc.) la risalita avverrà in modo non uniforme per la distribuzione dimensionale dei pori diversa da materiale a materiale, ed in minor misura per la diversa idrofilia, che può variare con i materiali.

In effetti la risalita capillare non raggiungerà mai i valori teorici in quanto una parte dell'acqua che risale può evaporare, a meno che la muratura non sia rivestita da entrambi i lati (esterno ed interno) da un rivestimento superficiale impermeabile. Nel caso in cui il rivestimento impermeabile sia presente solo sul lato esterno della muratura, la risalita capillare sarà maggiore su questo lato, e minore sul lato interno per effetto dell'evaporazione. Infine, se la muratura non presenta rivestimenti su entrambi i lati, l'evaporazione dell'acqua non consentirà di raggiungere la massima risalita capillare: 14-15m e l'umidità sarà presente soltanto nella parte più bassa (1-2 m) della muratura.

La conseguenza pratica della risalita capillare dell'umidità all'interno delle murature sono molteplici e tutte negative. Innanzitutto si registra uno scadente comfort interno

laddove l'umidità evapora verso gli interni degli edifici; l'evaporazione avviene con sottrazione di calore e gli ambienti risultano umidi e freddi. In secondo luogo l'acqua presente nelle murature può congelare d'inverno ed innescare un degrado del materiale. Il trasporto di acqua dal basso verso l'alto porterà alla formazione di depositi salini sulla superficie esterna (efflorescenze) o appena sotto l'intonaco (sub- efflorescenze), in quanto tutti i sali idrosolubili presenti nel terreno, nella fondazione o nella muratura stessa subiranno nel tempo lo stesso percorso ascendente dell'acqua accumulandosi verso zone più alte e corticali della struttura. Per quanto riguarda la risalita capillare in rapporto allo spessore murario essa si manifesta con una maggiore intensità, a parità di tutte le condizioni, nei muri più spessi, i quali riescono ad adescare dal terreno un maggior quantitativo di acqua dei muri più sottili, ma ne smaltiscono una quantità equivalente a quella evaporata da questi ultimi.

Le osservazioni eseguite su edifici situati in zone caratterizzate da presenza di acqua nel sottosuolo hanno messo in evidenza che l'altezza di risalita capillare reale:

- nei pilastri isolati è pari all'incirca allo spessore del pilastro;
- nei muri perimetrali varia da circa 2 a circa 5 volte lo spessore del muro;

nei muri di spina è pari a circa 2-6 volte lo spessore del muro.

In presenza di umidità, inoltre, viene favorita la crescita di microrganismi vegetali (muffe, muschi, funghi, licheni) con gravi ripercussioni sull'aspetto estetico delle murature.

Infine, a causa del movimento dei sali trascinati dall'acqua, si possono innescare alcune reazioni chimiche (molto dannose alla stabilità delle malte di allettamento e degli intonaci) nel caso che tra i sali siano presenti i solfati.

In sintesi, le conseguenze della risalita capillare dell'acqua - congiuntamente all'umidità derivante dall'azione della pioggia - sono così riassumibili (Tabella 1)

**Tabella 1    Conseguenze dell'acqua nelle murature**

<b>Ridotto comfort</b>
<b>Deterioramento per formazione di ghiaccio</b>
<b>Efflorescenze e sub- efflorescenze</b>
<b>Crescita di muffe, muschi, funghi e licheni</b>
<b>Degrado per attacco solfatico (ettringite e/o thaumasite)</b>

## **9.2 LA FORMAZIONE DEL GHIACCIO NEI MATERIALI DA COSTRUZIONE ESPOSTI ALL'ACQUA AMBIENTALE**

Quando l'acqua solidifica, il suo volume aumenta del 9%, e se essa riempie completamente una cavità di un solido poroso, come un mattone o una malta, l'incremento di volume che accompagna la formazione di ghiaccio provoca un aumento di pressione che può arrivare alla distruzione del materiale, soprattutto se il fenomeno del gelo si alterna ripetutamente a quello del disgelo.

L'abbassamento della temperatura al di sotto del punto di gelo è condizione necessaria ma non sufficiente affinché si espliciti l'azione distruttiva di un solido poroso. Infatti, qual' è il grado di saturazione (cioè, la percentuale del volume di acqua presente nelle cavità di un solido poroso rispetto al volume totale dei pori) critico al di sopra del quale l'aumento di volume dell'acqua (9%), che accompagna la formazione del ghiaccio, può provocare la distruzione del materiale?

Se si indica con  $v$  il grado di saturazione critico, esso può essere così individuato:

$$\begin{aligned}V + 0.09v &= 100 \\ V &= 100 / 1.09 = 91.7\end{aligned}$$

In altre parole, se l'acqua riempie più del 91.7% del volume dei pori, la completa formazione del ghiaccio comporta un volume finale dell'acqua maggiore del volume dei pori: conseguentemente all'interno dei pori vengono indotte delle tensioni che possono arrivare alla rottura del materiale qualora la resistenza a trazione del materiale stesso risulti inferiore alla tensione insorta.

In realtà sono stati registrati casi di rottura di materiali porosi anche se l'acqua in essi contenuta era considerevolmente inferiore al 91.7%: questo perché l'umidità nei solidi porosi può essere distribuita in modo eterogeneo. Infatti, non si può escludere che in alcune zone il contenuto di umidità possa essere anche superiore al 91.7%, provocando così localmente una formazione di ghiaccio distruttiva per il materiale.

Per contro, si sono registrati anche casi di non distruzione del materiale sebbene il grado di saturazione critico fosse uniforme e superiore al 91.7%: nel caso di un materiale meccanicamente molto resistente e poco poroso anche un grado di saturazione superiore a quello critico può non essere sufficiente a distruggere il materiale; anche se i pochi pori infatti sono pieni di acqua, la formazione di ghiaccio, e la conseguente sollecitazione, può arrivare al massimo a deformare elasticamente il materiale senza però arrivare a provocarne la rottura.

Quindi, il degrado connesso alla formazione di ghiaccio in solidi porosi non è facilmente inquadrabile in base alla misura del grado di saturazione.

A complicare il fenomeno contribuisce il fatto che la cristallizzazione del ghiaccio non è un fenomeno istantaneo: esso si verifica gradualmente e con una velocità tanto maggiore quanto più alta è la velocità di raffreddamento.

Il fatto che i cristalli di ghiaccio si formino mentre ancora coesiste una parte di acqua liquida, comporta che l'aumento di volume dei primi cristalli comprime l'acqua non ancora solidificata verso vie d'uscita o cavità vuote. La pressione idraulica che così si genera è tanto maggiore quanto più difficile è la fuoriuscita dell'acqua non ancora solidificata. Pertanto la probabilità che la pressione idraulica arrivi a provocare la rottura del materiale solido poroso dipende, oltre che dalla resistenza a trazione del materiale stesso, anche da quei parametri che influenzano l'entità della pressione idraulica secondo la legge di Darcy:

$$dV/(dt \cdot A) = K \cdot \Delta P/L$$

dove  $\Delta P$  è la differenza tra la pressione idraulica che si genera dove si forma il ghiaccio e quella atmosferica;  $L$  è il cammino che l'acqua non ancora solidificata deve percorrere fino a fuoriuscire o trovare una cavità vuota che si trova alla pressione atmosferica;  $A$  è la sezione dei pori attraverso cui l'acqua liquida viene spinta;  $dV/dt$  è l'aumento di volume nel tempo determinato dalla formazione di ghiaccio, che dipende dalla velocità con cui il ghiaccio si forma e quindi dipende dalla velocità di abbassamento della temperatura ambientale al di sotto di  $0^{\circ}\text{C}$ ;  $K$ , infine, è il coefficiente di permeabilità che dipende dalla porosità totale del materiale solido e dalla distribuzione dimensionale dei pori. Se si riduce la distanza ( $L$ ) tra un punto dove si forma il ghiaccio e quello dove si trova una cavità vuota, si aumenta la capacità del materiale di resistere alle tensioni provocate dalla formazione del ghiaccio. In pratica ciò può essere realizzato aggiungendo alle malte o ai calcestruzzi, un additivo tensioattivo (aerante) capace di sviluppare una miriade di microbolle (diametro medio:  $100\mu\text{m}$ ) distanti tra loro non più di  $200\text{-}300\mu\text{m}$ .

### **9.3 EFFLORESCENZE SULLE MURATURE E SUBEFFLORESCENZE DENTRO LE MURATURE**

L'acqua che risale capillarmente dalla fondazione trascina con sé tutti i sali idrosolubili che incontra lungo il suo cammino e li deposita sotto forma di efflorescenze

sulla superficie da cui evapora. In talune circostanze climatiche (vento forte e bassa UR) l'evaporazione è così veloce che avviene ancora prima di raggiungere la superficie esterna, cosicchè il deposito dei sali trascinati dall'acqua liquida avviene all'interno della muratura (subefflorescenze), e molto spesso nella zona di confine tra zona umida e zona asciutta, per le subefflorescenze, possono insorgere delle tensioni interne dovute alla cristallizzazione dei sali capaci di danneggiare il materiale.

Ma l'inconveniente più grave nel fenomeno di risalita capillare dell'acqua è dovuto al fatto che alcuni di questi sali (per esempio i solfati) possono interagire negativamente con altri composti situati per esempio sugli intonaci. Ne consegue che le murature esposte ai fenomeni di risalita capillare sono quasi sempre maggiormente esposte al rischio di degrado: di tipo fisico (formazione di ghiaccio, subefflorescenza) o di tipo chimico (reazione di sali idrosolubili con altri elementi della muratura).

#### **9.4 L'INFLUENZA DELL'ACQUA SULLE ALTERAZIONI BIOLOGICHE**

L'insediamento di micro-organismi rientra tra le cause biologiche di degrado, ed è fortemente condizionato dalla presenza dell'acqua.

Le alghe possono insediarsi sulla superficie degli intonaci umidi. Inizialmente assumono una colorazione verdastra che tende progressivamente al bruno e poi al nero fino a confondersi con le croste nere. In genere le alghe scure crescono più facilmente in corrispondenza di zone alimentate dall'acqua che, è scaricata in modo improprio da grondaie difettose, davanzali, ecc.

Non accettabili esteticamente, le alghe non provocano un'azione disgregante dell'intonaco.

Anche i licheni, derivanti da un'azione combinata delle alghe con i funghi, possono danneggiare solo l'aspetto estetico delle pitture o anche delle pietre attraverso una variazione di colore; difficilmente essi sono responsabili di una disgregazione sia pure superficiale del materiale.

Vi sono anche alghe e licheni capaci di produrre l'acido ossalico che, reagendo con il calcare dell'intonaco, dà luogo ad una patina di ossalato di calcio variamente colorata (rosa, giallo, marrone) e ritenuta decorativa e protettiva nei confronti della superficie sottostante. Non si può, però, escludere che la patina di ossalato di calcio si sia formata lentamente nel tempo attraverso una trasformazione biologica di prodotti organici (albumina, caseina, ecc.) applicati originariamente sugli intonaci a scopo protettivo e decorativo. Per questo motivo, a differenza delle macchie provocate dalle alghe, le patine

di ossalato non sono meccanicamente rimosse negli interventi di manutenzione o recupero degli intonaci.

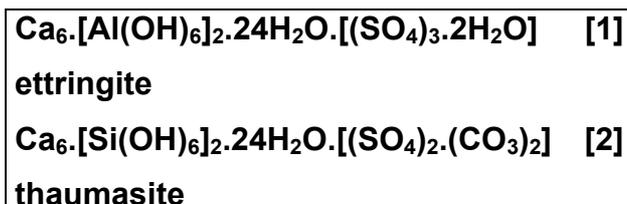
### **9.5 REAZIONI CHIMICHE “PERICOLOSE” NELLE MURATURE TRA I MATERIALI ORIGINALI: L’ATTACCO SOLFATICO**

I prodotti che si possono originare per effetto di queste reazioni sono: l’ettringite e la thaumasite, composti ben noti nella chimica del cemento Portland ma che, come vedremo, si possono formare anche nei materiali degli edifici storici che hanno preceduto l’avvento del cemento Portland.

Sia la formazione di ettringite che quella di thaumasite si presentano macroscopicamente attraverso un rigonfiamento del materiale originale che può arrivare, in particolare per la thaumasite, ad uno sfaldamento o addirittura ad uno spappolamento del materiale. Molto spesso i due composti sono presenti simultaneamente, anche se di solito la formazione dell’ettringite precede quella della thaumasite. Inoltre, entrambi i composti hanno la caratteristica di essere prodotti più rapidamente in ambienti freddi (0-10°C) che in quelli caldi.

La formazione di ettringite non è di per sé pericolosa, cioè non crea rigonfiamenti se non è accompagnata dalla presenza di calce: è stato dimostrato che se essa si forma in ambiente basico, per la presenza di calce, l’ettringite cristallizza sottoforma di fibre molto corte (lunghe, qualche  $\mu\text{m}$ ), capaci di adsorbire acqua e provocare rigonfiamenti; se, invece, l’ettringite si forma in assenza di calce le fibre si presentano ben accresciute (lunghe un centinaio di  $\mu\text{m}$ ) e non sono in grado di adsorbire acqua e provocare rigonfiamenti. Si definisce colloidale e cristallina l’ettringite rispettivamente capace e non di provocare rigonfiamenti.

Le formule chimiche di questi due composti evidenziano le forti somiglianze tra questi due prodotti che giustificano le analogie di comportamento nel meccanismo di degrado:



In sostanza nella thaumasite lo ione silicio ( $\text{Si}^{+4}$ ) occupa nel reticolo cristallino, il “posto” che nell’ettringite è occupato dallo ione alluminio ( $\text{Al}^{+3}$ ). A causa, però, della

diversa carica elettrica del silicio rispetto all'alluminio, nella thaumasite oltre allo ione solfato  $\text{SO}_4$  occorre lo ione carbonato  $\text{CO}_3^{=}$  per compensare le cariche elettiche nel reticolo cristallino.

La formula "grezza" dell'ettringite è:

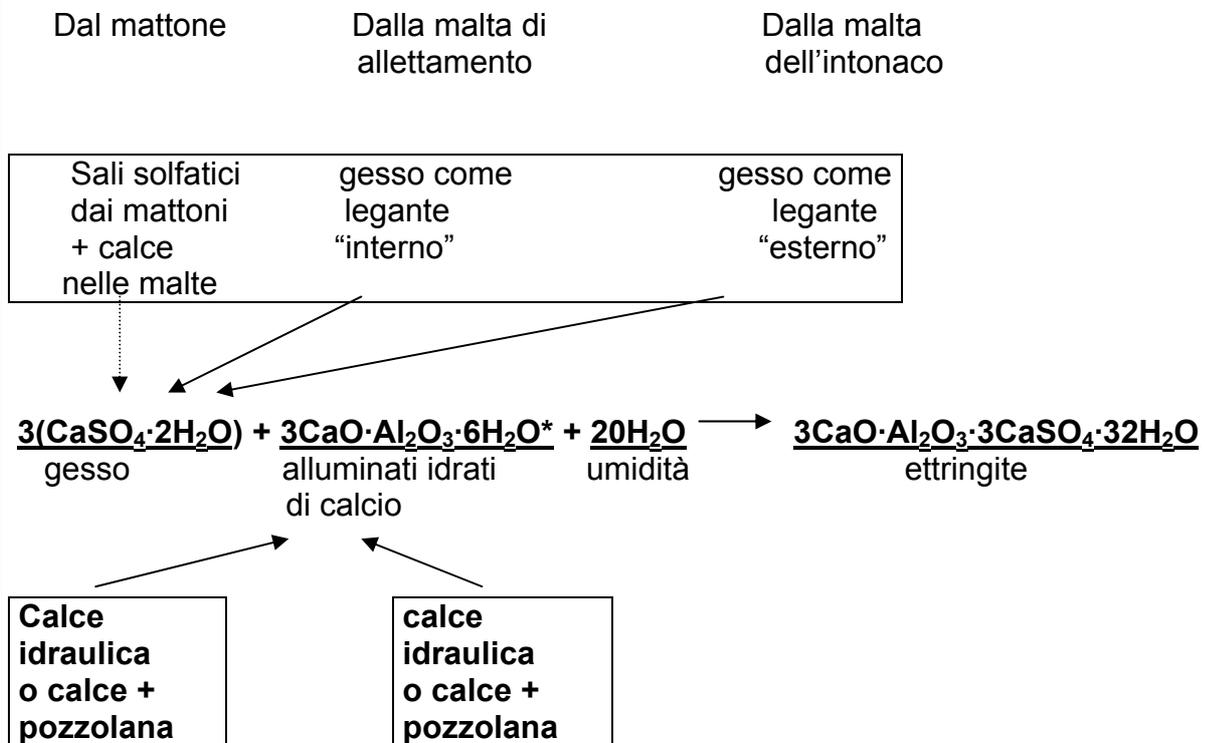


mentre la formula "grezza" della thaumasite è:



Nel caso dell'ettringite, sappiamo dalla formula [3] che essa si può formare per reazione del solfato di calcio, dell'acqua e degli alluminati di calcio idrati, quali quelli presenti nelle malte di cemento Portland o nelle malte di calce idraulica o nelle malte calce-pozzolana ( $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 13H_2O$ ,  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$ , ecc.).

Schema delle possibili interazioni tra gli elementi della muratura per la formazione di ettringite. La parte con la freccia tratteggiata riguarda solo le murature in mattoni contenenti sali solfatici.



Dalla malta di allettamento o dalla malta del calcestruzzo

Dalla malta dell'intonaco

\* l'alluminato idrato indicato può essere sostituito da altri alluminati di calcio idrato, quali, per esempio  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$



Come si vede, per quanto attiene alle murature degli edifici storici ed escludendo la presenza di malte di cemento Portland, la formazione di ettringite e/o thaumasite richiede la simultanea presenza di :

-solfato di calcio

-acqua

-malte di calce - pozzolana, malte di calce idraulica, (in quanto fonti di alluminati di calcio idrati)

Un commento a parte merita l'uso del cocchiopesto. Poiché esso è stato ottenuto per frantumazione di rottami di materiali ceramici (tegole, mattoni, biscotti per maioliche prima della smaltatura, ecc.) è possibile che esso contenesse dei solfati formatisi durante la cottura delle argille contenenti pirite ( $FeS_2$ ) come impurità. Se, pertanto, si è impiegata la calce come legante in combinazione con questo tipo di cocchiopesto inquinato da solfato, esistevano, fin dalla costruzione originaria, le condizioni potenziali per la formazione di ettringite e/o thaumasite.

## **10 INTERVENTI PER ELIMINARE O RIDURRE L'UMIDITA' DELLE MURATURE A SEGUITO DELLA RISALITA CAPILLARE<sup>30</sup>**

### *10.1 Introduzione*

Un attento sopralluogo dell'edificio interessato dalla presenza di umidità teso a rilevare i muri interessati dal fenomeno, il livello massimo di risalita e la sua eventuale costanza durante l'anno, le condizioni microclimatiche di insolazione e ventilazione, la percentuale di umidità in funzione dello spessore del paramento, risulta un'operazione indispensabile per stabilire le cause connesse con la presenza di umidità negli edifici; per stabilire, quindi, se essa è da ascrivere al fenomeno della risalita capillare, della condensa o delle infiltrazioni da pioggia. Un'attenta e corretta diagnosi dei fenomeni lamentati è indispensabile, cioè, per la definizione di un corretto intervento di manutenzione.

### **10.2 GLI INTERVENTI DI RISANAMENTO**

Per diminuire o eliminare gli inconvenienti connessi con la presenza di umidità di risalita dal terreno generalmente si interviene:

- a. Per aumentare l'evaporazione dell'acqua dalle murature verso l'ambiente esterno;
- b. Per ridurre o annullare il flusso di acqua che risale dal terreno;
- c. Per ridurre il quantitativo di acqua adescato dalle fondazioni.

Alcune tecniche di bonifica delle murature dall'umidità maggiormente utilizzate nella pratica sono: i sifoni Knapen, gli intonaci macroporosi, gli sbarramenti fisici alla risalita capillare, l'elettro-osmosi.

#### *10.2.1 I Sifoni Knapen.*

I sifoni Knapen sono elementi prefabbricati provvisti di un canale centrale realizzati con materiali (terracotta, plastica, etc.) e forme diverse (triangoli, circolari, pentagonali), che vengono collocati in fori realizzati nella muratura da risanare. I fori vengono realizzati ad una distanza dal piano di spiccato del muro di 15 cm e disposti su una linea orizzontale in misura di tre per ogni metro lineare di muratura da trattare. In presenza di murature particolarmente umide la disposizione dei fori può avvenire su due linee orizzontali parallele o nel caso di muri di grosso spessore si possono disporre a passo alternato su ambedue le facce del muro. All'interno del foro si dispone un letto di malta opportunamente inclinato verso l'esterno sul quale viene successivamente sistemato il sifone. Si procede inglobando quest'ultimo nella malta e sistemando la griglia di protezione in modo che crei un piano unico con il paramento esterno della muratura.

I sifoni di Knapen hanno l'obiettivo di aumentare lo smaltimento dell'acqua dalla muratura per evaporazione. Essi si basano sul principio che l'area esterna, più asciutta e quindi più leggera di quella che si trova nel sifone, sale all'interno del canale di aerazione del sifone spostando l'aria umida verso l'esterno. Purtroppo non sempre la tecnica dei sifoni Knapen ha sortito effetti benefici. Ad esempio è stato segnalato come il metodo non consenta di ottenere sufficienti risultati in mancanza di una buona ventilazione e in quei climi caratterizzati da UR dell'aria molto alte nel corso dell'anno.

#### *10.2.2 Gli Intonaci Macroporosi*

Un'ulteriore tecnica consiste nell'applicare un intonaco costituito da uno o più strati di malte macroporose in grado di facilitare, proprio grazie all'elevata porosità, l'evaporazione dell'umidità dal muro verso l'ambiente esterno. L'intonaco macroporoso, quindi, non elimina la risalita capillare di acqua, ma favorisce soltanto lo smaltimento dell'umidità, soprattutto nei periodi della stagione calda e secca. Inoltre la presenza di cavità disseminate nella matrice legante consente di allentare le tensioni dirompenti dovute alla formazione di ghiaccio, evitando esfoliazioni e distacchi superficiali della stabilitura.

L'impiego degli intonaci macroporosi, tuttavia, non può impedire l'ingresso dell'acqua piovana nella muratura. Il buon risultato si otterrà solo se tale tecnica viene usata in zone caratterizzate da un clima in cui le giornate asciutte e ventilate prevalgono su quelle umide e piovose.

La normativa tedesca DIN4108 considera idonei per la protezione delle murature umide intonaci e rivestimenti protettivi superficiali caratterizzati dalle seguenti prestazioni:

- Resistenza alla diffusione del vapore ( $S_d$ ) non superiore a 2 m equivalenti di aria;
- Assorbimento di acqua per capillarità (A) non superiore a  $0,5 \text{ Kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot 0,5)$ ;

Il prodotto della resistenza alla diffusione del vapore ( $S_d$ ) per l'assorbimento di acqua per capillarità (A) deve essere minore di 0,1.

#### *10.2.2.1 La Resistenza Alla Diffusione Del Vapore*

Per quanto attiene al primo requisito esso potrebbe essere conseguito realizzando un intonaco a calce di spessore pari a 2,5-3,0 cm caratterizzato da un valore di vapore ( $S_d$ ) solitamente variabile tra 0,2 e 0,4 m. Tuttavia essendo la calce un legante di tipo aereo, l'intonaco risulterebbe dilavabile dall'azione dell'acqua piovana. Quindi il conseguimento di una resistenza alla diffusione del vapore minore di 2m può essere realizzata con leganti non dilavabili dall'azione dell'acqua piovana (ad esempio calce idraulica), o con miscele di cemento e calce aerea (intonaci di malta bastarda) oppure con intonaci muniti di un sistema di microbolle opportunamente spaziate (100-200 $\mu\text{m}$ ) che consenta una facile trasmissione del vapore. Questo sistema ha il vantaggio di creare una serie di cavità nelle quali possono essere "ospitati" i sali presenti nel terreno o nei laterizi, e che vengono trasportati dall'acqua risalente sulla superficie della muratura.

Queste cavità, inoltre, possono attenuare le pressioni indotte dalla cristallizzazione dei suddetti sali evitando esfoliazioni e distacchi dell'intonaco.

#### *10.2.2.2 L'assorbimento D'Acqua Per Capillarità*

Per quanto attiene al secondo requisito - assorbimento d'acqua (A) non superiore a  $0,5 \text{ Kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot 0,5)$  - esso può essere conseguito applicando sull'intonaco poroso un trattamento superficiale idrofobo, capace di impedire l'assorbimento di acqua senza alterare però le proprietà di trasmissione del vapore ( $S_d \leq 2\text{m}$ ). Nella pratica la riduzione dell'assorbimento di acqua si consegue:

- Applicando sulla superficie dell'intonaco un trattamento liquido a base di alchil-alcossi silani che ha la peculiarità di modificare l'angolo di contatto tra acqua ed intonaco macroporoso non ostacolando la trasmissione del vapore.

### *10.2.3 Gli Sbarramenti Fisici Alla Risalita Capillare*

Hanno come obiettivo quello di interrompere il flusso di acqua risalente per capillarità dalle fondazioni. L'intervento è imposto dalla impossibilità pratica di intervenire direttamente sulle fondazioni per arrestare la risalita capillare di umidità. Se l'edificio sul quale occorre intervenire non possiede piani interrati allora sarà sufficiente realizzare nella muratura uno sbarramento orizzontale subito al di sotto al piano di calpestio. Nel caso, invece, esistano degli scantinati bisognerà accoppiare degli interventi di sbarramento verticale che impediscano l'ingresso dell'acqua dalle zone di muratura a diretto contatto con il terreno.

#### *10.2.3.1 Gli Sbarramenti Orizzontali*

Attualmente il taglio della muratura viene eseguita con seghe speciali. Generalmente il taglio con la sega è indicato per le murature costituite da blocchi disposti su filari orizzontali e nei quali il giunto di malta ha spessore superiore al centimetro. In questi casi il taglio viene eseguito esclusivamente nel giunto di malta.

Nelle murature in calcestruzzo realizzati con pietre dure si può ricorrere convenientemente al sistema del taglio a filo.

La realizzazione del taglio all'interno della massa muraria può anche avvenire realizzando, mediante una carotatrice, una serie di fori. Questo tipo di tecnica ha il vantaggio rispetto al taglio con sega di ridurre le vibrazioni indotte sull'edificio e di poter effettuare tagli anche su murature di spessore superiore ai 150cm, che rappresenta il limite massimo per il taglio con sega.

Indipendentemente dal tipo di sega o di carotatrice impiegato, dopo aver eseguito il taglio di un tratto di muratura si inserisce una lastra impermeabile. Infine nel taglio vengono inseriti e fissati mediante stucco dei tubicini attraverso i quali vengono iniettate malte cementizie a ritiro compensato, malte cementizie idrorepellenti, oppure malte epossidiche. Un intervento molto simile a quello descritto consiste nell'inserimento nella muratura da bonificare di lamiera di acciaio (1,5 mm circa) al cromo mediante un martello pneumatico.

I procedimenti di sbarramento orizzontali appena discussi sono in grado di realizzare un'efficace barriera nei confronti dell'umidità di risalita. Tuttavia il taglio risulta di difficile esecuzione nelle murature di pietra dura realizzate con blocchi non squadrate e non disposti su filari orizzontali paralleli. Inoltre, è opinione diffusa che la presenza del taglio passante nella muratura e l'inserimento di una lastra impermeabile possa risultare pericolosa negli edifici ubicati in zona sismica.

Pertanto, quando si devono bonificare dall'umidità edifici realizzati con pietre dure non squadrate, disposti su filari non paralleli e ubicate in zona sismica si interviene realizzando una serie di fori (diametro 5-30 mm) disposti lungo una linea orizzontale (o realizzati nei giunti di malta) all'interno dei quali vengono iniettate speciali resine o prodotti idrorepellenti. Le iniezioni hanno l'obiettivo di annullare la pressione capillare dell'acqua risalente dal terreno. Questo obiettivo lo si persegue ocludendo completamente i pori del materiale di cui è costituita la muratura. Questa tecnica si basa sull'uso di resine epossidiche o siliconiche

Indipendentemente dal prodotto impiegato, l'iniezione all'interno del muro può avvenire a pressione oppure per gravità. Nelle iniezioni a pressione generalmente i diametri dei fori sono di 5-10 mm e la pressione va regolata in base allo stato della muratura. Di solito si inizia iniettando alla pressione di 1 atm. per arrivare a pressioni di 3-4 atm. nella fase finale. Queste pressioni non debbono essere mantenute per più di 30-45 secondi al fine di evitare dissesti nella massa muraria. Nelle iniezioni per gravità il materiale viene iniettato a lenta diffusione attraverso delle cartucce, munite di ugelli, collegati al serbatoio che contiene il liquido.

#### *10.2.3.2 Gli Sbarramenti Verticali*

Quando nell'edificio sono presenti piani interrati per l'eliminazione completa dell'umidità degli ambienti occorre associare agli sbarramenti orizzontali gli sbarramenti verticali per bloccare l'ingresso dell'acqua nelle murature a diretto contatto con il terreno. Gli sbarramenti verticali possono essere realizzati con formulari epossidici, oppure con malte di cemento idrorepellenti o con prodotti cementizi bicomponenti additivati con lattici acrilici.

#### *10.2.4 L'elettro-Osmosi*

La tecnica dell'elettro-osmosi ha come obiettivo quello di annullare oppure di invertire il flusso dell'umidità di risalita e si basa sulla considerazione che fra una muratura

umida ed il terreno esiste sempre una differenza di potenziale elettrico(d.d.p.). A causa di questa d.d.p. (variabile da qualche decina di millivolts a qualche centinaio di millivolts) le molecole di acqua tendono a spostarsi nelle zone a potenziale positivo verso quello a potenziale negativo. Nel sistema muratura - terreno la struttura assume potenziale negativo rispetto al terreno; pertanto alla risalita dell'acqua per capillarità si associa un flusso ascendente di umidità di natura elettro-osmotica.

Sulla base delle considerazioni sopraesposte sono state messe a punto delle tecniche per sfruttare le d.d.p. naturali (elettro-osmosi passiva), o generate dall'impiego di corrente elettrica (elettro-osmosi attiva), per invertire il flusso dell'acqua dalla muratura verso il terreno: ciò può essere realizzato invertendo la polarità del muro da prosciugare che diventa positivo, e quella del terreno che diventa negativo.

Per i motivi sovracitati molto spesso si ricorre alla tecnica della elettro-osmosi attiva. Il sistema consiste nel creare un circuito elettrico, attraverso il quale si fa passare una corrente (solitamente d'intensità pari a 20-30mA) a basso voltaggio in modo da invertire la d.d.p. tra muratura e terreno e quindi anche la direzione dell'acqua.

Praticamente il circuito elettrico viene alimentato da un generatore di tensione corredato da un trasformatore e da un raddrizzatore che consente il mantenimento nell'impianto di una corrente continua trasformando quella alternata del generatore. Una costante sorveglianza e un'attenta lettura dei dati tesa a stabilire l'intensità di corrente che alimenta il circuito ci dice che valori di corrente inferiori a 10mA possono essere indice di un'elevata resistenza opposta dalla muratura al passaggio di corrente e quindi di un esiguo flusso di acqua non sufficiente a bonificare la muratura umida.

## **11 IL DEGRADO DELL'INTONACO<sup>31</sup>**

### *11.1 Introduzione*

Spesso, il deterioramento di un edificio inizia con il processo di degrado del rivestimento, e in pratica proprio quando, sotto l'azione dei fenomeni d'alterazione, viene a mancare la protezione necessaria assicurata fino a quel momento.

Sottoposto ad azioni di natura diversa, il rivestimento, e nel nostro caso l'intonaco, all'inizio si decoesiona per poi screpolarsi e fessurarsi, anche scollandosi dal supporto, e quindi crollare, fino alla progressiva spogliatura dell'intera struttura. Il tutto a causa dell'azione disgregatrice, libera di agire direttamente sulla muratura, che si espone, così,

ai possibili fenomeni di deterioramento senza poter opporre alcuna resistenza, facendo perdere all'intonaco la sua prerogativa funzione protettiva, nonché quella estetica.

Tuttavia, non sempre il cattivo funzionamento della superficie protettiva provoca l'alterazione dell'intera struttura.

Ci sono, infatti, altrettante possibilità che avvenga il contrario. In particolare quando, in determinate occasioni, sono, viceversa, le condizioni scadenti della struttura a generare il deterioramento del rivestimento.

In questo caso si innesca una serie di processi deteriori d'interscambio tra la struttura e la superficie protettiva, deprecabile per lo stato di conservazione di un qualsiasi corpo di fabbrica.

Individuare tali concatenazioni di fenomeni negativi, attraverso lo studio delle manifestazioni d'alterazione, le cause e gli effetti che questi possono sviluppare, può risultare determinante ai fini della messa a punto di una precisa metodologia applicativa e di una corretta interpretazione dei processi di manutenzione e di recupero.

Riguardo ai fenomeni d'alterazione degli intonaci si può notare che, per convenzionale attribuzione gli intonaci sono sempre stati considerati come superfici di sacrificio (sostituibili una volta deteriorati). Il degrado delle superfici di rivestimento non è mai stato oggetto, se non recentemente, d'approfondite ricerche riguardo e ai suoi fenomeni d'alterazione, e alla sua possibile manutenzione.

Non sempre però l'intonaco può essere identificato come una superficie di sacrificio. In molti casi la rimozione e il rifacimento dell'intonaco possono risultare sconveniente.

Per esempio, in caso d'affreschi, marmorini ecc. dove la qualità del manufatto e lo stato di degrado sono tali da richiedere necessariamente un intervento che, a seconda dei casi, non può che essere o di recupero o di conservazione.

Oppure dove l'entità del degrado consiglia, per motivi economici, un intervento parziale di consolidamento e restauro, limitatamente alle dimensioni del dissesto.

Questo capitolo, sul degrado di un intonaco, si indirizza quindi in questo senso, considerandone la fisionomia complessa che deve essere in questi casi approfondita nei suoi significati in relazione ad un possibile intervento di recupero.

## **11.2 I FENOMENI DEL DEGRADO**

Si possono presentare infinite possibilità di situazioni particolari, dove il fenomeno del degrado può manifestarsi anche attraverso eventi singolari di non facile definizione.

Spesso la difficoltà ad operare è collegata al fatto che il fenomeno del degrado non sempre è riconducibile ad un solo fattore, ma è dovuto più ad un complesso di concause che, interagendo insieme, creano le condizioni favorevoli ad un'alterazione.

Gli effetti del degrado possono manifestarsi in tempi relativamente diversi, e cioè a seconda della natura mutevole del processo di deterioramento.

Nella realtà, infatti, questo può manifestarsi sia dopo lunghissimi periodi, sia fin da subito, in pratica poco dopo la posa in opera e anche durante l'indurimento della malta.

In genere i fenomeni legati all'interazione dei rivestimenti murali si possono manifestare per ragioni inerenti alle caratteristiche fisiche dei materiali o per cause indotte dall'esterno.

Nel primo caso il degrado di un intonaco si può sviluppare a causa di diversi parametri collegati, quali:

- la cattiva qualità dei materiali utilizzati;
- la cattiva esecuzione dell'intonaco;

### **Classificazione dei vari tipi d'intonaci basata sulla natura dei leganti**

<b>Strato</b>	<b>Alla calce</b>	<b>Tradizionale</b>	<b>Tradizionale moderno</b>	<b>Moderno minerale</b>	<b>Moderno sintetico</b>
<b>Rinzaffo</b>	Calce idrata	Cem. Portland o calce idraulica	Cem. Portland	Cem. Portland e calce idraulica	Cem. Portland e calce idraulica
<b>Arriccio</b>	Calce idrata	Cem. Portland e calce idraulica	Cem. Portland e calce idraulica	Cem. Portland e calce idraulica	Cem. Portland e calce idraulica
<b>Finitura</b>	Calce idrata	Cem. Portland e calce idraulica	Polimero	Cem. Portland, calce idrata e idraulica	Polimero

### Sensibilità dei vari tipi d'intonaci alle diverse sollecitazioni:

Sollecitazioni	Intonaco alla calce	Intonaco tradizionale	Intonaco moderno minerale	Intonaco moderno polimerico
<b><i>Dovute al supporto:</i></b>				
<i>-meccaniche</i>			*	**
<i>-termiche</i>			*	*
<i>-igrometriche</i>			*	**
<i>-fisico-chimiche</i>	*	*	*	*
<b><i>Interne fra gli strati:</i></b>				
<i>-meccaniche</i>		**	*	**
<i>-termiche</i>		*		*
<i>-igrometriche</i>		*	*	*
<i>-fisico-chimiche</i>	*			*
<b><i>Esterne:</i></b>				
<i>-meccaniche</i>	*			
<i>-termiche</i>			*	*
<i>-igrometriche</i>	**	*	**	**
<i>-fisico-chimiche</i>	*			

Legenda: \* = sensibilità che può causare una perdita di qualità;

\*\* = forte sensibilità che può causare una distruzione rapida

- le cattive condizioni del supporto (o relativa non corretta interpretazione dello stesso);
- lo stato di conservazione dell'intero complesso murario;
- i possibili movimenti a causa d'eventuali assestamenti della struttura.

Nel secondo caso, invece, i parametri del degrado sono collegati:

- alla penetrazione dall'esterno d'acqua e umidità;
- alla diffusione all'interno della struttura dell'acqua e dell'umidità;
- alle particolari condizioni d'esposizione agli altri agenti atmosferici (vento, sole ecc).

La tabella precedente illustra la sensibilità dei vari tipi d'intonaco alle diverse sollecitazioni.

#### *11.2.1 Le Cause Fisiche Del Degrado*

#### *11.2.2 I Distacchi Del Rivestimento*

Un intonaco, com'è già stato spiegato, è costituito generalmente da diversi strati: esso risulta, perciò, un sistema complesso entro cui ogni strato assolve ad una funzione diversa.

Questi generalmente sono:

- lo strato d'aderenza;
- lo strato d'arriccio;
- lo strato di finitura.

E' evidente che una cattiva interpretazione di questo insieme, tramite una scarsa attenzione verso le procedure applicative, è capace di alterare le caratteristiche e le proprietà fisiche di ognuno di questi tre elementi, destinandoli a tempi molto brevi d'esistenza.

Gli effetti negativi di un'approssimazione sulle tecnologie di produzione e di cattiva qualità dei materiali utilizzati si verificano generalmente in termini d'aderenza tra i diversi strati dell'intonaco, e tra l'intonaco stesso e il sostegno

Tuttavia, la casistica ha dimostrato che raramente i distacchi avvengono tra strati dello stesso intonaco, dimostrandosi più frequenti quelli tra intonaco e supporto murario.

Tale fenomeno, spesso, è da addebitare, come abbiamo già detto, o alla cattiva esecuzione, oppure ad azioni indotte dall'esterno (umidità, acqua, vento ecc.) delle quali si parlerà più avanti.

Nel complesso, comunque, la rottura dell'intonaco e il relativo distacco devono essere il più delle volte considerati riguardo alla compatibilità tra i componenti dell'intero sistema (rivestimento, struttura ecc.). Quest'ultimo, infatti, è sottoposto ad una serie di sollecitazioni di natura molto differenziata, che possono creare fenomeni d'alterazione con effetti diversi, ma sempre di natura meccanica.

Si tratta sempre di processi che portano alla rottura con distacchi del materiale ancora generalmente coerente.

L'incompatibilità si può manifestare attraverso sollecitazioni che possono essere diverse, ma che, mal sopportate, evidenziano ed esaltano le possibili problematiche come

la diversa elasticità del supporto e degli strati del rivestimento, oltrechè i fenomeni differenziali di rilassamento della muratura e dell'intonaco.

Effetti che, in presenza di un'inadeguata ammorsatura del supporto, non capace di offrire una sufficiente resistenza, possono accentuare alle volte certi fenomeni di ritiro della base dell'intonaco o dello stesso supporto.

Per tali motivi il fenomeno del distacco potrebbe essere annunciato da un'accentuata screpolatura, riconoscibile dalla diffusione delle fessure sulla superficie dell'edificio.

### 11.2.3 Le Fessurazioni Dello Strato Superficiale

A volte certi effetti negativi, come le screpolature superficiali, che generalmente si manifestano soprattutto negli intonaci interni, anche se non rappresentano sempre un problema strutturale per l'intonaco, spesso pongono serie preoccupazioni dal punto di vista estetico, proprio perché, poi, non sempre è facile mascherarle completamente con semplici operazioni.

Tali screpolature sono, in questi casi, dovute alla fessurazione dello strato di finitura a causa dell'imprevisto ritiro dello strato sottostante. Il che è più frequente per gli intonaci con impasti a base di leganti cementizi che, per le loro caratteristiche meccaniche, durante l'indurimento sono capaci di produrre inaspettate sollecitazioni di ritiro. (figg. A, B, C)

Inconvenienti che possono capitare anche per altri tipi d'intonaco, in particolare quando la produzione e la posa in opera non sono state curate sufficientemente.

#### **FIG. A**

Intonaco "tradizionale" a base di leganti minerali.

#### **FIG. B**

Rotture e distacchi in relazione a cicli d'umidificazione-essiccamento e dilatazione-ritiro termici, causati da un intonaco "tradizionale" eccessivamente duro e aderente (dosaggio in cemento troppo elevato).

SUPPORTO-INTONACO - FIG. A

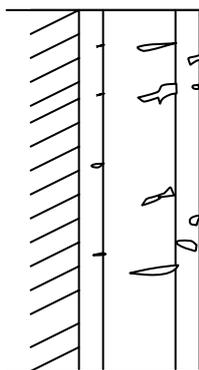
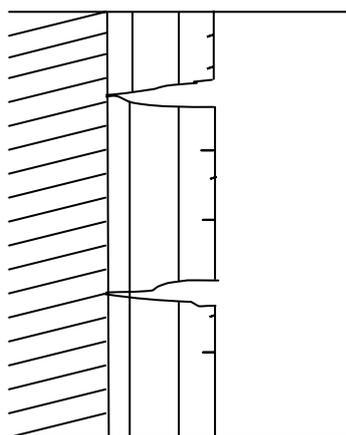


FIG. C

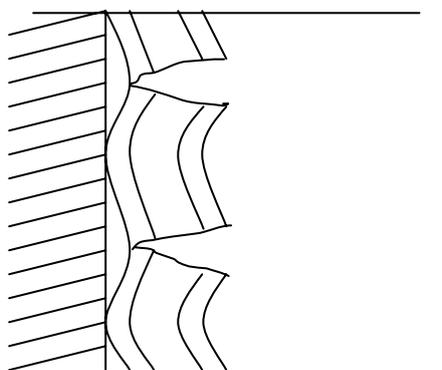
Degradazioni tipiche di un intonaco "tradizionale."

SUPPORTO-INTONACO (a)

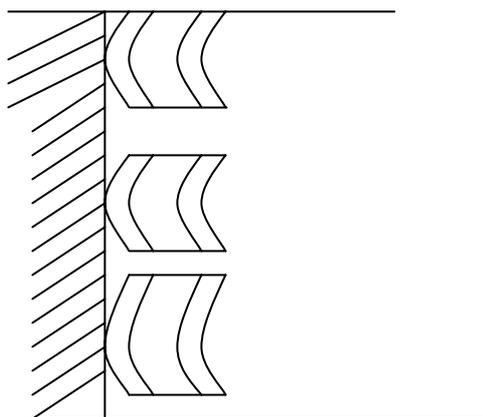


Legenda: a) evaporazione troppo rapida (o dosaggio in leganti "forti" troppo elevato); b) debole aderenza.

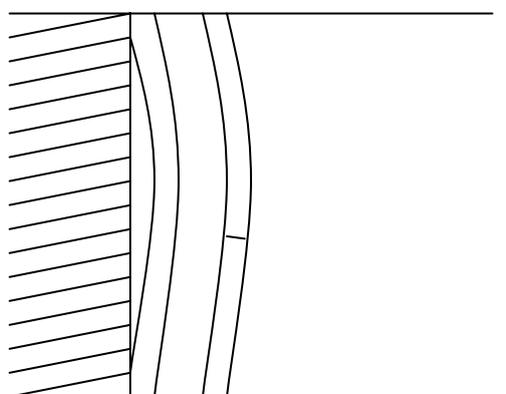
SUPPORTO-INTONACO (b)



SUPPORTO-INTONACO - FIG. B



SUPPORTO-INTONACO - FIG. B



In questi casi saranno consigliabili, oltre che un buon impasto ben proporzionato, l'impiego di una buona quantità di sabbia e un intervallo di tempo sufficiente fra l'applicazione delle varie mani, in modo poi da assicurare un corretto ritiro dei diversi strati.

Quando la causa ha terminato di agire, cioè il ritiro si è fermato, l'azione disgregatrice dello strato superficiale non ha più ragione di intervenire, per cui in seguito, dopo essersi accertati che tale azione sia conclusa del tutto, si potrà provvedere riparando la screpolatura della superficie attraverso un'accurata stuccatura, che poi potrà essere a sua volta ridipinta.

#### *11.2.4 I Calcinelli O Bottaccioli*

Il calcinello è un fenomeno fisico d'alterazione che si manifesta generalmente sulla superficie dell'intonaco.

Tale fenomeno inizia spesso con un leggero rigonfiamento sulla parete, in seguito si sviluppa una sottile fenditura di forma circolare, al cui interno il materiale si presenta decoesionato, si stacca dalla superficie e cade, lasciando al suo posto un buco.

Il problema della diffusione dei calcinelli sul rivestimento di una facciata è il classico esempio dei fenomeni di deterioramento di un intonaco dovuti alla cattiva qualità dei materiali usati.

Attualmente non è facile reperire sul mercato una buona calce spenta, o del grassello di calce che sia stato trattato correttamente.

La calce disponibile spesso non è spenta nei tempi necessari, per cui durante la carbonatazione si possono formare dei noduli di calce viva non spenta, che costituiscono un elemento di discontinuità del sistema in grado di produrre, appunto la calcinellazione dell'intonaco. Ci sono altre sostanze contenute nei materiali mescolati nella malta che possono produrre lo stesso effetto; per esempio, le particelle di carbone che si possono trovare nella sabbia d'impasto. E' probabile che si trovino sabbie contaminate da carbone nei casi in cui le cave di sabbia sono contigue a miniere di carbone, oppure nei casi in cui le sabbie provengano da litorali vicini ad un porto marittimo.

La natura della materia estranea che causa il calcinello può essere determinata esaminando il colore del materiale che resta in vista dopo il manifestarsi del fenomeno.

La presenza di noduli in un intonaco può avere anche un'altra origine. Ciò può avvenire attraverso una non corretta carbonatazione del legante utilizzato, il che si deve attribuire ad un'accurata procedura d'impasto, oppure all'utilizzo di qualità scadente di legante, o ad una cattiva macinazione dello stesso.

Può anche essere prodotto da determinate qualità di mattoni usati per la muratura, che presentano particelle di calce viva (trasformatesi durante la cottura del laterizio), che a contatto con un'eventuale condensa si possono spegnere, e spegnendosi si dilatano, producendo sulla superficie intonacata un piccolo cratere.

#### *11.2.5 Il Deterioramento Dell'intonaco A Causa D'azioni Esterne Dovute All'umidità*

L'umidità può essere presente nelle costruzioni per diverse cause; le più comuni sono:

-l'umidità proveniente dal terreno, attratta nella muratura per capillarità o da fenomeni di carattere elettro-osmotico;

-l'umidità di costruzione, presente fin dall'inizio nelle malte, nei conglomerati ecc., che ancora non è riuscita ad evaporare;

-l'umidità dell'atmosfera;

-la pioggia non sufficientemente raccolta, che penetra all'interno della muratura;

-l'umidità derivante da cause impreviste (rottura di condotti ecc.).

Una volta penetrata nella muratura l'umidità, nelle sue diverse forme, è in grado di innescare potenzialmente varie e diversificate manifestazioni d'alterazione della superficie muraria.

Questi fenomeni si realizzano attraverso:

-il congelamento dell'umidità e dell'acqua contenuta nelle murature;

-le reazioni chimiche e fisiche innescate dalle sostanze trasportate dall'umidità a contatto con quelle presenti nella muratura;

-le sollecitazioni fisiche prodotte dai movimenti dai movimenti dell'umidità all'interno della muratura;

-la produzione di formazioni di natura biologica attraverso la presenza dell'umidità che ne permette l'alimentazione.

#### *11.2.6 Il Gelo*

L'acqua e l'umidità, abbiamo visto, possono essere contenute nella muratura per diverse ragioni e, in condizioni particolari, per esempio alle basse temperature, sono in grado di innescare importanti azioni disgregatrici.

Infatti, se si arriva a temperature di congelamento, l'acqua ghiaccia all'interno del sistema capillare dell'intonaco, e per la nota legge fisica aumenta di volume e produce spinte deteriorando lo stato di conservazione del substrato.

### 11.2.7 Le Alterazioni Di Carattere Chimico – Fisico

Il potere deteriorante dell'umidità è reso possibile dal fatto che l'acqua crea le condizioni per cui si verifica un attacco chimico – fisico e biologico sull'intonaco.

Certe sostanze, che possono essere presenti sia nell'atmosfera sia nei materiali della muratura, sfruttano l'acqua e l'umidità come veicolo per penetrare e per diffondersi all'interno della struttura e dell'intonaco, reagendo e producendo determinati fenomeni d'alterazione.

L'azione disgregatrice è resa possibile da tale processo, e cioè dalla formazione d'alcuni sali quali:

- i solfati;
- i nitrati e i nitriti;
- i cloruri;
- i carbonati.

Sali che, solubili nell'acqua, danno luogo a fenomeni come le efflorescenze, le cristallizzazioni, la calcinazione ecc.

### 11.2.8 L'efflorescenza

Per un intonaco è da considerarsi particolarmente pericolosa l'azione di quei sali che, solubili nell'acqua, vengono trasportati sulla superficie attraverso l'evaporazione dell'acqua stessa penetrata precedentemente, dando luogo alle efflorescenze.

Le efflorescenze si presentano come macchie brunastre o amorfa di natura alcalina. Sono prodotte da solfati, carbonati, nitrati ecc. che possono essere contenuti nei materiali della costruzione o potrebbero anche essere trasportati dall'umidità di risalita del terreno.

Il processo si instaura con il contatto di questi sali con l'umidità che, in considerazione della struttura microporosa, si diffonde nell'intero sistema.

Spesso le efflorescenze si localizzano sulla superficie in zone asciutte, dove la facilitata evaporazione aiuta il formarsi di depositi cristallini.

L'umidità satura di sali viene attratta per capillarità verso la superficie di una parete asciugata dal sole o dal vento.

Su di essa si manifestano due fenomeni: il deposito per evaporazione dei cristalli salini sulla superficie e la relativa otturazione dei capillari. Si modifica così lo stato fisico di quel tratto di parete che forma una crosta superficiale di sbarramento e che impedisce alla successiva ondata d'umidità di evaporare nello stesso punto. Cosicché questa, obbligata a trovare nuovi sfoghi, sempre satura di sali, cristallizza e fuoriesce ai margini e al di sotto

della precedente crosta, spingendola dal di dentro fino a farla distaccare e a dare inizio all'azione disgregatrice.

L'efflorescenza è facilmente riconoscibile perché in fase iniziale, si presenta sotto forma di piccoli cristalli, somiglianti a delle piccole puntine, che a mano a mano bucano lo strato superficiale trapassandola dall'interno verso l'esterno.

Per impedire la formazione delle efflorescenze all'umidità, che circola per capillarità, di diffondersi indiscriminatamente, e questo operando attraverso trattamenti finalizzati.

#### *11.2.9 La Carbonatazione*

La formazione di veli biancastri detti "calcino" è spesso causata da un processo dovuto alla circolazione dell'umidità a doppio senso, cioè con un'entrata e un'uscita nello stesso punto.

L'anidride carbonica disciolta, trasportata dalla pioggia, a contatto con il carbonato di calcio delle malte degli intonaci si combina con questa e, una volta cessata l'infiltrazione dall'esterno, il processo essiccativo provoca un ritorno d'acqua verso la superficie, stavolta però satura di sali di calcio.

L'evaporazione dell'acqua con un eccesso d'anidride carbonica produce la formazione di carbonato di calcio.

Tale fenomeno tende poi ad assestarsi poiché, una volta formatosi, il velo superficiale genera uno sbarramento occludendo progressivamente i pori e non permettendo quindi all'acqua di penetrare e di innescare di nuovo il processo di calcinazione.

In questi casi la formazione di carbonato di calcio sulla superficie dipende esclusivamente dalla presenza dei sali nelle malte e dalla capacità di una facciata di permettere i movimenti d'acqua al suo interno, per cui in un intervento di recupero di una superficie, in presenza di "calcino", non si può prescindere da tali considerazioni.

#### *11.2.10 Le Sollecitazioni Fisiche Prodotte Dall'infiltrazione Dell'acqua*

Mentre in altri casi l'alterazione è provocata da fenomeni che, grazie alla presenza dell'acqua, si manifestano per azioni di natura chimica, biologica ecc., l'umidità e l'acqua, che possono penetrare o sono presenti nelle murature, sono spesso causa di sollecitazioni diverse. Queste sono:

-l'alveolizzazione, che si manifesta accentuando il sistema poroso del materiale con un processo che potremo definire d'erosione;

- la decoesione dell'intonaco con la conseguente diminuzione della sua adesività;
- l'esfoliazione, che si manifesta anche in seguito ad una continua azione decoesionante del materiale.

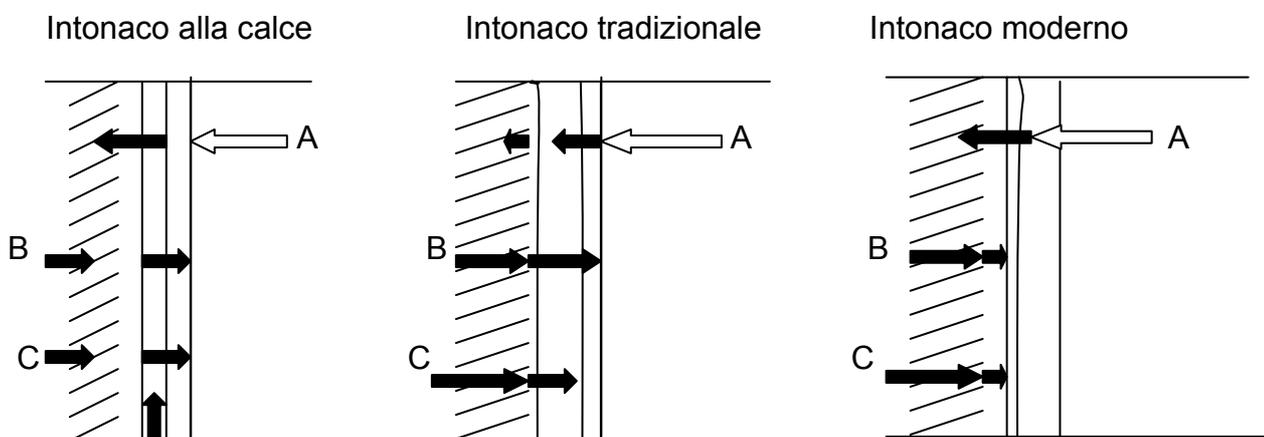
Tali effetti si manifestano per due motivi principali: a causa dell'impregnazione dei materiali e a causa del movimento dell'umidità all'interno dei materiali.

Quando un intonaco è impregnato d'acqua si dilata in funzione soprattutto al rapporto microporoso che lo costituisce, e la dilatazione provocata dall'assorbimento d'acqua si somma a quella indotta dalla temperatura esterna. In caso d'evaporazione, invece, quando l'acqua contenuta all'interno viene eliminata, l'intonaco si contrae.

Gli effetti di queste deformazioni fanno sì che, in presenza dell'acqua, in un intonaco si diffonda una serie di sollecitazioni fisiche capaci di manifestarsi attraverso le azioni suddette e innescare fenomeni di deterioramento. Abbiamo già sottolineato come, per la sopravvivenza di un rivestimento, la questione della compatibilità dell'intero sistema e in particolare quella dell'aderenza tra i diversi strati si dimostri in questi casi fondamentale.

L'acqua sotto forma d'umidità o di vapore acqueo, si può muovere all'interno del substrato, agendo sul sistema e avviando dei fenomeni d'erosione fisica del materiale. L'alterazione poi continua fino a pregiudicare le capacità adesive dell'intonaco, dimostrandosi estremamente pericolosa soprattutto in quei casi dove lo sfogo dell'umidità in uscita è ostruito (intonaci a base di prodotti sintetici, pellicole esterne impermeabili ecc.) e quindi il vapore, nel tentativo di trovare una via d'uscita, accentua la propria spinta prima rigonfiando e poi rompendo lo strato superficiale del rivestimento.

**FIG.D)** Il degrado dei principali tipi d'intonaco in rapporto alle diverse capacità di penetrazione e di restituzione dell'acqua



Legenda: movimento d'acqua e zone di rischio: A) penetrazione di acqua piovana; B) restituzione dell'acqua che ha attraversato il rivestimento; C) restituzione dell'acqua accumulata nel supporto e nell'intonaco.

#### 11.2.11 *Il Ruolo Delle Microalghe Nel Degrado Di Un Intonaco*

Un altro fenomeno di degrado per gli intonaci è rappresentato dall'azione di microrganismi autotrofi di natura biologica che si insediano in determinate condizioni, soprattutto in presenza di acqua, che rappresenta l'elemento fondamentale per il ciclo vitale della microflora.

Le cellule algali, nel proprio evolversi, interferiscono con i materiali dell'intonaco, contribuendo in termini di corrosione all'azione di alterazione iniziata con la presenza dell'acqua e dell'umidità

I microrganismi in questione (cianobatteri, microalghe verdi ecc.) necessitano per il metabolismo energetico esclusivamente di luce, acqua, sali minerali e di un'alcalinità del substrato corrispondente (circa pH = 7-8)

Lo sviluppo di tali batteriogeni sarà favorito in ambienti all'aperto con elevato tasso d'umidità e con l'esposizione al sole o a una fonte luminosa.

A seconda delle condizioni l'azione delle microalghe si può manifestare in maniera notevolmente differente. Nonostante tutto, è possibile individuare delle classi omogenee entro cui far risultare caratteristiche di riconoscimento comuni. Queste possono risultare come:

- strati gelatinosi di vario spessore (2-5mm) di colori intensi;
- quali verde, giallo, viola, rosso;
- patine aderenti di colore verde;
- pellicole pulverulente di colore grigio e nero;
- strati neri compatti;
- rivestimenti crostacei di colore grigio e nero;
- strutture lamellari sollevate.

Il danno che tali fenomeni recano agli intonaci è soprattutto di natura estetica, ma notevoli sono anche quelli in seguito all'indebolimento del substrato dovuto all'azione decoesionante delle microalghe e a quella corrosiva causata dai prodotti del metabolismo algale.

### 11.2.12 *Il Ruolo Della Vegetazione Nel Degrado Di Un Intonaco*

In un qualsiasi intonaco la porosità del substrato, l'umidità, il contenuto in calcari o in altri elementi minerali, l'apporto di sostanze organiche, l'esposizione e l'inclinazione ecc sono condizioni con le quali un qualsiasi organismo vegetale avrà la possibilità di instaurarsi e svilupparsi.

Lo sviluppo di tale organismo, all'interno del substrato, innescherà delle azioni di natura meccanica (dovute alle spinte durante la crescita dell'apparato vegetale), nonché chimiche, determinate dalla presenza di essudati radicali di tipo acido.

E' logico che l'entità del dissesto dipenderà soprattutto dalla diversa tipologia vegetale, in particolar modo riguardo alla struttura organica dell'apparato radicale.

Ci sono due possibilità di interventi per la manutenzione rispetto all'attacco vegetale: quello preventivo, che si preoccupa più di ridurre al minimo le condizioni per tale aggressione tramite un'accurata protezione nei confronti dell'umidità e della penetrazione dell'acqua, e il relativo corretto controllo di smaltimento.

L'altro tipo di intervento di natura straordinaria, a posteriori del degrado, si attua attraverso o l'asportazione meccanica o il trattamento con diserbanti chimici, o, tramite trattamenti combinati.

Facendo molta attenzione, perché l'asportazione meccanica può determinare una resistenza più o meno elevata. Mentre per l'uso di diserbanti bisogna assolutamente utilizzare prodotti specifici per il restauro, in quanto quelli normali non sono indicati per il loro effetto di alto inquinamento del terreno e delle acque.

## **12 LCUNI INTERVENTI PER ELIMINARE O RIDURRE I DEGRADI DEGLI INTONACI**

### **12.1 INFLUENZA DELLE FIBRE POLIMERICHE SULLA DURABILITA' DI INTONACI A BASE CALCE<sup>32</sup>**

#### *12.1.1 Introduzione*

Negli intonaci delle murature in pietra o mattone sono spesso impiegate malte a base di calce che, a seconda delle locali situazioni e tradizioni, possono essere costituite da calce idrata, calce-pozzolana, calce idraulica o anche calce e cemento (malta "bastarda").

Tutte le malte a base di calce sono soggette, ancor più di quelle cementizie, al grave inconveniente della fessurazione da ritiro plastico allorquando non sono

correttamente stagionate in ambiente umido. Infatti, in ambiente secco, a causa della rapida evaporazione dell'acqua dell'intonaco e del conseguente ritiro plastico, insorgono delle tensioni di trazione che molto facilmente superano la modestissima resistenza a trazione delle malte a base di calce provocandone una diffusa fessurazione in climi caldi, asciutti e ventilati.

Per eliminare il rischio di fessurazione da ritiro plastico negli intonaci da tempo è in uso l'impiego di fibre polimeriche per rinforzare le malte di quel tanto da renderle capaci di resistere alle suddette tensioni e di risultare pertanto prive di fessurazioni anche se applicate in climi caldi, asciutti e ventilati.

Val la pena di precisare che la formazione di fessure, oltre che da un punto di vista estetico, sono quanto mai indesiderabili anche da un punto di vista tecnico: infatti, l'acqua piovana che si infiltra attraverso le fessure comporta di per sé una diminuzione funzionale nella protezione della muratura da parte dell'intonaco; inoltre, nei climi invernali l'acqua penetrata attraverso le fessure diventa un veicolo di degradazione per la formazione di ghiaccio con conseguente azione dirompente del materiale per l'aumento di volume che accompagna la solidificazione dell'acqua.

#### *12.1.2 Materiali E Metodologie Di Prova*

Sono state confezionate ottanta lastre di dimensioni 60 x60x4 cm non armate impiegando le seguenti malte aventi rapporto inerte/legante pari ad 1 a 3 e consistenza plastica (spandimento alla tavola a scosse =90-100%):

Malta di calce aerea;

Malta di calce aerea (50%)e pozzolana 50%);

Malta"bastarda" di calce aerea (50%) e cemento 325 Portland (50%)

Malta di calce idraulica.

Le lastre realizzate sono state rinforzate con fibre poliacrilonitriliche Ricem della Montefibre (lunghezza=8mm; dosaggio=2Kg/m<sup>3</sup>).

Tutte le malte sono state confezionate aggiungendo all'impasto un'additivo aerante a base di resina Vinsol capace di inglobare un volume d'aria (circa 10%) sufficiente a rendere le malte resistenti ai cicli di gelo- disgelo.

#### *12.1.3 L'impiego Di Fibre Poliacrilonitriliche*

Le malte per gli intonaci delle murature in pietra o mattone possono essere prodotte con uno dei seguenti leganti:

calce aerea;  
calce –pozzolana;  
calce idraulica;  
calce –cemento;

Si registra un progressivo incremento delle proprietà meccaniche seguendo l'ordine crescente sopra riportato rimanendo tuttavia in un intervallo di caratteristiche elastico-meccaniche accettabili per le malte da intonaco per le murature in pietra o mattone.

L'impiego di fibre poliacrilonitriliche consente di produrre malte prive di fessurazioni da ritiro plastico, provocate dalle inadeguate stagionature correntemente adottate nei cantieri.

L'impiego congiunto di un agente aerante e fibre poliacrilonitriliche Ricem consente di produrre malte resistenti agli agenti atmosferici ed in particolare ai cicli di gelo-disgelo, purchè prima dell'esposizione alle intemperie le malte abbiano raggiunto una resistenza meccanica a compressione di almeno 2 Mpa.

Ciò è facilmente conseguibile con una stagionatura naturale di 28 giorni con le malte a base di calce idraulica o di calce- cemento (malta"bastarda"). Qualora si impieghino, invece, malte di calce aerea o di calce –pozzolana, questa resistenza meccanica viene conseguita dopo una stagionatura molto più prolungata. Pertanto non è consigliabile l'impiego di queste malte per intonaci esterni se si presume che l'esposizione al clima freddo avvenga quando le malte non saranno ancora sufficientemente indurite.

## **12.2 PRODOTTI E TECNICHE PER LA CONSERVAZIONE DELLE SUPERFICI LAPIDEE DELLE FACCIATE NEL CENTRO STORICO<sup>33</sup>**

### **12.2.1 Introduzione**

Le superfici costituite sia da materiali naturali quali le pietre, sia rivestite da sistemi artificiali quali gli intonaci, subiscono una differente azione di degrado da parte dell'ambiente esterno, soprattutto relativamente alla natura chimico fisica del sistema.

La maggior parte delle volte il degrado interessa sia la superficie sia sezioni più o meno profonde del materiale preso in esame.

In generale i materiali più porosi sono interessati da un degrado più profondo, quelli compatti da uno più superficiale, quelli eterogenei da uno molto differenziato, ecc.

Per poter agire con il più appropriato intervento conservativo, specifico per ogni problema di degrado, bisogna prima individuare e conoscere come quel degrado agisce partendo dalla superficie fino alle diverse profondità del materiale. Parametri significativi,

indicanti la funzione del degrado in un determinato campione, sono riferibili alla porosità integrale, ai sali solubili presenti ecc. Infatti, le variazioni di porosità sono dei buoni indicatori dell'effetto fisico del degrado sulla microstruttura del materiale, mentre le azioni di tipo chimico sono riscontrabili dalla presenza dei prodotti solubili.

### *12.2.2 Consolidamento*

Un trattamento di consolidamento delle superfici dovrà essere preceduto da un'adeguata pulitura, tale da rispettare il materiale originale. Sarà opportuno eliminare completamente la presenza d'eventuali funghi, alghe, licheni e qualsiasi altro tipo di macchia vegetale, con un idoneo disinfestante. Potrà essere necessario, dove maggiore è il degrado, tale che il particellato dei lapidei risulta essere instabile, intervenire con una provvisoria opera di preconsolidamento utilizzando un adeguato collante. La pulitura procederà con la rimozione di croste, macchie e l'estrazione d'eventuali efflorescenze saline mediante delicata spazzolatura ed assorbimento dei sali solubili tramite impacco di carta impastata con acqua deionizzata, spalmato allo spessore di uno o due centimetri sulla superficie lapidea interessata. Le polveri verranno rimosse, nebulizzando acqua potabile alla pressione normale d'acquedotto e spazzolando delicatamente.

La compatibilità tra materiale degradato, il prodotto da usare e la tecnologia da adottare è determinante per la scelta dell'intervento da farsi. Infatti, la compatibilità del prodotto scelto per il consolidamento non deve contrastare il naturale comportamento del materiale trattato, sia nei riguardi di variazioni di temperatura, umidità, traspirabilità ecc., sia qualora il prodotto consolidante stesso subisca dei processi di degrado.

Il tipo e la concentrazione del consolidante scelto è determinata dalla natura più o meno porosa del materiale da trattare. Attualmente sono utilizzati sistemi polimerici siliconici, acrilici, e recentemente uretanici, ma sempre più frequentemente sono proposti sistemi metallo-organici del silicio, come silicato di metile ed etile. Il silicato d'etile o estere dell'acido silicico è molto fluido con gran penetrabilità, durevole nel tempo, non occlude i pori dei materiali, resiste alle sollecitazioni meccaniche derivanti dalla cristallizzazione dei sali e dalla dilatazione termica, ma purtroppo come anche il silicato di metile è irreversibile. Questi silicati sono usati su sistemi molto porosi come arenarie, tufi, ed anche intonaci, i risultati al momento sono positivi; ma la formazione di silice quale sistema consolidante fornisce qualche perplessità per il comportamento nel tempo. Infatti, la silice che precipita amorfa e idratata può dare luogo a rigonfiamenti o contrazione a seconda dell'umidità e, in tempi lunghi, può cristallizzare generando tensioni interne. Una nuova classe di prodotti

che si sta affermando, appositamente studiati e messi a punto per il restauro è quello dei polimeri di natura fluorurata.

Le tecnologie adottate nel consolidamento sono piuttosto poche e i risultati limitati. L'azione deve progredire dall'interno verso l'esterno nella maniera più omogenea possibile. Perché ciò avvenga, il consolidante potrà essere iniettato mediante flebo munite di tubicini di plastica inseriti nelle cavità preesistenti nei lapidei o mediante impacchi esterni. Ma alla fine gli operatori generalmente usano sistemi semplici, pennellano a più riprese la superficie da consolidare, con il rischio che il consolidante si fermi a spessori ridotti e crei solamente una pellicola indurita, che l'esperienza ha mostrato cadere con grave danno del manufatto.

Le discontinuità tra i materiali, quali fratture, fessure ecc., sarà opportuno stuccarle utilizzando malte impastate con calce idraulica, per le parti profonde, ed aerea, per quelle superficiali, ed inerti della stessa qualità presente nel lapide interessato. Nei casi in cui l'utilizzo delle malte a calce risulti insufficiente per scarsa adesività, fornisce buoni risultati uno stucco fluido, composto da un elastomero fluorurato sciolto in acetone e impastato con inerte della stessa natura del materiale da ricostruire. Il solvente, volatilizzando, trasforma lo stucco in una massa semisolida, adesiva, elastica, e dello stesso colore del lapide.

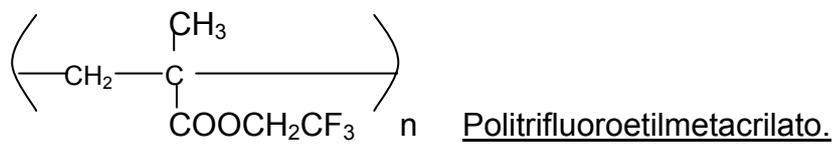
### 12.2.3 Protezione

La protezione rappresenta l'ultima fase di un'operazione di restauro, quindi il "protettivo" viene applicato a vista sulla superficie interessata. Le proprietà ottimali di un protettivo sono:

- inerzia chimica nei riguardi della superficie del manufatto;
- assenza di sottoprodotti dannosi anche a distanza di tempo dall'applicazione;
- buona stabilità chimica, in particolare rispetto ai composti inquinanti presenti nell'aria e all'ossigeno;
- buona stabilità all'azione delle radiazioni ultraviolette;
- buona permeabilità al vapore acqueo;
- bassa permeabilità all'acqua liquida (idrorepellenza)
- influenza minima sulle proprietà ottico-cromatiche della superficie sulla quale viene applicato;
- buona solubilità in solventi organici anche dopo invecchiamento, per consentire la rimozione nel corso di successivi interventi di manutenzione (reversibilità).

Tutti i protettivi presenti oggi sul mercato, quasi esclusivamente di natura polimerica, per svariati motivi, quali ad esempio l'insufficiente stabilità verso gli agenti atmosferici (esempio: "Poraloid B72" etilacrilato-metacrilato copolimero), o l'insoddisfacente stabile aggancio al substrato, (esempio "l'Akeogard PF" perfluoropolieteri), non possiedono i requisiti ideali per la conservazione di manufatti artistici.

Recentemente si stanno sperimentando promettenti prodotti chimici, "polimeri acrilici fluorurati in definite posizioni sia della catena principale sia nel gruppo metilico laterale", quali il politrifluoroetil metacrilato (PTFEM):





## NOTE I

<sup>1</sup> Bugini R., Folli L. – *Le rocce e il loro impiego in architettura* – 2003 “Lezioni di petrografia applicata”, dell’istituto per la conservazione e la valorizzazione dei beni culturali del C.N.R.

<sup>2</sup> Motta, - *Nel Mondo della Natura* – “Enciclopedie di Scienze Naturali” vol. X, Mineralogia-Geologia-Paleontologia, ed. Motta F. p.389

Cfr. nota <sup>1</sup>

<sup>3</sup> Montagnani C. – *Materiali per il restauro* – 2000 Unione Tipografico-Editrice Torinese U.T.E.T., pp.64-74

Alterio A. – *Chimica e Mineralogia* – 1963 Torino ed. Petrini, pp128-138

Motta, - *Nel Mondo della Natura* – “Enciclopedie di ScienzeNaturali” vol. X, Mineralogia-Geologia-Paleontologia, ed. Motta F. p.391

Antonucci R. – *Restauro e recupero degli edifici a struttura muraria* – 2001 ed. Maggioli, p.122

<sup>4</sup> Caneva G., Ricci S., Bellinzoni A.M., Distefano D. – “*L’annerimento*” dei muraglioni di lungotevere: inquinamento chimico o colonizzazione biologica? – marzo 2001 in “Biologi Italiani” U.S.P.I. Unione Stampa Periodica Italiana, pp.43-47

<sup>5</sup> Montagnani C. – *Materiali per il restauro* – 2000 Unione Tipografico-Editrice Torinese U.T.E.T., pp.73-74

<sup>6</sup> Cfr. nota <sup>1</sup>

<sup>7</sup> Cfr. nota <sup>1</sup>

<sup>8</sup> Cfr. nota <sup>1</sup>

<sup>9</sup> Cfr. nota <sup>1</sup>

<sup>10</sup> Cfr. nota <sup>1</sup>

<sup>11</sup> Cfr. nota <sup>1</sup>

<sup>12</sup> Cfr. nota <sup>1</sup>

- <sup>13</sup> **Cfr. nota <sup>1</sup>**  
**Bruno A. – *Materiali da costruzione speciali* – 1984 ed. Medicee, pp.6-7**
- <sup>14</sup> **Micocci F., Pulcini G. – *Gli intonaci* – 1993 ed. La Nuova Italia Scientifica, pp.13-14**
- <sup>15</sup> **Bruno A. – *Materiali da costruzione speciali* – 1984 ed. Medicee, pp.6-7**  
**Antonucci R. – *Restauro e recupero degli edifici a struttura muraria* – 2001 ed. Maggioli, p105**  
**Cfr. nota <sup>14</sup> p.21**
- <sup>16</sup> **Motta, - *Nel Mondo della Natura* – “Enciclopedie di Scienze Naturali” vol. X, Mineralogia-Geologia-Paleontologia, ed. Motta F. p.322**
- <sup>17</sup> **Quarneti G. – *Sulle calci, gli intonaci, e i tinteggi* - Lafarge Coatings Italia S.p.A. Divisione Cepro**  
**Cfr. nota <sup>16</sup> vol.IX p.199**
- <sup>18</sup> **Bruno A. – *Materiali da costruzione speciali* – 1984 ed. Medicee, pp.7-13**  
**La Bottega Del Restauro, zona industriale Le Badesse-V. A. Moro N°1 Monteriggioni, Siena – *I materiali per il restauro conservativo e la casa bio-compatibile* – pp.3-4**  
**Cfr. nota <sup>14</sup> pp.16-18**  
**Cfr. nota <sup>17</sup> pp.8-12**  
**Cfr. nota <sup>5</sup> p.180**
- <sup>19</sup> **Deriu L., Barbieri R. – *Alghero e dintorni itinerari tra storia e natura* – 1998 ed. Del Sole, pp.39-41**
- <sup>20</sup> **Cfr. nota <sup>17</sup> pp.12-13**
- <sup>21</sup> **Cfr. <sup>17</sup> p.13**  
**Bruno A. – *Materiali da costruzione speciali* – 1984 ed. Medicee, pp.14-15**
- <sup>22</sup> **Bruno A. – *Materiali da costruzione speciali* – 1984 ed. Medicee, pp.16-18**  
**Cfr. nota <sup>14</sup> p.19**  
**Cfr. nota <sup>17</sup> pp.14-21**

- <sup>23</sup> **Bruno A.** – *Materiali da costruzione speciali* – 1984 ed. Medicee, pp.19-21  
**Cfr. nota** <sup>17</sup> pp.21-22  
**Cfr. nota** <sup>14</sup> p.23
- <sup>24</sup> **Bruno A.** – *Materiali da costruzione speciali* – 1984 ed. Medicee, pp.27-38  
**Cfr. nota** <sup>14</sup> pp.20-21  
**Cfr. nota** <sup>16</sup> vol.IX pp.248-250  
**Cfr. nota** <sup>5</sup> pp.366-375
- <sup>25</sup> **Cfr. nota** <sup>5</sup> pp.375-380  
**Bruno A.** – *Materiali da costruzione speciali* – 1984 ed. Medicee, pp.50-57
- <sup>26</sup> **Cfr. nota** <sup>14</sup> p.18
- <sup>27</sup> **Cfr. nota** <sup>14</sup> pp.24-35
- <sup>28</sup> **Carlini A., Iuzzolino C E Lombardo V** – *Iglésia del Rosari, arqueologia de un monument* – n°77 lug/ago 2001 in “L’ALGUER”, periodico di cultura e informazione ed.Del Sol, pp.13-14 e 15-18  
**Frulio G. e Scalzo M** – *Gli interventi di restauro conservativo sulla calcarinite di Alghero 1964/93* – 27/30 giugno 2000 in “La prova del tempo: verifiche degli interventi per la conservazione del costruito”, atti del convegno di studi Bressanone a cura di Biscontin G. e Driussi G., ed. Arcadia Ricerche s.r.l., p.351-352
- <sup>29</sup> **Coppola L.** (ENCO s.r.l. Spresiano T.V.) e **Collepari M.** (Università di Ancona) – *Il ruolo dell’umidità nel degrado dei materiali nelle murature* – ENCO s.r.l., V.Lazzaris 7, Spresiano T.V.  
**Coppola L.** (ENCO s.r.l. Spresiano T.V.) – *Umidità nelle costruzioni: diagnosi e rimedi* – 4/1996 in “Presenza Tecnica”, pp.79-80  
**Collepari M.** (Università di Ancona) – *Il degrado chimico causato dal restauro delle murature degli edifici storici* – 11/1989 in “L’Edilizia e L’Industrializzazione”, pp.575-584
- <sup>30</sup> **Coppola L.** (ENCO s.r.l. Spresiano T.V.) – *Umidità nelle costruzioni: diagnosi e rimedi* – 4/1996 in “Presenza Tecnica”, pp.80-86
- <sup>31</sup> **Cfr. nota** <sup>14</sup> pp.85-99
- <sup>32</sup> **Collepari M.** (Università di Ancona) e **Coppola L.** (ENCO s.r.l. Spresiano T.V.) – *Influenza delle fibre polimeriche sulla durabilità di intonaci a base calce* – 8/1992 in “L’EDILIZIA”

<sup>33</sup> **Biscontin G.** – *Prodotti e tecniche per la conservazione delle superfici architettoniche* - novembre 1998 Sassari in “Restauro Architettura Centri Storici” a cura di Luciani R., tipogr. T.A.S.

**Botteghi C.** – *Nuove prospettive nei prodotti protettivi per manufatti artistici in materiali lapidei* – novembre 1998 Sassari in “Restauro Architettura Centri Storici” a cura di Luciani R., tipogr. T.A.S.

## **-TOMO II-**

### **IL COLORE**

#### **A II) Generalità Fisiche.**

Una sorgente luminosa quale quella solare, che l'occhio umano apprezza essere formata di "luce bianca", è in realtà formata da un raggio luminoso policromatico. Il fenomeno naturale più conosciuto che dimostra una tale affermazione è la scomposizione della luce solare, da parte di minutissime gocce d'acqua rimaste sospese nell'aria dopo la pioggia, formanti l'arcobaleno.

Si può ottenere lo stesso fenomeno della dispersione della luce bianca quando un raggio luminoso attraversa un prisma rifrangente che può essere di vetro, quarzo, salgemma, plexiglas etc. Per disporre di un prisma rifrangente liquido (alcol, acqua, glicerina, etc.), basta riempire una boccetta prismatica triangolare di vetro con le facce laterali formate da lastre. Se un fascio di luce bianca attraversa un prisma di vetro, emerge da questo un fascio divergente di radiazioni variamente deviate, le quali illuminano uno schermo che le raccoglie secondo una fascia più o meno ampia, formata da una serie di strisce affiancate: queste disposte secondo l'ordine crescente delle loro deviazioni vengono percepite dall'occhio umano come colori, rispettivamente, rosso, arancione, giallo, verde, azzurro, indaco e violetto, con gradazioni intermedie nel passaggio dall'uno all'altro.

Le radiazioni separate e messe in evidenza mediante il prisma e che si percepiscono secondo colori susseguentesi in medesimo ordine, indipendentemente dalla natura del prisma, costituiscono lo spettro della luce emessa dalla sorgente luminosa considerata. Lo spettro ottenuto dalla luce di una lampada ad incandescenza è simile a quello solare.

La luce bianca, quindi, si può dire composta da un numero grandissimo di radiazioni di colori diversi, emesse contemporaneamente dalla sorgente, radiazioni che si propagano tutte con la stessa velocità nel vuoto, e praticamente anche nell'aria, mentre si propagano con velocità lievemente differente in altri mezzi trasparenti come, ad esempio, nel vetro del prisma.

Concludendo la luce bianca è costituita da un'infinità di radiazioni monocromatiche, che nel campo del visibile varia in modo continuo dal rosso al violetto.

La dispersione è dovuta al fatto che il prisma ottico possiede un indice di rifrazione che varia con le varie radiazioni. La sovrapposizione delle varie radiazioni dello spettro ridà la luce bianca.

Un corpo visto per diffusione è del colore delle radiazioni che non assorbe, visto per trasparenza è del colore delle radiazioni da cui si lascia attraversare. In particolare, un corpo è bianco se non assorbe alcuna radiazione ma le riflette tutte (quindi l'occhio umano percepisce come colore bianco la sommatoria di tutte le radiazioni monocromatiche dello spettro riflesse); e nero se le assorbe tutte.

Un corpo è rosso per diffusione, se assorbe tutte le radiazioni tranne le rosse; è rosso per trasparenza, se si lascia attraversare solo dalle radiazioni rosse. In poche parole radiazioni luminose di varia frequenza, ricevute dall'occhio, danno origine a sensazioni diverse; ciò si esprime dicendo che l'occhio percepisce e distingue vari colori. La percezione di un determinato colore deriverebbe dunque da una sintesi di stimoli di varia intensità e qualità, senza che l'occhio possa distinguere i componenti, ossia fare l'analisi delle singole radiazioni.

Il colore che risulta dalla mescolanza di singoli pigmenti (per esempio combinando i comuni colori della pittura), dato che ciascun pigmento assume il colore derivante da assorbimenti selettivi di radiazioni che riceve, è da considerare causato da sintesi sottrattive. Per esempio, un pigmento giallo (che assorbe tutte le radiazioni tranne le gialle e le verdi), mescolato con un pigmento azzurro (che è tale perché assorbe tutte le radiazioni, tranne le azzurre e le verdi), dà come risultato un pigmento che appare verde, perché l'unica radiazione non assorbita è appunto la verde.

Il rosso, il verde e il blu sono definiti colori fondamentali, perché non sono ottenibili dalla miscela d'altre tinte o meglio dire dalla sovrapposizione d'altre radiazioni dello spettro della luce visibile. Dalla combinazione dei colori fondamentali derivano i cosiddetti colori secondari: giallo (rosso + verde), ciano (verde + blu), magenta (blu + rosso). Ogni altro colore può essere ottenuto mescolando in opportune quantità i colori fondamentali. Non a caso, visto che i tre colori stanno praticamente agli estremi e al centro dello spettro visibile.

Alcuni colori combinati costituiscono percezioni amodali, costruite dal cervello per interpolazione. Particolarmente evidente è il caso del porpora, che non corrisponde a nessuna radiazione del visibile. Il porpora non c'è, ma noi lo percepiamo ugualmente quando combiniamo rosso e violetto. In questo modo il cervello chiude gli estremi dello spettro lineare dei colori fisici, costruendo una ruota dei colori percettiva.

Un'ulteriore forma di amodalità della percezione cromatica è data dal fatto che, per la percezione dei colori composti, non è necessaria la sovrapposizione di colori fondamentali: basta la loro giustapposizione. Ciò che succede fisiologicamente è che il cervello combina le percezioni contrastanti prodotte dai colori giustapposti, ricevute da uno stesso ricettore a causa dei continui movimenti dell'occhio.

Questa tecnica è stata sviluppata artisticamente dai mosaicisti bizantini, dagli impressionisti e dai puntinisti, e oggi viene applicata negli schermi delle televisioni e dei computer.

Le caratteristiche cromatiche di un prodotto verniciante ne definiscono la tinta, mentre la diversa luminosità ne definisce il tono. Ogni tinta può assumere diverse gradazioni aggiungendo piccole quantità di un altro colore.

Si dicono tinte calde quelle in cui predominano i rossi, i gialli e gli aranci, e tinte fredde quelle a predominanza verde o blu. I grigi, ottenuti dalla mescolanza del bianco e del nero, possono essere tinte calde, fredde o neutre a seconda della quantità di nero impiegato.

## **B II) Il Colore Nella Società Umana**<sup>1</sup>

Sin dalla preistoria, l'uomo ha sentito la necessità di esprimersi attraverso il colore. Le civiltà succedutesi nella storia hanno elevato la pittura al rango di arte, attraverso la quale hanno tramandato ai posteri il loro mondo.

Solo in pochi casi si hanno raffigurazioni "in bianco e nero", il colore accompagna quasi tutte le attività umane, in tutte le epoche, diventando espressione rituale, religiosa, medicamentosa, magica, civile ed anche funeraria. Il nostro tempo è poi diventato l'espressione più "evoluta" del colore, utilizzandolo in qualsiasi situazione, dalla più futile ed effimera, a quelle strettamente legate alle attività umane essenziali. Tutto questo anche perché disponiamo di colori diversi rispetto al passato, i colori naturali sono quasi sempre sostituiti dai colori di sintesi, diversi per tonalità, saturazione e brillantezza.

Il colore costituisce la parte visibile di tutti i manufatti dell'uomo, inteso cioè come cortina finale trasparente o coprente, d'intensità forte o debole, pellicolante o sostanza che "assorbita", diventa parte integrante del supporto.

Il colore è il pigmento che colora la miscela colorante, mentre con il termine di "pittura" si deve intendere genericamente un liquido più o meno fluido che, disposto in sottili strati su una superficie, la ricopre con un velo colorato superficiale e profondo.

I pigmenti costituiscono un aspetto molto complesso della conoscenza delle diverse civiltà: infatti, ognuna di esse utilizzava un particolare tipo di colore e lo scambiava commercialmente fin dall'epoca più antiche, rendendo sempre più complesso il panorama dei vari materiali usati in diverse rese cromatiche. Per contro la nostra epoca si differenzia dalle precedenti per la rapidità con cui avvengono le mutazioni all'interno delle varie discipline, in funzione delle continue scoperte che cambiano i modi di rapportarsi all'uso di un determinato prodotto.

I nuovi prodotti presentano caratteristiche ritenute da parte dell'industria più convenienti, non richiedendo più particolari forme di bravura professionale, in quanto l'intero ciclo applicativo è semplificato in nome della globalizzazione. Se questo aspetto ha motivazioni e giustificazioni legate alla commercializzazione, alla probabilità e alla diminuzione dei tempi necessari per eseguire determinate operazioni, esso ha anche contribuito a far dimenticare completamente la conoscenza vera dei materiali primigeni e delle tecniche necessarie a produrli.

In generale i principali prodotti pittorici sono: le pitture, le vernici e le tinte.

### **III. LE PITTURE**

Rientrano nella categoria delle pitture quei prodotti per coloritura murale che danno luogo ad una pellicola coprente. Versata, essiccata e staccata da un foglio di plastica, dà luogo a un film dotato di apprezzabile resistenza alla trazione ed alla flessione.

Le pitture sono generalmente costituite da un pigmento, un veicolo o legante, un diluente ed un seccante. In alcuni casi viene unito un antiformentativo o un antimuffa.

Il pigmento è l'elemento destinato a colorare la miscela, ha potere sull'intero composto; il veicolo legante è l'elemento liquido che trasporta le particelle colorate e costituisce la pellicola pittorica; i diluenti hanno lo scopo di dare la consistenza voluta alla miscela per meglio stenderla e la caratteristica di evaporare velocemente; infine il seccante accelera l'essiccazione determinando spesso le caratteristiche della pellicola. Le pitture possono essere di tre tipi:

- pittura ad acqua
- pittura ad olio
- smalti

### **13 PITTURE AD ACQUA <sup>2</sup>**

Sono quelle in sospensione di sola acqua, quali pitture a calce, pitture a tempera o pitture a gesso.

Le pitture a calce, più propriamente tinte, si ottengono diluendo grassello di calce o calce spenta in acqua insieme ai pigmenti desiderati resistenti all'attacco basico della calce.

Le pitture a tempera sono composte come le pitture a calce dall'unione di diversi tipi di colla naturale o caseina.

Le pitture a gesso si ottengono miscelando acqua con gesso spento, pigmenti e colla animale. I pigmenti devono essere a carattere acido, in quanto il gesso ha reazione leggermente acida.

### **14 PITTURE AD OLIO <sup>2</sup>**

Sono pitture che hanno come elemento fondamentale l'olio di lino cotto, cui vengono aggiunti i pigmenti, i solventi, gli additivi, il diluente. Hanno tempi di essiccazione piuttosto lunghi variabili tra le otto alle dodici ore.

### **15 SMALTI <sup>2</sup>**

Prodotti di natura vetrosa composti da silicati alcalini: alluminio, piombo, quarzo, ossido di zinco, nitrato di potassio, minio, etc. utilizzati per eliminare la porosità superficiale della ceramica, per decorarla, ricoprirla con uno strato vetroso. Tutti quanti questi prodotti devono essere cotti al forno per esaltare le qualità pratiche o decorative.

### **16 VERNICI <sup>2</sup>**

Le vernici sono generalmente soluzioni di resine con oli, più o meno seccanti e adeguati pigmenti, estese su un determinato materiale depositano sullo stesso una pellicola trasparente, lucida od opaca. Altri ingredienti delle vernici sono gli essiccanti che accelerano o rallentano la funzione dell'olio, che già da sé svolge una funzione essiccante. Tra gli ingredienti propri delle vernici, ma anche delle pitture e degli smalti troviamo i plastificanti e gli indurenti. I primi hanno il compito di conferire maggiore elasticità alle resine che compongono la miscela impedendo eventuali screpolature dovute a variazione di volume del materiale che vanno a ricoprire, i secondi sono catalizzatori che accelerano l'indurimento della vernice e sono in genere aggiunti al momento dell'uso.

## 17 TINTE A CALCE <sup>2</sup>

L'uso della calce quale legante pittorico è antichissimo. Il suo utilizzo nonostante un calo produttivo fra gli anni sessanta ed ottanta non è mai stato del tutto abbandonato, sebbene sia stata alta la pressione industriale per eliminare tale prodotto a vantaggio di altri preparati più remunerativi. Oggi dopo l'esaltazione di svariati prodotti industriali, che dovevano risolvere i problemi della durata nel tempo delle facciate impedendone qualsiasi forma di degrado, si è constatata la mancanza di tali aspettative da parte di questi materiali, per cui la calce sta tornando sia pure in sordina, nei cantieri del recupero. I modi di eseguire coloriture a calce per usi esterni erano sostanzialmente due: a fresco ed a secco, utilizzando pigmenti adatti, quali gli ossidi di ferro, le terre, dall'ocra gialla alla rossa, alle terre verdi al nero del carbone vegetale e nero animale etc.

### 17.1 *La Tecnica Di Tinteggiatura A Fresco* <sup>2</sup>

La tecnica di tinteggiatura a fresco, come indica la stessa parola, è la tecnica di applicazione nella quale il pigmento è fissato dalla carbonatazione dell'idrato di calcio contenuto nell'intonaco. I pigmenti, macinati con sola acqua e talvolta con l'aggiunta di calce, venivano estesi in due strati incrociati di tinta sulla superficie dell'intonaco fresco, ma già in tiro, per evitare la mescolanza meccanica delle particelle d'intonaco con il pigmento, sapendo che il tempo di presa e di indurimento era sufficientemente lungo da permettere di lavorare per tutta una giornata e talvolta più. Durante il processo di carbonatazione dell'intonaco, la soluzione acquosa di idrato di calcio in esso contenuta, migra verso la superficie dove l'acqua evapora, reagisce con l'anidride carbonica dell'aria formando carbonato di calcio; questo ingloba i pigmenti in una matrice cristallina che li fissa, trasformandosi con l'intonaco in una massa calcarea omogenea.

### 17.2 *La Tecnica Di Tinteggiatura A Secco* <sup>2</sup>

La tecnica di tinteggiatura a secco si esegue invece, stendendo il colore su di un intonaco già asciutto o volutamente fatto asciugare. In questo caso i pigmenti sono macinati in un liquido con proprietà leganti che essiccando cementa fra di loro i grani di pigmento formando lo strato di colore. Il colore applicato su un intonaco secco si suppone che fosse quasi sempre di manutenzione ed il legante usato, non potendo competere per resistenza con l'affresco, era scelto in base alle sue qualità di resistenza nel tempo. Le tinteggiature erano eseguite a calce, ma non risultando queste molto resistenti, vi si aggiungeva, per renderle più durature, un fissativo di origine organica quali latte, caseina di latte, colle animali o vegetali, tuorlo o bianco d'uovo etc.

### *17.3 Tecnica Del Falso Fresco<sup>2</sup>*

Un'altra tecnica d'intervento su intonaco volutamente fatto asciugare era quella del falso fresco, ovvero strofinando la muratura con pietra pomice per aprirne i pori ed applicare poi la tinta a calce previa abbondante applicazione di acqua di calce.

Nella preparazione e stesura del colore a base di calce occorre tener presente il cosiddetto effetto tempera. La miscela applicata seccando schiarisce, per cui bisogna considerare questo aspetto durante la preparazione della tinta. Seccando la tinta aumenta il potere coprente di cui occorre altresì tener conto, in funzione dell'effetto che si intende ottenere.

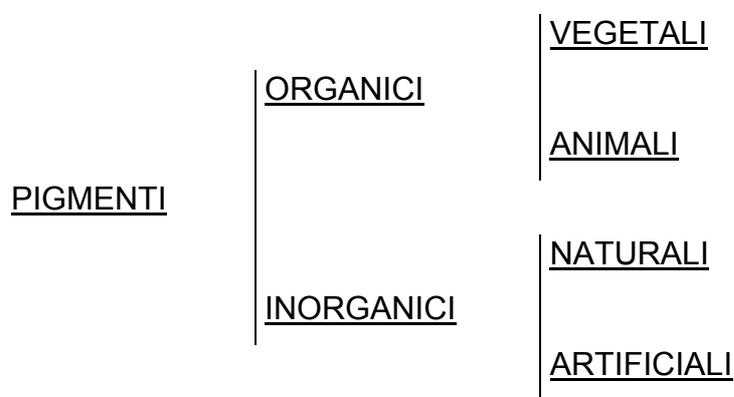
### *17.4 Trattamento Delle Superfici Da Tinteggiare A Calce<sup>2</sup>*

Si possono tinteggiare a calce sicuramente tutti gli intonaci a base calce di nuova esecuzione oppure superfici già trattate precedentemente con tinte a calce. Nel caso di tinteggiature a calce preesistenti monocrome è sufficiente una buona spazzolatura della superficie esistente per eliminare lo sfarinamento eventuale delle scialbature (distacco di piccoli pezzi di pittura per scarsa adesività) precedenti, accompagnata da una pulizia generale da insudiciature, polveri etc.; quindi si procede con l'imbibizione di tutta la superficie da trattare con acqua di calce, su cui applicare una volta bagnata la tinta a calce. L'acqua di calce favorisce la penetrazione all'interno del supporto aumentando modestamente la possibilità di carbonatazione che avviene finché la superficie è bagnata. Le difficoltà si presentano quando la superficie è stata trattata in passato con prodotti pellicolanti. La calce non aderisce su queste pellicole, quindi si deve procedere alla loro eliminazione mediante pulizia con spatola, seguita dalla pulitura a spazzola, a secco, o con getto d'aria compressa. La dove sono presenti peculiarità artistiche bisogna utilizzare accorgimenti particolari quale raschiatura parziale o totale di pitture con microscalpelli, raschietti, vibroincisori, bisturi, spatole. Ne deriva di conseguenza la necessità di differenziare e valutare volta per volta i metodi di pulitura a seconda delle diverse problematiche. Ne consegue che ogni azione di conservazione e / o recupero di un manufatto la pulitura deve essere preceduta da una ricerca storico - bibliografica della fabbrica e da indagini preliminari atte a conoscere la stratigrafia dei depositi e della superficie su cui si va ad operare. Questa operazione si esegue normalmente attraverso saggi che consentono di conoscere i materiali sui quali si deve intervenire per decidere di conseguenza quale soluzione adottare.

Oggi rari sono i casi in cui la policromia originale è ancora presente; essa è stata, infatti, periodicamente rinnovata nell'ordinaria opera di manutenzione che, raramente, ha saputo ripetere il tono giusto, ma, il più delle volte lo ha alterato o, nel migliore dei casi, ripetuto in tono più scuro per imitare il colore originale già invecchiato cosicché le superfici si sono progressivamente scurite condizionando quindi l'occhio ad un tono del tutto falso.

### **17.5 I PIGMENTI NELLE TINTE A CALCE<sup>3</sup>**

I pigmenti sono polveri non solubili nel legante che, finemente mescolate ad esso, conferiscono colore alla pittura. I pigmenti si possono dividere e classificare in diverse maniere, di cui due sono irrinunciabili:



I pigmenti organici hanno struttura chimica molto complessa e forniscono prodotti con alto potere colorante e di ottima resistenza; gli inorganici, molti dei quali noti da secoli sono ricavati dalla lavorazione per lo più di ossidi ma anche di sali, dei metalli di transizione.

Buone pitture a calce si ottengono da grasselli lasciati invecchiare in fosse dai sei mesi ad un anno, poi setacciati e micronizzati. Una parte di uno di questi grasselli diluita con tre parti di acqua semplice o meglio ancora con acqua di calce ci dà il latte di calce, successivamente colorato con pigmenti naturali del regno minerale, vegetale o animale.

I pigmenti naturali minerali sono anche chiamati comunemente "terre". Le terre in natura si trovano in giacimenti sottoforma di sali, ossidi, solfuri, etc. Dopo l'estrazione, i minerali vengono macerati, essiccati, macinati grossolanamente e setacciati per eliminarne le impurità, poi rimacinati fino a completa polverizzazione, si ripetono quindi ulteriori lavaggi per l'estrazione dei sali solubili. Il prodotto così ottenuto viene fatto sedimentare in fosse con acqua, prelevato, essiccato e ventilato per ottenere una polvere finissima. I pigmenti così ottenuti sono stabili e assolutamente naturali, più coprenti e non si scompongono se miscelati tra loro.

Altri pigmenti molto accesi denominati “lacche” si ottengono dalla calcinazione di terre od ossidi naturali, fatti poi precipitare su particelle di carbonato di calcio impalpabile. Questo trattamento trasforma il minerale base, altrimenti inutilizzabile, in pigmenti. Con terre naturali e lacche si possono pigmentare oltre che il latte e l’acqua di calce anche impregnanti naturali del legno, oli, resine naturali etc. Tradizionali colori pastello si ottengono mescolando terre e lacche naturali, in proporzione che varia dal 3 al 5 per cento del peso o volume del latte o acqua di calce. Colori forti si ottengono, invece, dal 5 al 10 per cento del peso o volume del latte o acqua di calce; sopra questa percentuale, che rappresenta il punto di tinta satura, non è possibile avere colori più intensi. Qualora, volessimo avere tinte più intense dovremo lavorare in velatura, cioè pigmentare non il latte di calce ma l’acqua di calce delle fosse d’invecchiamento o in mancanza di questa un prodotto simile ottenuto disperdendo una parte di finissimo grassello di calce in 7-10 parti di acqua. Velare significa stendere uno strato di colore molto diluito sopra una pittura asciutta, di modo che il colore sottostante traspaia ottenendo così una nuova tonalità di tinta data dalla sovrapposizione delle due tinte senza mescolare direttamente i colori.

Caratteristica naturale delle pitture o velature a calce sono, infatti, le sfumature e le diversità di tono dei colori dovute al differente assorbimento delle sottostanti superfici a calce.

Nei colori forti, dove la percentuale di terre o lacche è più alta, diminuisce il potere legante della pittura sul sottofondo a calce; l’operatore userà allora le tradizionali antiche tecniche di fissaggio del colore come l’uso di colle animali, caseina, uovo, latte magro etc.

Un’ulteriore tecnica applicativa delle pitture a calce sono gli scialbi, i quali consistono nell’applicare a pennello su pareti in mattoni, tufo, pietra, un impasto fluido di grassello di calce, acqua di calce e carbonato di calcio impalpabile. Il prodotto, così applicato, sarà la superficie sacrificale e protettiva della stessa muratura, consentendo di ottenere delle cromie e contemporaneamente di intravedere la tipologia della muratura sottostante.

### ***17.5.1 I Pigmenti Base Tradizionalmente Usati Nella Tinteggiatura A Calce***<sup>3</sup>

#### ***Bianco***

Il bianco, detto anche “bianco di San Giovanni”, si ottiene da una prolungata macerazione del grassello di calce, poi essiccato al sole e successivamente finemente macinato;

Altri bianchi sono ottenuti da una finissima macinazione con acqua di un candido marmo di Carrara, le polveri sono successivamente ventilate e mescolate con calce per dare più corpo.

### **Nero**

Il nero denominato “terra Roma” è un carbonato-ferro manganese;

Il nero avorio (carbonio 10%, fosfato di calcio 84%, carbonato di calcio 6%) è ottenuto dalla carbonizzazione dell’avorio, oggi in realtà è prodotto con le ossa animali, ha un buon potere coprente;

Il nero di vite (carbone puro con piccole quantità di sali di K e di Na) è un nero molto stabile che si ricava dalla carbonizzazione di argilla e tralci di vite, oggi anche da altri legni tra cui quercia e rovere, ha un tono freddo;

Il nero fumo (99% carbone elementare più carbonio amorfo più ossigeno, idrogeno, zolfo ed impurità) è il prodotto dei residui della combustione degli idrocarburi, molto stabile, finissimo, con un alto potere coprente.

### **Ocra**

Ocra gialla (ossido di ferro, principalmente la limonite) è una terra naturale a base di argilla e silice, le tonalità di giallo sono date dalla quantità di ossido di ferro, si trova in diverse gradazioni: giallo, dorato, avena, è un colore solubilissimo, resistente e con buon potere coprente;

La terra di Siena naturale è a base di silicati argillosi con un colore simile al giallo ocra ma più intenso (ossido di ferro 60%, idrato con biossido di manganese 1%), cavata dal Monte Amiata in provincia di Siena e in passato anche in Sardegna.

### **Bruni**

La terra d’ombra naturale (ossido silicato doppio ferro 40%, ossido di manganese 15%) è una terra dal colore bruno verdastro proveniente dal Monte Amiata e dalla Sardegna, utilissima nelle velature, meglio usarla pura per evitare che scurisca i colori con cui è mescolata.

La terra d’ombra bruciata (ossido silicato doppio ferro 40%, ossido di manganese 15%) è una terra più corposa di quella naturale, con maggior potere coprente, ottenuta per arrostitimento della terra d’ombra naturale, da usare con parsimonia nelle mescolanze, meglio a velatura;

La terra di Kassel, dall'omonima zona di provenienza in Germania, (ossidi di ferro 1%, sostanze organiche 80%, ligniti e torba) è una terra che mescolata con il bianco produce dei grigi molto caldi.

### ***Marrone bruciato***

La terra di Siena bruciata (ossido di ferro, silicati argillosi e impurità), è un marrone bruciato dal tono molto caldo.

### ***Rossi***

Le terre, denominate secondo la loro provenienza, rosso Pompeiano, Ercolano, Veneto, Sardegna, Sinopia, ecc., (ossido ferrico) sono terre di colore variabile dal rosso cupo al violaceo e saturo secondo l'idratazione;

Il rosso Pozzuoli (ossido di ferro) è di origine vulcanica e di colore rosso brillante;

Il rosso Inglese (ossidi ferrici) è ottenuto da calcare ferroso;

Per calcinazione delle terre gialle (cottura in forni a circa 300°C) possiamo ottenere del rosso vivo.

### ***Verde***

La terra verde, estratta da argille marine provenienti da Brentonico, sul Monte Balbo nel veronese, (silicati ferrosi e ferrici di potassio, manganese e alluminio più ossidi di Fe, Mg, Al, K) è un colore utilissimo, verde trasparente, a volte tendente più al grigio, ampiamente utilizzato nella pittura del quattrocento.

### ***Azzurro***

Il blu oltremare (silicato di alluminio e solfuro di sodio) è l'attuale sostituto del lapislazzuli, oggi introvabile, molto stabile.

## **18 SISTEMI DI COLORITURA MODERNI MEDIANTE PRODOTTI PITTORICI A BASE CALCE, SILICATI E SILOSSANICI.**

Per maggiore comodità d'esposizione pur ripetendoci per quanto già esposto riguardo alle tinte a calce, in questo argomento vengono trattati i sistemi pittorici a base calce, silicati e silossanici.

### **18.1 PRESCRIZIONI DI CARATTERE GENERALE SULLA PREPARAZIONE DEI SUPPORTI<sup>4</sup>**

I supporti devono essere preparati in modo tale da consentire una continua aderenza ed un uniforme grado di copertura dei sistemi di coloritura.

Nelle prescrizioni di carattere generale sulla preparazione dei supporti si possono distinguere due principali tipologie di intervento: a) supporti di nuova esecuzione, b) restauro di vecchi supporti.

#### *18.1.1 Supporti Di Nuova Esecuzione*

Nel caso di intonaci di nuova esecuzione, ove si preveda la stesura di sistemi di coloritura su superficie secca (es. sistemi di coloritura ai silicati, silossanici ), si dovrà attendere un congruo periodo di tempo necessario ad un'adeguata stagionatura degli intonaci (di consueto un giorno di stagionatura per ogni millimetro di spessore applicato).

Nel caso di sistemi di coloritura a base calce con tecnica "a fresco", la tecnica esecutiva umido su umido deve prestare particolare attenzione ai tempi di stagionatura del ciclo di intonacatura, allo spessore applicato dello strato preparatorio a base di grassello di calce, alle condizioni termoigrometriche durante l'applicazione. Ciò al fine di evitare reticoli fessurativi in superficie o sull'ultimo sottile strato preparativo a base di grassello di calce.

#### *18.1.2 Restauro Dei Vecchi Supporti*

- Le superfici del supporto dovranno essere pulite e prive di biodeteriogeni (alghe, licheni, micro e macroflora), incrostazioni, di parti parzialmente distaccate, decoese, polverulente.
- L'assorbimento del supporto dovrà essere il più possibile uniforme ed omogeneo.
- Per un perfetto aggrappo delle pitture a calce e a silicati (consentendole di sviluppare i loro processi di mineralizzazione con il supporto "carbonatazione e silicalizzazione") particolare cura dovrà essere prestata all'eliminazione dei sistemi di coloritura compromessi o di protezione resinosi, idrorepellenti o a basso assorbimento d'acqua (come per esempio: intonaci plastici, pitture al quarzo, vernici, smalti, trattamenti protettivi siliconici ecc.)
- Nei cicli di pulitura dei supporti si raccomandano sistemi delicati, come per esempio lavaggi con acqua a bassa pressione, microsabbature con sistemi di confinamento e recupero delle polveri, spazzolature con spazzole di saggina dura, aspirazione della polverosità, ed in generale tutti quei cicli che non causano abrasioni e sollecitazioni meccaniche sul supporto da conservare.
- Nel caso di rifacimento parziale dell'intero ciclo o di parti del ciclo di intonacatura si raccomanda la riproposizione di materiali e soluzioni applicative che riproducano il più

possibile le caratteristiche dei supporti originari (granulometria e petrografia dell'inerte, qualità del legante e rapporto legante/inerte).

## **18.2 I SISTEMI DI COLORITURA: CARATTERISTICHE, REQUISITI E COMPATIBILITÀ CON I DIVERSI SUPPORTI<sup>5</sup>**

I sistemi di coloritura proposti devono possedere una buona resistenza agli agenti atmosferici, garantire una valida protezione dell'intonaco, rispettare la peculiarità estetica del manufatto prestandosi a specifiche esigenze cromatiche.

La proposta del sistema di coloritura deve in ogni caso necessariamente prendere in considerazione la natura del supporto su cui sarà applicato. Possiamo allo scopo distinguere due principali tipologie di supporto ed a loro associare i sistemi di coloritura accettati.

### *18.2.1 Scelta Dei Sistemi Di Coloritura E Natura Dei Supporti*

#### *a) Supporti tradizionali a base calce e /o calce idraulica e /o calce con "additivazioni idrauliche" (cocciopesto, pozzolana):*

- I. pittura a calce con pigmenti naturali.
- II. pitture ai silicati di potassio con cariche e pigmento minerale.
- III. pitture silossaniche in dispersione acquosa con cariche e pigmenti minerali.

#### *b) Supporti a base di calce e cemento o, in generale su supporto a bassa porosità.*

- I. pitture ai silicati di potassio e resine acriliche in emulsione acquosa con cariche e pigmenti minerali.
- II. pitture silossaniche in dispersione acquosa con cariche e pigmenti naturali.

### *18.2.2 Caratteristiche Fisiche Dei Sistemi Di Coloritura*

Per garantire caratteristiche di durata alle aggressioni atmosferiche e compatibilità con il supporto murario, i sistemi di coloritura devono possedere le seguenti caratteristiche fisiche:

- bassa permeabilità all'acqua in forma liquida per garantire una protezione della muratura dall'azione dell'acqua piovana e ridurre la deposizione e penetrazione di sali solubili veicolati dall'acqua;

- alta permeabilità al vapore acqueo per consentire la traspirazione della muratura e l'eliminazione dell'acqua penetrata o presente al suo interno;
- buona e duratura aderenza al supporto;
- elevata resistenza al biodeterioramento (alghe, muffe, microflora ecc); questo parametro riesce ad essere raggiunto in maniera naturale dai sistemi a base calce o a base silicati di potassio in considerazione dell'elevata alcalinità dei leganti; deve essere raggiunto con additivazioni specifiche dai sistemi a base silossaniche.

In particolare per i primi due parametri si segnalano i seguenti valori:

- Assorbimento d'acqua (w) secondo DIN 52617: (24h)  $<0,5 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$
- Traspirabilità al vapore acqueo secondo DIN 52615: (Sd = valore di resistenza al passaggio di vapore acqueo)  $<1,5\text{m}$ .

### **18.3 CONDIZIONI TERMOIGROMETRICHE AMBIENTALI E DEL SUPPORTO ALL'ATTO DELL'APPLICAZIONE<sup>6</sup>**

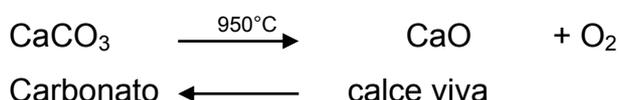
Nella stesura dei sistemi di coloritura, dovranno essere controllate le condizioni termoigrometriche ambientali e del supporto evitando le stesure nelle seguenti condizioni:

- In giornate con temperature inferiori a 5°C, o in cui si preveda l'abbassarsi delle temperature a questi valori prima dell'essiccazione completa della tinta;
- In giornate piovose o con umidità relativa superiore all'80%;
- In giornate estive torride particolarmente ventilate e su superfici esposte all'irraggiamento solare;
- Su supporti costantemente umidi;
- In condizioni termoigrometriche ambientali o su supporti specificati come non idonei dal produttore del sistema di coloritura.

### **18.4 SISTEMA DI COLORITURA TINTA A CALCE<sup>7</sup>**

I prodotti cosiddetti "a calce" contengono come sostanza legante l'idrossido di calcio.

Per ottenerlo si parte cuocendo ad una temperatura di 950°C circa un calcare puro (carbonato di calcio) estratto specialmente da cave, da cui si ottiene una sostanza molto caustica detta "calce viva"



di calcio

Successivamente la calce viva viene combinata con l'acqua, la fase è detta "spegnimento", da cui si ottiene idrossido di calcio:



Se l'acqua di spegnimento è in proporzione stechiometrica con l'ossido di calcio viene detto "calce idrata in polvere", se invece è in eccesso viene detto "grassello di calce".

I prodotti a calce sono idonei per applicazioni su intonaci minerali (a calce, bastardi, o a base cemento).

L'elevata diffusività dei prodotti a base di calce aerea (permettono facilmente il passaggio d'acqua liquida e vapore) li rende molto sensibili alle differenze d'assorbimento del supporto.

Su intonaci rappezzati o sfarinanti o su intonaci premiscelati, la realizzazione diretta di un ciclo di pitturazione a base di prodotti a calce aerea comporta l'ottenimento di una finitura disuniforme, in cui si riconoscono le varie tipologie e disuguaglianze del supporto. Tali differenze saranno tanto più evidenti quanto più scura è la tinta del prodotto calce aerea.

E' chiaro che il problema delle differenze cromatiche non esiste quando si applicano rivestimenti a spessore a base di calce aerea.

#### 18.4.1 Le Tinte

Le tinte a calce che si usavano erano composte di:

- calce idrata in polvere successivamente bagnata con acqua, oppure grassello di calce successivamente diluito;
- terre coloranti in precedenza bagnate;
- eventuali cariche (bianco meudon);
- additivi vari per migliorare le caratteristiche di applicabilità e resistenza agli agenti atmosferici, ad esempio:
  - *Latte scremato, o formaggio fresco o caseina*: ingredienti che permettevano la formazione di caseinato di calcio, insolubile in acqua, che migliorava notevolmente la resistenza al dilavamento o allo sfregamento;

- *Olio di lino, o noce, o ricino*: con questi oli si ottenevano maggiori prestazioni nello scorrimento e nello stesso tempo diminuiva la fragilità del sottile strato di tinta;
- *Conservanti, tipo la formaldeide*: per mantenere a lungo la tinta preparata, senza incorrere in degrading biologici del latte e derivati.

Per quanto riguarda il ciclo di applicazione, normalmente veniva steso uno strato di fondo bianco a base di calce aerea sull'intonaco, che doveva servire come imprimitura, ma anche come base bianca per le successive mani di tinta colorata semicoprente.

In seguito veniva applicata la tinta al latte di calce, la quale, a causa dei pigmenti disponibili allora, era semitrasparente perciò doveva essere applicata in più mani con pennellate ben distese e incrociate, in modo che la copertura finale fosse accettabile.

Le moderne pitture a calce aerea sono leggermente modificate rispetto alle vecchie formulazioni che abbiamo descritto.

E' evidente che una pittura a calce aerea così composta è più resistente, più adesiva ed anche più coprente. Infatti, sono sufficienti due mani per coprire il supporto e non è più necessario applicare il fondo bianco come avveniva con le vecchie tinte a calce.

A causa della scarsa forza legante della calce, non è possibile introdurre in una pittura a calce una percentuale molto alta di pigmenti. La percentuale può essere aumentata quando la pittura a calce contiene anche resine leganti in dispersione.

Per quanto detto, e comportandosi anche il carbonato di calcio come un pigmento bianco (sebbene pochissimo coprente) è evidente che nelle pitture a calce si possono ottenere solo tinte a pastello in toni chiari, compatibilmente anche con i pigmenti che si possono usare perché resistenti all'alcalinità della calce.

Le pitture a calce (ma anche altri prodotti a base calce) sono dilavabili dalla pioggia per qualche giorno dopo l'applicazione. Infatti, in questo lasso di tempo è appena agli inizi la reazione di carbonatazione che dà origine al carbonato di calcio, che ha proprietà adesive ed è poco solubile in acqua.

La calce aerea grazie al processo di carbonatazione, fa sì che successivamente interventi, eseguiti a distanza di tempo, anche con lo stesso materiale impiegato originariamente, tendano a riconoscersi per il diverso grado di carbonatazione dei due materiali. L'ultima ripresa appare più chiara che quella precedente e tale differenza tende a ridursi solo con il passare del tempo.

La natura minerale di tutti i prodotti a base di calce aerea li rende particolarmente diffusivi di acqua liquida e vapore acqueo, in grado quindi di consentire la fuoriuscita

dell'umidità eventualmente presente nella muratura. Alla presenza di supporti umidi, le pitture a calce aerea diventano quindi più scure in corrispondenza dell'uscita dell'acqua e questo fatto non deve essere considerato un difetto.

La diffusività dei prodotti a calce aerea comunque è in relazione al tipo di prodotto: un marmorino compattato superficialmente è certamente meno diffusivo di un intonachino o di una pittura a calce.

Le pitture a calce aerea sono soggette a sfarinare leggermente e costantemente nel tempo fino anche a consumarsi a distanza di anni. Lo sfarinamento tuttavia permette di mantenere a lungo inalterato l'aspetto e la bellezza originali della tinta.

Le pitture a calce aerea normalmente presentano un alto valore di assorbimento d'acqua ( $w$ ) e un basso valore di resistenza al passaggio del vapore acqueo ( $S_d$ ).

#### *18.4.2 Tonachini*

Tonachini sono rivestimenti a spessore a base calce aerea che devono essere intesi come ultimo strato di finitura dell'intonaco vero e proprio, i quali, oltre ad assolvere ad una funzione protettiva, rivestono anche il fondamentale compito di rappresentare l'intonaco dal punto di vista estetico.

I tonachini della tradizione, oltre alla calce aerea contengono anche polveri e grani di marmo; alcuni, possono contenere inerti di diversa tipologia, altri invece si differenziano solo per la granulometria degli inerti, da ciò la possibilità di ottenere finiture più o meno spesse, ma anche la possibilità di eseguire lo strato di tonachino in due riprese, di cui la prima contenente inerti più grossolani.

Il tonachino normalmente è colorato mediante pigmenti resistenti alla calce e può essere lasciato a vista mostrando quelle tipiche alonature dei prodotti a base di grassello di calce.

### **18.5 SISTEMA DI COLORITURA PITTURE AI SILICATI DI POTASSIO<sup>8</sup>**

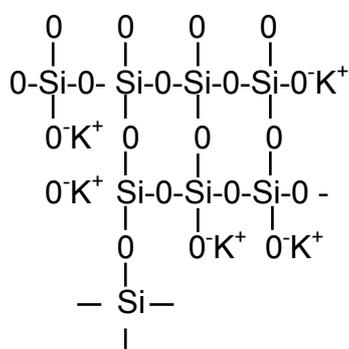
Ognuno di noi conosce un economico ed assai diffuso materiale suscettibile di molteplici impieghi: il "vetro". Per produrlo industrialmente occorre mescolare tre composti del mondo minerale: la sabbia (silice), la potassa, o in alternativa la soda, e la calce. Una volta mescolati è necessario riscaldarli in un forno idoneo fino a completa fusione (circa 1.400°C).

Durante questo processo termico i tre composti reagiscono chimicamente fra loro trasformandosi in silicato di potassio di calcio o di sodio fusi in un'unica massa: il "vetro".

Ci possiamo domandare, a questo punto, quale collegamento ci sia tra il vetro e la silice da un lato, e il mondo dei prodotti verniciati dall'altro. Ebbene, sono mondi vicini e strettamente collegati. Vediamo perché, facendo anche un po' di storia.

Nei secoli passati molti chimici si cimentarono nel tentativo di ottenere il vetro, o almeno qualche cosa che gli somigliasse, senza l'impiego di altissime temperature. Qualsiasi percorso intrapreso non poteva prescindere, comunque, dall'utilizzo di: silicio, potassio o sodio, ossigeno. Ricordiamo in proposito Von Helmont (1600), Glauber(1600) e Fuchs che, infine, agli inizi dell'800 riuscì ad ottenere un prodotto che possedeva la composizione chimica del vetro, ma che, a temperatura ambiente, si presentava come un liquido sciropposo. Tale prodotto non solidificava all'aria, era sensibile all'umidità e quando finalmente induriva, si mostrava opaco e friabile.

Ad esso, lontano dal vetro così come tutt'oggi è inteso, fu comunque attribuito il nome merceologico di "vetro liquido" o "vetro solubile" o "acqua di vetro". Questo "vetro liquido" fu impiegato intensamente dopo la metà del 1800, per rendere resistenti al fuoco gli oggetti che con esso venivano impregnati, per incollare vetro, pietre e porcellane. Un altro impiego importantissimo di tale materiale fu nell'impasto dei coloranti minerali (terre, ossidi, sali inorganici).



Polisilicato di Potassio

L'impasto colorato così ottenuto era sorprendente: spalmato a bassi spessori si trasformava in rivestimento duro, coeso, resistente all'abrasione, alla luce e all'acqua. Inoltre era in grado di ancorarsi irreversibilmente su intonaci, pietre e su svariati materiali da costruzione a base di leganti idraulici. Sono nate così le pitture ai silicati di potassio in soluzione acquosa, pigmenti inorganici e inerti selezionati. Esse hanno un'adesione di tipo chimico, penetrano profondamente nelle porosità dell'intonaco e reagiscono con i suoi componenti chimici formando un insieme unico. Questa reazione è chiamata: silicatizzazione. Le pitture ai silicati hanno una buona permeabilità al vapor acqueo in

modo tale che l'umidità contenuta all'interno dell'edificio non trova ostacoli per l'uscita verso l'ambiente esterno.

### **18.6 SISTEMA DI COLORITURA PITTURE SILOSSANICHE<sup>9</sup>**

Attualmente si sta affacciando sul mercato un moderno tipo di pitture siliconiche conosciute anche come silossaniche.

Questo fatto genera confusione. A questo proposito è bene cercare di portare un po' di chiarezza sull'argomento.

Le resine silossaniche hanno permesso lo sviluppo di uno tra i più avanzati sistemi di pitturazione per facciate.

Il successo delle pitture silossaniche dipende soprattutto dalla felice combinazione delle principali proprietà offerte dalla parte minerale e da quella sintetica contenuta nella pittura.

Queste proprietà si possono riassumere in un'alta permeabilità al vapore acqueo, basso assorbimento di acqua e di conseguenza una lunga durata. Tutte queste proprietà derivano, in definitiva, dalle importanti caratteristiche della resina siliconica utilizzata.

Definizione di pittura silossanica:

La norma tedesca DIN 18363 specifica i componenti di una pittura silossanica che sono: la resina silossanica, la dispersione polimerica, i pigmenti, le cariche e gli additivi.

La pittura è definita idrorepellente, una definizione normalmente accettata può essere così descritta:

- 1) Un'idropittura silossanica contiene, come legante, principalmente resine silossaniche.
- 2) Filler, ausiliari, pigmenti devono essere sperimentati e conosciuti come utilizzabili in pitture in emulsione e pitture minerali per esterno.
- 3) La quantità totale di legante deve essere tale da garantire le proprietà della pittura, come idrorepellenza, permeabilità al vapore acqueo e l'aspetto estetico.

Una pittura silossanica è considerata tale se ha un'alta permeabilità al vapore acqueo ( $S_d < 0.14 \text{ m}$  -dove "Sd" è il valore di resistenza al passaggio del vapore di H<sub>2</sub>O-) e una bassa permeabilità all'acqua ( $w$  inferiore a 0,1 Kg/m<sup>2</sup>/h<sup>1/2</sup> -dove "w" è il valore d'assorbimento di H<sub>2</sub>O-).

Come si può notare non viene definita la quantità minima di resina silossanica da utilizzare, quindi anche pitture con piccole quantità di resina silossanica possono essere chiamate pitture silossaniche pur non garantendo le performance desiderate.



contenuto di parte minerale (-Si-O-Si-) sono più simili alle pitture minerali per eccellenza (calce, silicati) dalle quali comunque si differenziano per un minor assorbimento di acqua.

Alla fine di questa breve descrizione delle caratteristiche salienti di una pittura silossanica si può affermare che la resina silossanica è il componente più importante.

Infatti, è la resina silossanica che determina l'alta permeabilità al vapore acqueo, la bassa permeabilità all'acqua e l'apparenza minerale (-Si-O-Si-). La quantità di resina utilizzata e l'impiego di resine a basso contenuto inorganico possono quindi giustificare anche delle significative differenze di costo.

## **IV. IL DEGRADO DELLE TINTEGGIATURE**

### *V. Introduzione*

La protezione delle superfici esterne finite ed ad intonaco è una delle operazioni più ricorrenti nella manutenzione del patrimonio immobiliare. Infatti, la "pelle" dell'edificio è sottoposta ad un degrado accelerato rispetto al corpo dello stesso.

Gli intonaci rappresentano lo strato di sacrificio per antonomasia a difesa del supporto murario. Esso, normalmente, è applicato in tre strati: rinzaffo, arriccio e finitura. Il primo strato di malta serve per regolare la superficie muraria, il secondo è di spessore modesto, il terzo è un basso strato dato a finitura.

Diverse qualità di superfici sulle quali si applicano le tinteggiature sono:

- Intonaci a base calce
- Intonaci a base di leganti idraulici
- Intonaci a base gesso
- Intonaci speciali
  - √ *Impermeabilizzanti*
  - √ *Deumidificanti*
  - √ *Termoisolanti*
  - √ *Ignifughi*
  - √ *Fonoassorbenti*

Gli antichi intonaci, pur essendo qualitativamente perfetti non sono riusciti a sopravvivere all'usura del tempo, per questo si devono demolire, rappezzare o ricostruire ricorrendo a materiali dalle qualità tecniche cromatiche molto diverse.

Ma mentre le caratteristiche tecniche originarie sono ottenibili con costi elevatissimi, quelle cromatiche, nei limiti imposti dalla metodica del restauro possono essere riproposte con corrette opere di coloritura.

Al fine di conservare il più possibile inalterato il bene edilizio, le opere di manutenzione non si dovrebbero limitare soltanto alla riparazione degli impianti, alla ristrutturazione degli interni e al risanamento delle parti degradate, ma estendersi con uguale cura ed attenzione anche alla ricoloritura delle superfici esterne, la quale non ha valore esclusivamente estetico e cromatico, ma svolge funzioni protettive contro il degrado dell'intonaco.

Lo strato di pittura, infatti, svolge un'azione di difesa "passiva" assai simile a quella della nostra pelle. Per ottenere un buon livello di protezione la scelta del prodotto pittorico da utilizzare non deve essere una pura questione estetica (scelta del colore), poiché le pareti ed i soffitti sono delle barriere artificiali fra l'interno dell'edificio (microclima) e l'esterno (macroclima), perciò interagiscono tra i due ambienti accumulando e cedendo umidità, gas, sale etc. ed inoltre sono sottoposti a sollecitazioni interne.

## **19 LE CAUSE DI DEGRADO DOVUTE ALL'AZIONE DELL'ACQUA E AD ALTRI FATTORI<sup>10</sup>**

I materiali da costruzione impiegati in edilizia sono alquanto differenti e in condizioni di sollecitazioni identiche danno comportamenti diversi. Il 90% dei dissesti che interessano le facciate sono provocati dalla presenza di un eccesso d'acqua, dovute alle infiltrazioni attraverso discontinuità, difetti del sistema di smaltimento delle acque piovane o degli impianti o per imbibizione naturale.

L'acqua nei suoi tre stati fisici è la fonte diretta ed indiretta delle azioni di degrado delle murature.

L'acqua piovana (fase liquida) agisce sia sui pigmenti sia sulle resine con un'azione solvente che provoca il disfacimento della pittura.

L'azione solvente è rafforzata dagli inquinamenti atmosferici e dalle piogge acide che, reagendo con le pitture a base alcalina, neutralizzano i leganti formando sali solubili trasportati in superficie da fenomeni di risalita dell'umidità che ricristallizzando producono un aumento di volume che determina la frantumazione della pittura e degli intonaci. L'eccessiva umidità (fase vapore) dell'aria impedisce l'evaporazione dell'acqua penetrata nella muratura che, a causa della condensazione, si deposita sottoforma di gocce d'acqua

sulla superficie delle murature, generando la formazione di bolle ed in seguito il distacco della pellicola protettiva.

Esiste anche un'umidità di risalita capillare proveniente dal terreno di fondazione.

L'azione di quest'umidità è deleteria perché può portare alla permanente saturazione della muratura di fondazione giacché le azioni chimiche dei sali si hanno in presenza dell'acqua e questi, giunti a contatto con l'ambiente esterno, formano le caratteristiche "efflorescenze" di colore biancastro che provocano la frantumazione degli intonaci. Inoltre l'aumento di volume dell'acqua e la sua trasformazione in ghiaccio (fase solida) a causa del gelo, provoca all'interno della muratura sollecitazioni meccaniche elevate sui componenti degli intonaci riuscendo ad annullare le proprietà di resistenza delle pitture più tenaci.

Altri agenti di degrado sono l'aggressione chimica subita dai rivestimenti di finitura che è particolarmente presente nei centri urbani, dove i fumi di riscaldamento, uniti ai gas di scarico d'industrie ed automobili diffondono nell'ambiente anidride solforosa (smog) e idrogeno solforato che rendono scuri i pigmenti delle pitture (formazione di solfuro di piombo) e sfarinano i leganti.

Inoltre l'azione degli inquinanti aeriformi e liquidi è attivata dalle particelle solide (polvere, fuliggine etc.) che, trattenute dai materiali porosi a causa del percolamento delle acque piovane, macchiano le superfici dei manufatti edili. Di particolare importanza sono gli ossidi di carbonio e di zolfo che in presenza d'acqua (piogge) si trasformano in acido carbonico e solforico.

Questi acidi depositati sulla superficie della muratura interagiscono con loro e ne determinano il deterioramento. Agli alcali sono invece sensibili numerosi polimeri sintetici che saponificano abbattendo la resistenza complessiva del rivestimento all'aggressione esterna.

Il deperimento delle pitture dipende anche dai fenomeni d'ossidazione e polimerizzazione innescati dai raggi ultravioletti che fanno sbiadire le pitture composte da pigmenti di natura organica. E' bene altresì precisare che lo scolorimento è più evidente quando i pigmenti sono presenti nelle tinte miscelate con il colore bianco

Fisicamente il fenomeno si concretizza nei processi superficiali, di viraggio di colore e di sfarinamento superficiale.

Negli intonaci delle costruzioni sottoposte a vibrazioni e movimenti strutturali possono formarsi rotture, crepe o fessure che, oltre ad essere antiestetiche, risultano particolarmente pericolose per l'integrità fisico-chimica del supporto.

Le sollecitazioni meccaniche, movimenti di trazione e compressione innescati da assestamenti strutturali che un edificio subisce nel corso degli anni, le sollecitazioni telluriche, le sollecitazioni dovute al traffico pesante, le sollecitazioni di maturazione dei materiali nonché quelle date dalle contrazioni termiche dovute agli sbalzi di temperatura o ai cicli di gelo/disgelo dell'acqua penetrata dalla superficie nel rivestimento, provocano la formazione di crepe e fessure.

Gli strati superficiali dei manufatti edili durante la stagione estiva, risentono all'interno dei materiali di forti tensioni che insorgono a causa dell'aumento della temperatura, dovuta al riscaldamento solare. Queste tensioni creano, se le superfici sono formate da vari strati sovrapposti, degli scorrimenti più o meno accentuati in relazione al coefficiente di dilatazione dei materiali e alle differenze del grado di riscaldamento che si determina fra gli strati più esposti ai raggi solari e quelli più interni.

Tutte queste rotture, crepe o fessure sono vie preferenziali per gli agenti dannosi che possono penetrare nel cuore della muratura e quindi accelerare gli effetti degenerativi.

Le cavillature superficiali si possono manifestare quando gli intonaci appena posati non hanno completato il loro processo di maturazione e sono causate, soprattutto, da errori di miscelazione e d'applicazione dei prodotti.

Le fessurazioni (spaccature lineari e vistose) si localizzano di preferenza nelle zone di giunzione fra gli elementi strutturali e quelli di riempimento e sono dovute ai movimenti differenziali causati dalla sollecitazione termica dei materiali.

Le screpolature sono infine crepe profonde che possono interessare sia il rivestimento sia il supporto e sono generalmente provocate dai movimenti d'assestamento della struttura o del terreno o anche dai processi di degrado dell'intonaco.

Dal punto di vista strutturale, si usa distinguere tra crepe statiche e dinamiche. Le prime sono dovute ai movimenti d'assestamento della struttura, che danno origine a crepe di forma allungata che interessano l'intero spessore dell'intonaco o spesso anche parte del corpo della muratura, o dei materiali in opera che danno luogo a microcavillature poco profonde, con andamento reticolare che si mantiene uniforme nel tempo.

Le seconde sono causate dai movimenti di distorsione della struttura e dalle variazioni dimensionali dovute a comportamenti termici diversi dai materiali. Le prime danno luogo a crepe dense e profonde, le seconde a crepe superficiali che variano nel tempo.

## 20 LE CAUSE DEL DEGRADO BIOLOGICO

Una causa molto diffusa di degrado del rivestimento è costituita da “microrganismi”: l’umidità permanente sulle murature è terreno fertile per lo sviluppo di batteri, muffe, muschi e licheni.

L’umidità permanente è di solito localizzata nelle pareti esposte a nord, dove l’acqua derivante da condensazioni o anche solamente acqua meteorica, permane molto a lungo, a volte non evaporando affatto.

### 20.1 **BATTERI**<sup>11</sup>

Il proliferare di questi agenti biologici è causa di danni estetici ed anche fisici alle murature:

I batteri e i bacilli appartengono ad una serie numerosissima di specie sottospecie e famiglie.

I più attivi sono:

- Bacilli aerobici, tra qui prevalgono i “thiobacilli” che ossidano lo zolfo presente nell’atmosfera inquinata in acido solforico.
- Bacilli anaerobici, che riducono i solfati in acido solfidrico.
- I nitrobatteri, che nel loro ciclo vitale ossidano l’azoto atmosferico e l’azoto organico ad acido nitrico.

Le fonti di zolfo ed azoto sono praticamente inesauribili, essendo i due elementi presenti nell’atmosfera, nei sali disciolti nell’acqua dolce e marina, nelle sostanze di degradazione organica; non vi è quindi ostacolo allo sviluppo di batteri e bacilli, anche tenendo conto della loro enorme velocità di moltiplicazione.

Indubbiamente proporzionale alla crescita è la produzione d’acidi che solubilizzano i carbonati minerali presenti in molti materiali costruttivi delle facciate.

### 20.2 **MUSCHI, LICHENI E FUNGHI**<sup>11</sup>

Provocano una disgregazione lenta, ma che può giungere a buona profondità, sgretolando qualsiasi supporto minerale su cui si verifichi il loro insediamento e la loro crescita.

In particolare alcuni tipi di licheni si sviluppano all’interno delle masse cristalline dei marmi e delle pietre da costruzione, oppure degli intonaci, fessurandole grazie alle enormi pressioni che sviluppano nella crescita.

In aggiunta alle azioni meccaniche pure e semplici, muffe e licheni secernono nel loro processo vitale degli acidi organici (i cosiddetti “acidi lichenici”) che scompongono le parti minerali e li aiutano nella penetrazione profonda.

Molti licheni e funghi sono difficilmente osservabili se non con esame microscopico; la presenza di altri invece è facilmente rilevabile ad occhio nudo, causa la loro vivace colorazione verde vivo, arancio o nero.

In particolari condizioni di clima ed umidità (per es. Venezia) la degradazione microbiologica delle opere murarie assume aspetti imponenti, fino ad arrivare alla distruzione vera e propria del supporto.

### **20.3 ALGHE**<sup>11</sup>

Tendono a proliferare in ambienti molto umidi ed illuminati.

Quando danni a parapetti, a grondaie o a canali provocano una fuoriuscita d’acqua, sulla superficie si può creare la formazione d’alghe.

Le alghe sono suddivise in molti gruppi distinti d’organismi che variano molto di dimensione e aspetto. Nella loro crescita le alghe non originano veri e propri fenomeni distruttivi, ma sono esteticamente sgradevoli e causano macchie, decolorazioni e perdite d’aderenza tra intonaci e rivestimenti.

## NOTE II

<sup>1</sup> Montagnani C. – *Materiali per il restauro* – 2000 Unione Tipografico-Editrice Torinese U.T.E.T., pp.399-400

<sup>2</sup> Cfr. nota<sup>1</sup> pp.400-411

<sup>3</sup> Cfr. nota<sup>1</sup> pp.193-200

La Bottega Del Restauro, zona industriale Le Badesse-V. A. Moro N°1 Monteriggioni, Siena – *I materiali per il restauro conservativo e la casa bio-compatibile-*, pp.6-12

S.I.O.F. S.p.A. Società Italiana Ossidi Ferro, Pozzolo Formigaro (Al) – *Pigmenti* –

Supplementi al Dizionario di Chimica e Chimica Industriale – *I pigmenti nella pittura-*  
[www.minerva.unito.it](http://www.minerva.unito.it).

<sup>4</sup> Rosignoli R., Santopuoli N. – *Sistemi di coloritura moderni: caratteristiche, requisiti e compatibilità con i diversi supporti* – mag-2001 in “DOSSIER: idee, strumenti e materiali per il progetto”, ed. Maggioli, p.23

Cfr. nota<sup>1</sup> pp.411-415

<sup>5</sup> Rosignoli R., Santopuoli N. – *Sistemi di coloritura moderni: caratteristiche, requisiti e compatibilità con i diversi supporti* – mag-2001 in “DOSSIER: idee, strumenti e materiali per il progetto”, ed. Maggioli, pp.23-24

<sup>6</sup> Rosignoli R., Santopuoli N. – *Sistemi di coloritura moderni: caratteristiche, requisiti e compatibilità con i diversi supporti* – mag-2001 in “DOSSIER: idee, strumenti e materiali per il progetto”, ed. Maggioli, p.24

<sup>7</sup> Belliato A., Corazzo A., Corallo F., Mantellino G., Mantegazza G., Martinetti G., Mazzon E., Vignola G., Zeffiretti F., - *Missione Colore* – marzo 2001 a cura di Univer Italia S.p.A. Cavallirio (No), diffusioni grafiche S.p.A., pp.96-101

<sup>8</sup> Quaderni di “Attiva” – *Sistemi per facciate: fibrato ai silicati di potassio e fibrati ai silossani-*, pp.6-7

Cfr. nota<sup>1</sup> pp.409-410

<sup>9</sup> Quaderni di “Attiva” – *Sistemi per facciate: fibrato ai silicati di potassio e fibrati ai silossani-*, pp.8-9

Belliato A., Corazzo A., Corallo F., Mantellino G., Mantegazza G., Martinetti G., Mazzon E., Vignola G., Zeffiretti F., - *Missione Colore* – marzo 2001 a cura di Univer Italia S.p.A. Cavallirio (No), diffusioni grafiche S.p.A., pp.68-70

<sup>10</sup> Belliato A., Corazzo A., Corallo F., Mantellino G., Mantegazza G., Martinetti G., Mazzon E., Vignola G., Zeffiretti F., - *Missione Colore* – marzo 2001 a cura di Univer Italia S.p.A. Cavallirio (No), diffusioni grafiche S.p.A., pp.25-26 E 38-42 E 52-53

<sup>11</sup> Cfr. nota<sup>1</sup> pp.417-420

Belliato A., Corazzo A., Corallo F., Mantellino G., Mantegazza G., Martinetti G., Mazzon E., Vignola G., Zeffiretti F., - *Missione Colore* – marzo 2001 a cura di Univer Italia S.p.A. Cavallirio (No), diffusioni grafiche S.p.A., pp.32-34

**-TOMO III-**

**ABACO DEL DEGRADO**

FORME E TIPOLOGIE DI DEGRADAZIONE DEI MATERIALI  
LAPIDEI E DELLE TINTEGGIATURE<sup>1</sup>

## 21 ALTERAZIONE CROMATICA

“Alterazione che si manifesta attraverso la variazione di uno o più parametri che definiscono il colore: tinta (hue), chiarezza (value), saturazione (chroma). Può manifestarsi con morfologie diverse a seconda delle condizioni e può riferirsi a zone ampie o localizzate”. Si tratta di modificazioni che non implica necessariamente un peggioramento delle caratteristiche ai fini della conservazione, spesso determinata dalla patina naturale assunta nel tempo dal materiale (ad es. i parametri di calcare alberese che hanno assunto con l’ossidazione coloriture diverse, gialle e gialle brune, in ragione delle componenti mineralogico petrografiche del materiale originario). Una forma tipica d’alterazione cromatica è quella che avviene, per emersione del pigmento, in fase di decoesione e dilavamento della superficie trattata con sistemi a calce.

## 22 ALVEOLIZZAZIONE

“Degradazione che si manifesta con la formazione di cavità di forme e dimensioni variabili. Gli alveoli sono spesso interconnessi e hanno distribuzione uniforme. Nel caso particolare in cui il fenomeno si sviluppa essenzialmente in profondità con andamento a diverticoli si può usare il termine Alveolizzazione a cariatura”. Tale fenomenologia di degrado è riscontrabile soprattutto nei materiali calcarei di minore resistenza meccanica maggiormente esposti agli agenti atmosferici ed al dilavamento.



### **23 BOTTACIOLI DELLA CALCE**

La presenza nell'intonaco di granuli di carbonato di calcio, non bene spenti o idratati, costituisce la condizione per la formazione della malta di questo tipo di degradazione materica. I "bottacioli" sono piccole escrescenze tondeggianti ("scoppiettature") che si espandono per aumento di volume dei granuli di calce assorbenti umidità fino al loro distacco dall'intonaco, su cui lasciano caratteristici fori a forma di cratere.



### **24 BRUCIATURA DELLA CALCE**

Fenomeno di degradazione delle coloriture a calce determinato dall'applicazione della tinta in condizioni di temperatura o troppo basse o troppo alte. Il degrado si manifesta con l'affioramento in superficie di macchie biancastre e con il repentino deterioramento della tinteggiatura.

## 25 CAVILLATURA

Fenomeno degenerativo degli strati cromatici superficiali sotto forma di rotture ramificate del film pittorico; si manifesta in tessiture più o meno fitte, generalmente a rete chiusa, diffuse capillarmente in presenza di cretti o screpolature a ragnatela (“craquelures”) dell’intonaco sottostante dovute a forte ritiro durante la presa del legante o alla formazione di giunti termici in presenza di malte cementizie. La cavillatura superficiale può risultare più marcata rispetto all’intonaco di supporto in relazione all’ispessimento, all’eccessiva rigidità e scarsa traspirabilità della pellicola di pitturazione superficiale.



## 26 CONCREZIONE

“Deposito compatto generalmente formato da elementi d'estensione limitata, sviluppato preferenzialmente in una sola direzione non coincidente con la superficie lapidea. Talora può assumere forma stalattitica o stalagmitica”. La formazione di concrezioni si verifica su materiali calcarei, arenarie, travertino in presenza di permanenze umide protrattesi nel tempo in ambiente protetto con migrazione, deposito e mineralizzazione di sali.



## 27 CROSTA

“Strato superficiale d’alterazione del materiale lapideo o dei prodotti utilizzati per eventuali trattamenti. Di spessore variabile, è dura, fragile e distinguibile dalle parti sottostanti per le caratteristiche morfologiche e, spesso, per il colore. Può distaccarsi anche spontaneamente dal substrato che, in genere, si presenta disgregato e/o polverulento”. Negli intonaci dipinti presenza di crosta si ha quando strati di colore mineralizzati si distaccano dal supporto o dal substrato meno cristallizzato generando sottili lamelle caduche, facilmente asportabili dalla superficie. La crosta può essere determinata dalla presenza di sostanze aggiunte che, col tempo, tendono a far irrigidire la pellicola cromatica superficiale, fino a distaccare gli strati pittorici più tenaci dal supporto interno meno coerente.



## **28 DEFORMAZIONE**

“Variazione della sagoma che interessa l'intero spessore del materiale e che si presenta in elementi lastriformi”. Questa condizione di degrado interessa principalmente rivestimenti lapidei di limitato spessore (lastre marmoree, lapidei e targhe ecc.).

## **29 DEGRADAZIONE CROMATICA**

Processo di decadimento conservativo che implica la trasformazione cromatica degli intonaci in relazione a fenomeni degenerativi. Ad esempio, la “solubilizzazione”(v.) della calce carbonatata in presenza d'umidità (diretta o indiretta) determina la disgregazione della materia, la decoesione del legante minerale con polverizzazione dei pigmenti e progressiva decolorazione degli strati superficiali.



### **30 DEGRADAZIONE DIFFERENZIALE**

“Degradazione da porre in rapporto ad eterogeneità di composizione o di struttura del materiale, tale quindi da evidenziare spesso gli originali motivi tessiturali o strutturali. Tale fenomeno è visibile nel deperimento di marmi e di gessi sottoposti ad azione meccanica e chimica da parte degli agenti atmosferici (venti, piogge ecc).

### **31 DEPOSITO SUPERFICIALE**

“Accumulo di materiali estranei di varia natura, quali, ad esempio, polvere, terriccio, guano ecc. Ha spessore variabile e, generalmente, scarsa coerenza e aderenza al materiale sottostante”. Per le superfici bidimensionali delle facciate, l’entità dei depositi superficiali dipende, in larga misura, dall’esposizione (sarà maggiore nelle zone protette dai venti e dalle piogge), dalla scabrosità e deformazione del fondo, dalla rugosità del trattamento (ad esempio le finiture “a buccia d’arancio” e a “pinocchio” determinano una rapida formazione di depositi estranei). Tuttavia è da annotare come pitturazioni filmogene (pellicolanti), a prevalente impiego di resine sintetiche (acriliche, epossidiche, poliesteri, viniliche, ecc) ancorché lisce, prive di spessori e granulosità, trattengono fortemente le polveri atmosferiche e conseguentemente il particolato inquinante e lo sporco.



### 32 DISGREGAZIONE

Decoesione caratterizzata da distacco di granuli o cristalli sotto minime sollecitazioni meccaniche". Il fenomeno è particolarmente evidente nelle arenarie a forte gelività, sottoposte all'azione diretta degli agenti atmosferici.

### 33 DISTACCO

"Soluzione di continuità tra strati del materiale, sia tra loro sia rispetto al substrato: prelude in genere alla caduta degli strati stessi. Il termine si usa in particolare per gli intonaci e i mosaici. Nel caso di materiali lapidei naturali le forme distaccate assumono spesso forme specifiche in funzione delle caratteristiche strutturali e tessiturali, e si preferiscono allora voci quali crosta (v.), scagliatura (v.), esfoliazione (v.). Il distacco degli intonaci può assumere valori più o meno accentuati in relazione all'entità ed estensione dello stesso; generalmente si parla di "allentamento" nei casi meno manifesti, non direttamente riconoscibili per la deformazione o la caduta di parti, quindi valutabili con il riscontro di sonorità alla battuta della nocca. Il distacco può interessare la separazione dell'arriccio dal supporto, dell'intonaco dall'arriccio, dell'intonachino dall'intonaco, oppure l'adesione tra intonaci diacronici stesi uno sopra l'altro in interventi diversi.



### 34 EFFLORESCENZA

“Formazione di sostanze, generalmente di colore biancastro e d’aspetto cristallino o polverulento o filamentoso, sulla superficie del manufatto. Nel caso d’efflorescenze saline, la cristallizzazione può talvolta avvenire all’interno del materiale provocando spesso il distacco delle parti più superficiali: il fenomeno prende allora il nome di cripto-efflorescenza o sub-efflorescenza. La principale forma d’efflorescenza è, rispetto alla precedente, quella che imbianca la superficie cromatica, determinando decoesione del legante e forti tensioni che portano alla rottura e successiva caduta del film cromatico. La concentrazione dei sali verso l’esterno può essere favorita dalle migrazioni causate dalle variazioni di temperatura ed umidità nella muratura e nell’ambiente. Altri tipi d’efflorescenza dell’intonaco determinate dalle sostanze presenti nella malta o migrate dalle murature, ma anche sostanze aggiunte in trattamenti restaurativi, sono le salificazioni di sodio cloruro (fortemente igroscopiche), di potassio e di nitrato di calcio (riconoscibili sotto forma di fili salini che si manifestano lungo le cretture dell’intonaco o del film pittorico).



### 35 EROSIONE

“Asportazione di materiale dalla superficie dovuta a processi di natura diversa. Quando sono note le cause di degrado, possono essere utilizzati anche termini come “erosione per usura” (cause antropiche). Tale forma di degradazione materica colpisce nelle superfici esposte in modo più accentuato le pietre arenarie, ma anche le stratigrafie delle malte (rinzaffo, arriccio e intonaco) private delle protezioni superficiali (intonachino e smalto pittorico).



### **36 ESFOLIAZIONE**

“Degradazione che si manifesta con distacco, spesso seguita da caduta, di uno o più strati subparalleli tra loro (sfoglie)”. Il fenomeno colpisce in maniera sensibile le pietre arenarie maggiormente gelive ed è accelerato dall'inquinamento atmosferico che aggredisce e disgrega il legante minerale.

### **37 FRATTURAZIONE O FESSURAZIONE SUPERFICIALE**

“Degradazione che si manifesta con la formazione di soluzioni di continuità nel materiale e che può implicare lo spostamento reciproco delle due parti. La conformazione delle fessure può essere lineare, stellare e reticolare. Il dissesto dell'apparato murario di supporto è la causa principale di tali fenomeni, tuttavia fratturazioni e fessurazioni possono determinarsi anche a livello superficiale per tensioni localizzate non sopportabili dai vari materiali in ragione della rigidità e fragilità del tessuto cristallino del film pittorico.



### **38 INCROSTAZIONI**

“Deposito stratiforme, compatto e generalmente aderente al substrato, composto da sostanze inorganiche o da strutture di natura biologica”. La degradazione che consegue alla formazione d’incrostazioni (presente in marmi e travertini, ma anche su velature di carbonato di calcio) si manifesta con marcate alterazioni morfologiche o cromatiche della superficie (efflorescenze, annerimenti ecc.) o con presenza di localizzate colonie fungine (muffe ecc)



### **39 INGRIGIMENTO E RITENZIONE DI SPORCO**

Forma di “degradazione cromatica” dovuta alla riduzione della riflettanza( oltre il 15%) delle coloriture, imputabile alla ritenzione di sporco ed alla degenerazione delle resine sintetiche nelle tinte pellicolanti. La riflettanza è data nella scala dei grigi (Munsell / ISO 105 A 02).

#### 40 LACUNA

“Caduta e perdita di parti di un dipinto murale con messa in luce degli strati d’intonaco più interni o del supporto (v. anche “mancanza”)”. Con tale termine s’indicano le aree totalmente private del film cromatico superficiale. Nel caso di tinteggiature la lacuna può interessare lo strato corrispondente all’ultimo trattamento in ordine temporale eseguito sul fondo, lasciando intravedere in tutto o in parte strati precedenti.



#### **41 MACCHIA**

“Alterazione che si manifesta con pigmentazione accidentale e localizzata della superficie, è correlata alla presenza di materiale estraneo al substrato (ad es.: ruggine, sali di rame, sostanze organiche, vernici)”. La macchiatura delle superfici può indifferentemente interessare parti lapidee a vista come intonaci; l'effetto di tale degrado sarà tuttavia maggiore in relazione alla natura e qualità del materiale, specialmente in relazione alla porosità e alla purezza. Può essere inserito in questa categoria di degrado anche un fenomeno che negli anni recenti ha assunto un particolare rilievo e cioè il danneggiamento di superfici parietali per cause antropiche legate al vandalismo, con scritte e sfregi ottenuti utilizzando vernici spray, pennarelli indelebili ecc.



## 42 MANCANZA

“Caduta e perdita di parti. Il termine generico si usa quando tale forma di degradazione non è descrivibile con altre voci del lessico. Nel caso particolare degli intonaci dipinti si adopera di preferenza “lacuna” (v.).



## 43 PATINA

“Alterazione strettamente limitata a quelle modificazioni naturali della superficie dei materiali non collegabili a manifesti fenomeni di degradazione e percepibili come una variazione del colore originario del materiale. Nel caso d’alterazioni indotte artificialmente si usa in preferenza il termine di “patina artificiale”. La questione del trattamento delle patine costituisce uno dei principali temi del restauro, interessando direttamente anche il piano del colore, nella misura in cui anche coloriture e tinteggiature di natura minerale sono soggette nel volgere del loro tempo d’utilizzo alla formazione di patine in forma d’alterazioni cromatiche, di tinta (in maniera minore), di chiarezza e croma (in maniera maggiore). Nel ripristino di coloriture preesistenti si dovrà quindi valutare con estrema attenzione tale tipologia d’alterazione cromatica, onde evitare la progressiva trasformazione del colore nell’ambiente urbano.

#### 44 PATINA BIOLOGICA

“Strato sottile, morbido e omogeneo, aderente alla superficie e d’evidente natura biologica, di colore variabile, per lo più verde. La patina biologica è costituita da microrganismi cui possono polvere, terriccio ecc”.



#### **45 PELLICOLA**

“Strato superficiale di sostanze coerenti fra loro ed estranee al materiale lapideo. Ha spessore molto ridotto e può distaccarsi dal substrato, che, in genere si presenta integro”. La pellicola può essere dovuta ad un trattamento protettivo del materiale lapideo a sua volta soggetto a degradarsi per ossidazione e contrazione in ragione delle sostanze impiegate (generalmente di natura organica, in particolare resine sintetiche). Nel caso di coloriture e tinteggiature filmogene (pellicolanti) la pellicola è costituita dallo stesso strato di colore con maggiore o minore grado di rigidità e permeabilità in relazione alla quantità e alla natura delle resine impiegate.

#### **46 PITTING**

“Degradazione puntiforme che si manifesta attraverso la formazione di fori ciechi, numerosi e ravvicinati. I fori hanno forma tendenzialmente cilindrica con diametro massimo di pochi millimetri. Tale degrado interessa principalmente le pietre calcaree, specie i marmi.

#### **47 POLVERIZZAZIONE**

“Decoesione che si manifesta con la caduta spontanea del materiale sotto forma di polvere o granuli”. Nei materiali nei quali è venuto meno il legante, gli inerti minerali e le particelle incoerenti, non più legate dalla tessitura strutturale originaria, formano polveri superficiali facilmente asportabili e caduche. Particolare forma di polverizzazione dell'intonaco dipinto è lo “spolvero del colore” (v).

#### 48 PRESENZA DI VEGETAZIONE

Insediamenti parietali di licheni, muschi e piante”.



#### **49 RIGONFIAMENTO**

“Sollevamento superficiale e localizzato del materiale, che assume forma e consistenza variabile”. Tale forma di degrado, accompagnato spesso da “distacco” (v.), può essere anticipatoria di degenerazioni materiche più radicali, ancorché non manifestatamente palesate, ad esempio “esfoliazione” (v.).



#### **50 SCAGLIATURA**

“Degradazione che si manifesta col distacco totale o parziale di parti (scaglie) spesso in corrispondenza di soluzioni di continuità del materiale originario. Le scaglie, costituite da materiale in apparenza inalterato, hanno forma irregolare e spessore consistente e disomogeneo. Al di sotto possono essere presenti “efflorescenze” (v.) o “patine biologiche” (v.). Questo genere di degenerazione interessa il materiale lapideo anche in natura, ad esempio sono note le scagliature del calcare marnoso nelle stratigrafie esposte agli agenti atmosferici.

## **51 SFIAMMATURA DEL COLORE**

Degradazione delle tinteggiature minerali a calce e ai silicati determinata dalle condizioni climatiche di riferimento per temperature troppo fredde o troppo calde dell'aria durante l'applicazione della tinta. Questo tipo di fenomeno si rende ben visibile per le caratteristiche striature (segni delle pennellate) che si producono sulla superficie.

## **52 SOLFATAZIONE DELL'INTONACO**

Trasformazione del carbonato di calcio in solfato di calcio in presenza d'acqua e gas inquinanti dell'aria (anidride solforosa e ossido d'azoto, quest'ultimo porta a formazioni di nitrato di calcio solubile) determinati dallo scarico delle auto, dal riscaldamento domestico, dagli insediamenti industriali. I depositi inquinanti sulle superfici parietali veicolati dall'acqua piovana, dall'umidità ambiente e dalla capillarità del muro causano la formazione di questi sali igroscopici e marcescenti che disgregano rapidamente la materia, v. anche "efflorescenza".

## **53 SOLUBILIZZAZIONE DELLA CALCE**

Processo degenerativo (v. anche "degradazione cromatica") del carbonato di calcio causato dalle sostanze aggressive di natura acida (acque meteoriche, anidride solforosa, ossidi d'azoto, ecc.) che concorrono all'attuale inquinamento atmosferico. Questa perdurante azione produce la trasformazione del carbonato di calcio insolubile dei materiali lapidei e, in particolare, delle tinteggiature tradizionali a calce in bicarbonato di calcio (sale solubile), oppure in nitrato di calcio (sale solubile) e solfato di calcio (sale igroscopico), v. anche "solfatazione".

## **54 SPOLVERATURA DELLE COLORITURE MINERALI O SFARINAMENTO**

Diminuita o carente legatura del colore che provoca "spolveratura", ovvero "sfarinamento" misurabile con tampone di velluto (norme ASTM D 659 e UNICHIM MU175). Durante il processo di mineralizzazione dell'intonaco fresco o della stesura con legante inorganico della tinta i pigmenti non ancora inglobati nella struttura cristallina superficiale sono soggetti a facile asportazione al semplice passaggio della mano. Tale situazione può avere uno sviluppo temporaneo legato al completamento del processo fisico chimico di presa, o più esteso dovuto all'incompleta mineralizzazione del legante rispetto alla quantità di pigmento impiegata. Per tale ragione la "spolveratura del colore"

interessa soprattutto le tinte a basa minerale, in particolare il processo di carbonatazione nelle tinte a calce.



## NOTE III

<sup>1</sup> Prato, Piano Del Colore – *Abaco del degrado dei materiali, intonaci, coloriture e tinteggiature* –

**-TOMO IV-**

**IL CENTRO STORICO D'ALGHERO**

PRINCIPALI RISORSE MATERIALI DA  
COSTRUZIONE DEL TERRITORIO

## IL CENTRO STORICO D'ALGHERO

### A. IV) Introduzione<sup>1</sup>

Sulla costa nord-occidentale della Sardegna, in una penisola che chiude a sud l'omonima rada, è stata edificata la città storica di Alghero.

Volta verso le Baleari, si trova in una posizione riparata, sia nei confronti delle masse di aria fredda provenienti da nord-est (avvertite come vento di grecale), sia nei riguardi delle masse d'aria calda provenienti da sud e sud-est (ostro e scirocco). La frequenza delle correnti occidentali è al contrario altissima, tanto che i venti da ovest a nord-ovest, apportatori di salsedine, occupano la quasi metà di tutte le osservazioni anemometriche dell'anno, influenzando sia la vegetazione sia gli insediamenti umani. Il vento prevalente ad Alghero è il Maestrale, esso assume particolare intensità nella fase immediatamente successiva al passaggio di una perturbazione allontanando le ultime nubi e portando aria più fresca di origine atlantica.

L'insolazione, la temperatura, le precipitazioni, l'umidità e il comfort climatico hanno ad Alghero valori miti, tipici del clima temperato-caldo costiero mediterraneo. Salvo singoli anni in cui si registrano notevoli scarti, i valori medi sono:

Mese più piovoso	Dicembre	Media 119,2 mm per 11,7 gg.
Mese meno piovoso	Luglio	Media 3 mm per 0,4 gg.
Mese più caldo	Luglio	Temperatura max 28°-29°
	Agosto	Temperatura max 27°-29°
	Luglio	Temperatura min 16°
	Agosto	Temperatura min 18°
Mese più freddo	Gennaio	Temperatura max 13°
	Febbraio	Temperatura max 13°
	Gennaio	Temperatura min. 6°
	Febbraio	Temperatura min. 6°
Umidità massima	Giugno	93%
Umidità minima	Luglio	40%
	Dicembre	68%
Mese più soleggiato	Luglio	11,3 ore
Mese meno soleggiato	Dicembre	3,7 ore

Per quanto riguarda il comfort climatico vi è solo da rilevare che in determinati valori di umidità relativa e temperatura, nei mesi più caldi dell'anno si possono instaurare condizioni di caldo afoso, mitigato o annullato del tutto dallo spirare della brezza di mare estiva che assicura un costante ricambio dell'aria.

## **VII. PRINCIPALI RISORSE MATERIALI DA COSTRUZIONE DEL TERRITORIO**

### **55 LE ROCCE CALCARENITICHE: MATERIALE DA COSTRUZIONE DEL CENTRO STORICO D'ALGHERO<sup>2</sup>**

Depositi di sabbie eoliche assai cementate, che presentano evidente stratificazione incrociata, situate in potenti formazioni poste sia verso sud sia verso nord del territorio d'Alghero, hanno fornito le cave di pietra lavorata in conci squadrati con la quale è stata costruita la quasi totalità del centro storico della città, fin dai tempi della sua fondazione.

#### **55.1 COME SI E' FORMATA LA PIETRA D'ALGHERO<sup>3</sup>**

Sono calcareniti, rocce calcaree clastiche o detritiche, sedimentarie, coerenti (rocce che derivano per accumulo sedimentario, sulla superficie delle terre emerse o nell'acqua, di frammenti di rocce preesistenti che si sono formati in seguito all'azione meccanica e chimica d'agenti esogeni; questi sono legati fra loro attraverso un processo che li trasforma in roccia detto "diagenesi"), che contengono almeno il 50% di granuli di inerti di dimensioni comprese tra 1/16" e 2 mm di diametro, immersi in una matrice o cemento consolidante. Sono rocce facilmente lavorabili sempre associate ad arenarie quarzose con le quali formano miscugli in tutte le proporzioni.

E' la stratificazione la struttura primaria più caratteristica delle rocce sedimentarie, quale la calcarenite.

Se la diagenesi avviene contemporaneamente ad una sedimentazione ininterrotta di materiale omogeneo, è impossibile che si formi una stratificazione distinta. Se tuttavia la velocità di deposizione subisce una variazione temporanea, il rapporto tra deposizione e diagenesi è disturbato, e tale disturbo origina la stratificazione. Durante l'intervallo tra due periodi di sedimentazione normale, si genera una superficie o un'unità stratigrafica, che testimonia un cambiamento nella continuità della deposizione.

I processi diagenetici non apportano nessun cambiamento nella composizione mineralogica e chimica dei sedimenti. Un cambiamento sensibile sul materiale

sedimentario genera, infatti, una stratificazione evidente, e la deposizione di materiali diversi, che si alternano ritmicamente, origina il tipo più evidente di stratificazione eterogenea.

Nelle rocce sedimentarie l'unità litologica più grande è la "Formazione", composta di unità minori. In genere l'unità di sedimentazione più piccola (strato dell'ordine del millimetro) è la "Lamina", che si è depositata in condizioni fisiche essenzialmente costanti. Uno strato di sabbia o arenaria a stratificazione incrociata è un'unità di sedimentazione, poiché si è depositato in condizioni essenzialmente uniformi, ossia la corrente che lo ha generato, ha mantenuto una velocità di flusso ed una direzione quasi costanti. La stratificazione incrociata è una proprietà di molti sedimenti granulari, costituita da laminazioni disposte trasversalmente ai piani di stratificazione secondo linee inclinate dirette o secondo forme concave.

Gli attributi più importanti di questa struttura sono il suo ordine di grandezza e la sua variabilità tanto in inclinazione quanto in direzione. Generalmente l'inclinazione della stratificazione incrociata ha la stessa direzione locale del flusso della corrente, la stratificazione incrociata è certamente sia marina sia no.

Le stratificazioni di arenarie le possiamo distinguere sia per la composizione mineralogica, sia per le dimensioni dei granuli, sia per il grado di cementazione.

## **55.2 IL MASSACA' DI ALGHERO <sup>4</sup>**

La pietra locale, con la quale è stato edificato costantemente nei secoli il centro storico, è comunemente chiamata nella parlata algherese "Massacà".

Essa è una roccia da costruzione, a caratteristica tufacea, ben lavorabile e scolpibile di colore grigio tendente al grigio-chiaro.

Dalle diverse indagini analitiche, effettuate fino ad oggi, risulta essere una biocalcarenite a granulometria grossolana caratterizzata da elementi levigati di rocce calcaree organogene e quarzo in cristalli singoli e policristallino con quantità minori di pirosseni, feldspati alcalini, plagioclasti e miche con cemento calcitico.

Nell'era quaternaria hanno avuto origine depositi di sabbie che per diagenesi si sono cementate, creando potenti formazioni di arenarie eoliche a sedimentazione incrociata situate sia verso nord sia verso sud del territorio di Alghero. E' in queste formazioni che sono state aperte le cave di "massacà".

### **55.3 LE CAVE E LA LAVORAZIONE**<sup>5</sup>

In passato, quando l'uomo voleva approvvigionarsi di materiali litici allo stato naturale ha sempre aperto una cava. La scelta era determinata sia dalla sua ubicazione, sia dalle qualità tecniche ed estetiche della roccia, sia dai trasporti necessari per il suo impiego, sia dall'asportazione preventiva della parte superficiale più o meno alterata della cava, detta "cappellaccio". Ciò vuol dire che, per ogni tipo di materiale litico e per ogni clima, esiste uno spessore di roccia alterata più o meno profondo, sotto il quale la roccia stessa non ha subito nessuna trasformazione dalla sua genesi. Proprio per questo, tutte le cave, aperte o potenziali sono sempre state considerate parte delle risorse naturali di un territorio. Sulla scelta delle qualità tecniche di una roccia si può inoltre dire che, lo spessore e i generi di alterazione presenti nel cappellaccio sono sempre stati dei buoni indicatori del comportamento che avrà in tempi, più o meno lunghi, il materiale quando verrà esposto in un edificio alle azioni dell'ambiente che si trova tra la superficie terrestre e l'atmosfera. Il cappellaccio assomma, infatti, in tempi molto lunghi gli effetti combinati di più agenti di degrado, lenti e continui, che operano in tale ambiente.

I conci squadrati di "massacà" prendevano, a seconda delle varie dimensioni, il nome di "cantons" o "pessas".<sup>6</sup>

In passato l'estrazione, il trasporto e la lavorazione della pietra rappresentavano eventi importanti ed onerosi, ecco perché le cave più antiche erano situate possibilmente nelle zone più vicine a quelle di edificazione, se non nello stesso luogo, o per lo meno in vicinanza di vie d'acqua ed in seconda analisi vicine a vie percorribili da mezzi trainati da buoi o da cavalli. Il trasporto via acqua riguardava le cave marine che, partendo da Alghero verso Bosa, costellano tutta la costa nelle zone: dell'Isola dei Ratti, di Cala Bulantino, dell'Argentiera, del Cantaro, di Calabona, del Trò, nello stesso promontorio dove sorge la città vecchia di Alghero ("la cava del bordello" posta di fronte al bastione del Myrador). Da esse venivano trasportati nella "Villa" con chiatte e barconi i prodotti della lavorazione di cava: massi, "cantons", "pessas" e sabbia di cava.<sup>7</sup>

Il tutto veniva portato nei cantieri, dove i piccapietre selezionavano e lavoravano la pietra secondo il loro miglior utilizzo.

La calcarenite meglio cementata, a grana compatta e omogenea, veniva utilizzata per le facciate con paramenti a vista, parti scolpite a decoro quali modanature, cornici, lesene, fregi, parti strutturali soggette a maggiori sollecitazioni meccaniche, interi edifici di particolar pregio, tutto ciò era ovviamente condizionato dalla disponibilità economica del committente.<sup>8</sup> Una qualità di calcarenite a colorazione chiara, granulometria fine, ben

cementata, compatta e omogenea, particolarmente dura alla lavorazione, viene chiamata in algherese “corumbrina”.<sup>9</sup>

Gli edifici costruiti a risparmio, presentano conci di arenaria a cementazione meno compatta, più tenera e facile alla lavorazione. Altri edifici, invece, presentano facciate con conci di diverso tipo. Probabilmente questo è dovuto all’eterogeneità della pietra, estratta nella medesima cava o perché i conci sono stati recuperati da costruzioni preesistenti o collocati in successivi interventi di sopraelevazione o di manutenzione ecc..

Lungo la vecchia strada che da Alghero porta allo stagno Calik si trovano le cave terrestri, come ad esempio quelle denominate di Sant’Agostino Vecchio, della Pedrera, di Cuguttu e quelle di più recente sfruttamento, ma più distanti, di Monte Doglia ed Anghelu Ruju. Dalle cave di Sant’Agostino Vecchio e della Pedrera veniva estratto, secondo il verso di giacitura della stratificazione, un tipo di cantone detto “buit”.

Questo era costituito da una qualità di calcarenite moderatamente cementata, friabile, facile alla lavorazione anche in cantoni sottili, leggera nel peso, poco resistente agli agenti di degrado, veniva per lo più sempre intonacato e utilizzato nelle parti dell’edificio assoggettate a minor carico.

Quello lavorato sottilmente veniva utilizzato per intramezzare i vani.

Dalle cave marine generalmente veniva estratta una pietra di miglior qualità rispetto a quella estratta dalle terrestri, forse ciò era dovuto al fatto che l’azione disgregatrice del vento e del mare metteva subito in luce la roccia più resistente.<sup>10</sup>

## **56 I FORNI PER PRODURRE CALCE VIVA**

Di forni per la produzione della calce viva a temperature di circa 900 gradi centigradi e mai superiori, se ne possono distinguere tradizionalmente due tipi. Un forno molto antico è quello, costruito a forma di torre cava nella quale venivano posti alternativamente calcare e strati di legna o carbone, alla base veniva attizzato il fuoco, che si propagava lungo l’intera torre per la cottura dei sassi. L’altro tipo, più recente, era concepito in modo che il fuoco venisse alimentato in un vano separato dalla cavità della torre dove era ammassato il calcare da cuocere. I due vani stavano in connessione tra loro in maniera che le fiamme vive, provenienti dal vano di fuoco, potessero avvolgere le pietre contenute nella torre. A cottura ultimata il monossido di calcio veniva fatto uscire da un portello retrostante la torre. Questo tipo di forno viene chiamato continuo.

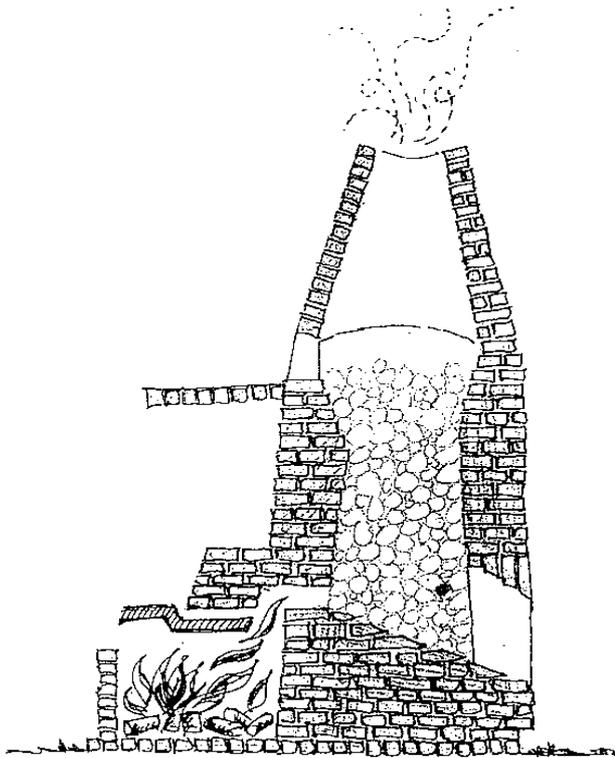


Fig.1



Fig.2



FIG3



Fig.4



Fig.5



Fig.6



Fig.7

Fig.1; Schema di forno continuo per la produzione della calce viva.

Fig.2-3-4-5-6-7; Forno continuo, munito di rampa per il carico delle pietre calcaree dall'apertura alta della torre, ubicato alle falde del monte D'Olla presso Alghero.

## **57 I FORNI PER PRODURRE IL CEMENTO PORTLAND**

Per la preparazione del cemento Portland si può partire da “marne di cemento” col 22÷24% d'argilla, ottenendo così il cemento Portland naturale, oppure da miscele artificiali di calcari e materiali argillosi, ottenendo, in questo caso, il cemento Portland artificiale. Il più importante è quest'ultimo, avendo la possibilità di poter dosare i vari componenti della miscela. La gran parte dell'industria del cemento produce ora cemento artificiale. La produzione del cemento naturale ed artificiale nel complesso è analoga. Il materiale proveniente dalle cave, dopo essere stato opportunamente miscelato e corretto viene lavorato dai mulini del crudo e polverizzato, quindi omogeneizzato, umidificato ed insufflato nei forni (che nelle industrie più moderne sono rotativi orizzontali “Lepol”) e viene portato mediante circolazione di aria calda alla temperatura di 1500 – 1600 gradi centigradi fino a giungere ad un inizio di fusione detto clinkerizzazione. Il clinker così ottenuto, esce dal forno dalla parte opposta dove era stato insufflato, viene raccolto, portato ai mulini del cotto e macinato sottoforma di una polvere impalpabile che passa poi ai silos e confezionato in sacchi di carta da 50 chili. Il cemento così ottenuto viene definito cemento Portland, dalla pietra da taglio estratta e usata a Portland in Inghilterra.

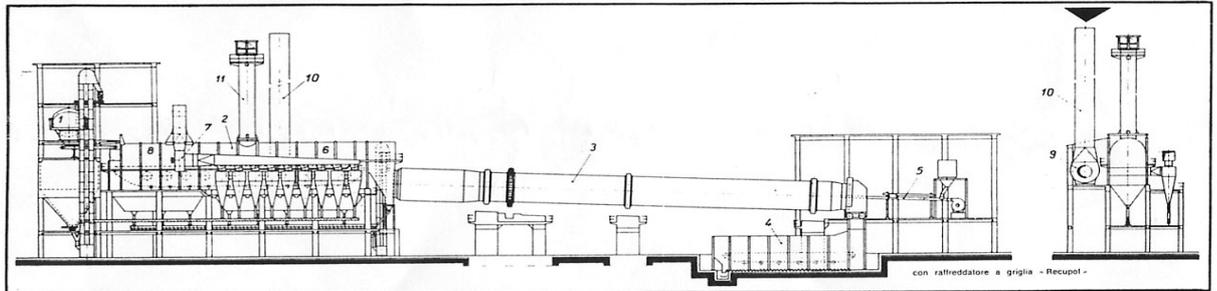


Fig.8; Schema di impianto di forno tipo “Lepol”: la farina cruda in quantità esattamente dosata giunge al granulatore a disco (1) ed è trasformata in granuli che si distribuiscono uniformemente sulla griglia mobile (2). Questa trasporta lentamente i granuli nel tubo rotante inclinato (3), dove, passando dall’alto al basso, avviene la cottura della granaglia fino al punto detto di clinkerizzazione; il cotto passa poi nel raffreddatore (4). Un braccio mobile, munito di ugello, alimenta di combustibile il forno (polvere di carbone ecc.) (5). I gas combusti passano ad alte temperature attraverso il tubo rotante fino alla griglia mobile, quindi alla camera di decarbonatazione (6) e aspirati da un ventilatore (7) nella camera di essiccazione (8) e poi di preriscaldamento, da qui vengono inviati all’elettrofiltro e aspirati (9) nell’atmosfera attraverso un camino (10) alla temperatura di circa 80°C. IL camino (11) serve per l’accensione del forno. Un forno “Lepol” si trova in località “Scala di Giocca” presso Sassari.

## 58 GIACIMENTI PER L'ESTRAZIONE DI TERRE COLORANTI

I giacimenti nei quali in passato sono state aperte cave per l'estrazione di terre coloranti in Sardegna sono<sup>11</sup>:

Carloforte	località	Capo Becco	Terre oca - giallo	Pigmenti d'alto potere colorante, legato ad un elevato tasso di triossido di ferro, fino al 89,7%.
	località	Capo Rosso	Terre rosse - violette	
Fluminimaggiore	località	Bauneddu	Terre oca	Cappellacci ferruginosi, costituiti da limoniti ed ematiti terrose.
	località	Su Seucci	Terre oca	
Villamassargia	località	Modizzi	Terre oca – gialle - rosse – violette - marrone	

L'Azzurrite (carbonato basico di rame) è un minerale abbastanza diffuso in Sardegna, bei cristalli si trovano nella miniera di "Calabona" presso Alghero, ciò nonostante non si hanno testimonianze sul suo utilizzo come colorante locale. Il pigmento ha una tonalità di blu variabile tra il blu oltremare e un blu verdastro, a causa della progressiva alterazione per ossidazione in Malachite, ha un buon potere coprente se non macinato molto fine, mescolandolo con nero carbone si ottiene un blu scuro e può essere impiegato nella tecnica dell'affresco, della tempera e dell'olio.

## NOTE IV

<sup>1</sup> **Brundu B.** – *I caratteri climatici* – dicembre 1996 Roma in AA.VV., “Alghero e il suo volto” a cura di Carlo Delfino editore vol. I, pp.18-21

<sup>2</sup> **Malatesta A.** – *Risultati del rilevamento del foglio 192 “Alghero Isola di Sardegna”* – 1953 in “Note di Stratigrafia Quaternaria” estratto dal bollettino del Servizio Geologico D’Italia vol.LXXV, pp.371-395

<sup>3</sup> **Bugini R., Folli L.** – *Le rocce e il loro impiego in architettura* – 2003 “Lezioni di petrografia applicata”, dell’istituto per la conservazione e la valorizzazione dei beni culturali del C.N.R.

Cfr. nota <sup>2</sup>

**Motta, - Nel Mondo della Natura** – “Enciclopedie di Scienze Naturali” vol. X, Mineralogia-Geologia-Paleontologia, ed. Motta F. p.434-438

<sup>4</sup> Cfr. nota <sup>2</sup>

**Montagnani C.** – *Materiali per il restauro* – 2000 Unione Tipografico-Editrice Torinese U.T.E.T., p.39

**Carlini A.** – *L’Alguer medieval a través de l’anàlisi estratigràfica dels edificis* – 1997/98 in “L’ALGUER”, periodico di cultura e informazione ed.Del Sol, p.14

**Frulio G. e Scalzo M** – *Gli interventi di restauro conservativo sulla calcarinite di Alghero 1964/93* – 27/30 giugno 2000 in “La prova del tempo: verifiche degli interventi per la conservazione del costruito”, atti del convegno di studi Bressanone a cura di Biscontin G. e Driussi G., ed. Arcadia Ricerche s.r.l., pp.345-356

**Iuzzolino C e Lombardo V** – *El massacà la pedra de l’Alguer* – n°78 set/ott 2001 in “L’ALGUER”, periodico di cultura e informazione ed. Del Sol

**Caboni R.** – *L’intervento conservativo nell’edilizia storica: indagini preliminari per la caratterizzazione dei materiali* – 2000/01 Dipartimento di Ingegneria Chimica e Materiali, Facoltà d’Ingegneria di Cagliari

<sup>5</sup> **Montagnani C.** – *Materiali per il restauro* – 2000 Unione Tipografico-Editrice Torinese U.T.E.T., pp.201-224

**Bugini R., Folli L.** – *Le rocce e il loro impiego in architettura* – 2003 “Lezioni di petrografia applicata”, dell’istituto per la conservazione e la valorizzazione dei beni culturali del C.N.R.

**Iuzzolino C e Lombardo V** – *El massacà la pedra de l’Alguer* – n°78 set/ott 2001 in “L’ALGUER”, periodico di cultura e informazione ed.Del Sol

**Motta, - Nel Mondo della Natura** – “Enciclopedie di Scienze Naturali” vol. IX, Mineralogia-Geologia-Paleontologia, ed. Motta F. p.189 e p.276

<sup>6</sup> Iuzzolino C e Lombardo V – *El massacà la pedra de l'Alguer* – n°78 set/ott 2001 in “L'ALGUER”, periodico di cultura e informazione ed. Del Sol, pp.11-12

<sup>7</sup> Castellaccio A. – *Le fortificazioni e le strutture difensive di Alghero XIV e XV secolo* - in AA. VV. “Alghero, la Catalogna, il Mediterraneo” di Mattone A., 1985 ed. Gallizzi, pp.125-148

Cfr. <sup>6</sup> pp.10-12

<sup>8</sup> Oliva G., Paba G. – *La struttura urbana di Alghero nel XVI e XVII secolo* -, in AA. VV. “Alghero, la Catalogna, il Mediterraneo” di Mattone A., 1985 ed. Gallizzi; e in “atti dell'Istituto di Ricerca Territoriale e Urbana”, 1986/87 Firenze, pp.346-359

Satta M. M. – *Le colture costruttive: abitazioni e ceti sociali nel centro storico di Alghero* – anno I dic. 1996 Sassari in “Santu Antine” tipogr. T.A.S., pp.11-19

<sup>9</sup> Sassu M. – *Alghero: casa tardo gotica* – 2000 Alghero in “Relazione storico-architettonica, risanamento e recupero del fabbricato sito in piazza civica n°5”, isolato 11 catasto foglio 97, particelle n°35-36-37, p.2

Cfr. nota <sup>6</sup> p.13

<sup>10</sup> Cfr. nota <sup>6</sup> pp.10-12

<sup>11</sup> I minerali – L'azzurrite – [www.Sardegna/miniere.it](http://www.Sardegna/miniere.it).

La Bottega Del Restauro, zona industriale Le Badesse-V. A. Moro N°1 Monteriggioni, Siena – *I materiali per il restauro conservativo e la casa bio-compatibile*-, pp.6-13

Montagnani C. – *Materiali per il restauro* – 2000 Unione Tipografico-Editrice Torinese U.T.E.T., pp.193-200

Supplementi al Dizionario di Chimica e Chimica Industriale – *I pigmenti nella pittura* - [www.minerva.unito.it](http://www.minerva.unito.it).

**-TOMO V-**

**ESPERIENZE DEL LABORATORIO  
La.Ma.Te.C.S.**

INDAGINI CONOSCITIVE TECNICO-DIAGNOSTICHE  
FINALIZZATE ALLA DEFINIZIONE DELLO STATO DI DEGRADO DI  
SIGNIFICATIVI AMBITI DI FACCIATE DI ALCUNI EDIFICI DEL  
CENTRO STORICO D'ALGHERO

## 59 TECNICHE ANALITICHE <sup>1</sup>

Vengono qua considerate in forma schematica le principali tecniche analitiche di laboratorio che consentono una precisa caratterizzazione composizionale e strutturale dei materiali lapidei. Le due più importanti sono: la microscopia ottica in luce polarizzata su sezione sottile e la diffrazione ai raggi X su polveri; esse si basano su principi fisici completamente differenti (proprietà ottiche, interferenza di radiazioni ondulatorie con il reticolo cristallino).

### 59.1 MICROSCOPIA OTTICA

PRINCIPIO DI BASE	Ingrandimento di un'immagine ottica in luce polarizzata trasmessa. Rifrazione della luce ad opera dei minerali monometrici, birifrazione ad opera dei minerali dimetrici e trimetrici.
OGGETTO DELL'INDAGINE	Campione di materiale lapideo preparato in sezione sottile, con area massima di 2x3 cm e spessore di circa 30 µm.
TIPO DI INDAGINE	Caratterizzazione della struttura e determinazione della natura dei componenti minerali.

### 59.2 DIFFRAZIONE AI RAGGI X

PRINCIPIO DI BASE	Diffrazione di raggi X (emessi da un anodo metallico colpito da un fascio di elettroni) provocata dai cristalli dei minerali.
OGGETTO DELL'INDAGINE	Campione di materiale lapideo finemente macinato (pochi mg).
TIPO DI INDAGINE	Determinazione della natura dei componenti minerali (cristallini) in un materiale lapideo attraverso il calcolo dei parametri caratteristici delle strutture cristalline.

Per una caratterizzazione strutturale del materiale lapideo è necessario ricorrere all'analisi porosimetrica (porosità aperta integrale, massa volumica apparente) e ad una serie di prove fisiche (carico di rottura a compressione, a flessione, usura per attrito radente, coefficiente d'imbibizione, ecc.).

Per studiare i fenomeni di degrado che interessano le pietre in opera, si ricorre alla microscopia elettronica a scansione (morfologia del degrado) corredata di spettrometro a raggi (composizione elementare della roccia e di eventuali prodotti secondari).

Per la ricerca di particolari prodotti di alterazione e di eventuali sostanze organiche dovute ad interventi conservativi si ricorre alla spettrofotometria all'infrarosso.

### **59.3 POROSIMETRIA**

PRINCIPIO DI BASE	Riempimento, mediante mercurio sotto pressione, dei pori aperti del materiale.
OGGETTO DELL'INDAGINE	Campione di pietra, malta, ceramica (provini cubici di circa 1 cm di spigolo).
TIPO DI INDAGINE	*Distribuzione volumetrica dei pori aperti, supposti di sezione circolare, in funzione delle loro dimensioni (raggio) per caratterizzazione del materiale e valutazione del degrado.  *Massa volumica apparente cioè rapporto fra massa e volume apparente del campione di materiale (il volume apparente è quello limitato dalle superfici esterne del campione).

### **59.4 MICROSCOPIA ELETTRONICA A SCANSIONE - SPETTROMETRIA A RAGGI X**

PRINCIPIO DI BASE	Ingrandimento di un'immagine dovuta a emissione di elettroni secondari da parte del campione sottoposto a scansione mediante un fascio di elettroni.
OGGETTO DELL'INDAGINE	Campione tal quale di pietra, malta, ceramica (dimensioni anche centimetriche); necessaria la metallizzazione.
TIPO DI INDAGINE	Determinazione microstrutturale, analisi chimica puntuale o areale degli elementi, distribuzione areale dei singoli elementi chimici.

## 59.5 SPETTROFOTOMETRIA ALL'INFRAROSSO

PRINCIPIO DI BASE	Correlazione fra lo spettro originato dall'assorbimento selettivo di radiazione infrarossa da parte degli elettroni di una sostanza e la sua identità chimica.
OGGETTO DELL'INDAGINE	Campione finemente macinato di pietra, malta, ceramica (pochi mg).
TIPO DI INDAGINE	Determinazione di tutte le sostanze in qualsiasi stato di aggregazione; adatto per leganti organici, pigmenti ecc.

## 60 INDAGINI TECNICO-DIAGNOSTICHE <sup>2</sup>

### 60.1 Premessa

Le superfici costituite sia da materiali naturali quali le pietre, sia rivestite da sistemi artificiali quali gli intonaci, subiscono una differente azione di degrado da parte dell'ambiente esterno, soprattutto relativamente alla natura chimico fisica del sistema.

La maggior parte delle volte il degrado interessa sia la superficie sia sezioni più o meno profonde del materiale preso in esame.

In generale i materiali più porosi sono interessati da un degrado più profondo, quelli compatti da un degrado più superficiale, quelli eterogenei da un degrado molto differenziato, ecc.

Per poter agire con il più appropriato intervento conservativo specifico per ogni problema di degrado bisogna prima individuare e conoscere come quel degrado agisce partendo dalla superficie fino alle diverse profondità del materiale. Parametri d'indagine significativi, indicanti la funzione del degrado in un determinato campione, sono riferibili alla porosità integrale, ai sali solubili presenti ecc. Infatti, le variazioni di porosità sono dei buoni indicatori dell'effetto fisico del degrado sulla microstruttura del materiale, mentre le azioni di tipo chimico sono riscontrabili dalla presenza dei prodotti solubili.

Durante la collaborazione fra il Laboratorio "La.Ma.Te.C.S." ed il "DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DEL TERRITORIO SEZIONE DI URBANISTICA" e il "DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CHIMICA E MATERIALI" dell'UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI FACOLTA' DI INGEGNERIA, per la stesura della tesi di laurea, con tema "L'INTERVENTO CONSERVATIVO NELL'EDILIZIA STORICA: INDAGINI PRELIMINARI PER LA CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI", a cura dell'Ing. Roberto Caboni, sono stati

prelevati alcuni campioni significativi di materiali litici delle facciate degli edifici del centro storico di Alghero. Nel lavoro sperimentale sono stati analizzati sei campioni, con l'obiettivo principale di verificare la validità della scelta delle metodologie analitiche impiegate: porosità, sali solubili e diffrazione dei raggi x (per il riconoscimento dei costituenti principali), tecniche capaci di fornire alcune indicazioni per un corretto progetto conservativo.

La ricerca sperimentale sopra menzionata ha fornito i dati per la stesura delle seguenti schede:

## SCHEDA N°1

CAMPIONE N° 1: arenaria

Vicolo Bertolotti (Mapp.180)



### APPREZZAMENTO VISIVO IN SITO

Esposizione della facciata: NORD-OVEST

Tipologia: campione compatto prelevato da concio d'arenaria particolarmente eroso

Morfologia del degrado: disgregazione e alveolizzazione

### ANALISI FISICA MINERALOGICA E CHIMICA

Natura del frammento: calcarenite con clasti di quarzo e calcite

Osservazioni granulometriche: Il campione presenta una granulometria grossolana

Prodotti di alterazione: presenza di sali solubili (solfati, cloruri, nitrati, in prevalenza alcalino terrosi) in misura di 4,54 mg/l

Porosità: porosità totale intorno al 24,92%, con pori aventi, per la maggior parte, raggio compreso tra 3,505 e 7,500  $\mu\text{m}$  e maggiore di 7,500  $\mu\text{m}$ .

## SCHEDA N°2

CAMPIONE N° 3: arenaria

Vicolo Bertolotti (Mapp.180)



### APPREZZAMENTO VISIVO IN SITO

Esposizione della facciata: NORD-OVEST

Tipologia: campione poco compatto di arenaria

Morfologia del degrado: disgregazione ed erosione elevate

### ANALISI FISICA MINERALOGICA E CHIMICA

Natura del frammento: calcarenite con elementi di quarzo, feldspati alcalini e plagioclasti, calcite

Osservazioni granulometriche: granulometria grossolana

Prodotti di alterazione: presenza di sali solubili (solfati, cloruri, nitrati, in prevalenza alcalino terrosi) in misura di 3,48 mg/l

Porosità: porosità totale intorno al 25,25%, con pori aventi, per la maggior parte, raggio compreso tra 3,505 e 7,500  $\mu\text{m}$  e maggiore di 7,500  $\mu\text{m}$ .

## SCHEDA N°3

CAMPIONE N° 4: Intonaco

Via Sant'Erasmus 6 (Mapp.187)



### APPREZZAMENTO VISIVO IN SITO

Esposizione della facciata: NORD-EST

Tipologia: campione compatto dello strato finale d'intonaco

Morfologia del degrado: disgregazione ed erosione modeste

### ANALISI FISICA MINERALOGICA E CHIMICA

Natura del legante: calce idrata

Natura dell'aggregato: presenza di quarzo, feldspati alcalini e plagioclasti, calcite

Osservazioni granulometriche: granulometria fine

Prodotti di alterazione: presenza di sali solubili (solfati, cloruri, nitrati, in prevalenza alcalino terrosi) in misura di 6,43 mg/l

Porosità: porosità totale intorno al 35,42%, con pori aventi, per la maggior parte, raggio compreso tra 0,170 e 1,641  $\mu\text{m}$ .

## SCHEDA N°4

CAMPIONE N° 5: Intonaco

Via Sant'Erasmus 6 (Mapp.187)



### APPREZZAMENTO VISIVO IN SITO

Esposizione: NORD-EST

Tipologia: campione d'arriccio di media compattezza

Morfologia del degrado: disgregazione ed erosione elevate

### ANALISI FISICA MINERALOGICA E CHIMICA

Natura del legante: calce idrata

Natura dell'aggregato: presenza di quarzo, feldspati alcalini e plagioclasti, calcite

Osservazioni granulometriche: sabbia, in parte di origine rachitica, a granulometria media

Prodotti di alterazione: presenza di sali solubili (solfati, cloruri, nitrati, in prevalenza alcalino terrosi) in misura di 8,54 mg/l

Porosità: porosità totale intorno al 30,02%, con pori aventi, per la maggior parte, raggio compreso tra 0,170 e 1,641  $\mu\text{m}$ .

## SCHEDA N°5

CAMPIONE N° 6: arenaria

Via Sant'Erasmus (Mapp.187)



### APPREZZAMENTO VISIVO IN SITO

Esposizione: NORD-EST

Tipologia: campione compatto di arenaria

Morfologia del degrado: disgregazione per risalita capillare d'umidità dal suolo

### ANALISI FISICA MINERALOGICA E CHIMICA

Natura del frammento: calcarenite con elementi di quarzo, feldspati alcalini e plagioclasti, calcite

Osservazioni granulometriche: granulometria moderatamente grossolana

Prodotti di alterazione: presenza di sali solubili (solfati, cloruri, nitrati, in prevalenza alcalino terrosi) in misura di 4,23 mg/l

Porosità: porosità totale intorno al 26,64%, con pori aventi, per la maggior parte, raggio compreso tra 3,505 e 7,500  $\mu\text{m}$  e, in minor quantità, con raggio maggiore di 7,500  $\mu\text{m}$ .

## SCHEDA N°6

CAMPIONE N° 7: Malta di allettamento

Via Sant'Erasmo (Mapp.187)



### APPREZZAMENTO VISIVO IN SITO

Esposizione: NORD-EST

Tipologia: campione friabile di malta di allettamento

Morfologia del degrado: disgregazione per risalita capillare d'umidità dal suolo

### ANALISI FISICA MINERALOGICA E CHIMICA

Natura del legante: calce idrata

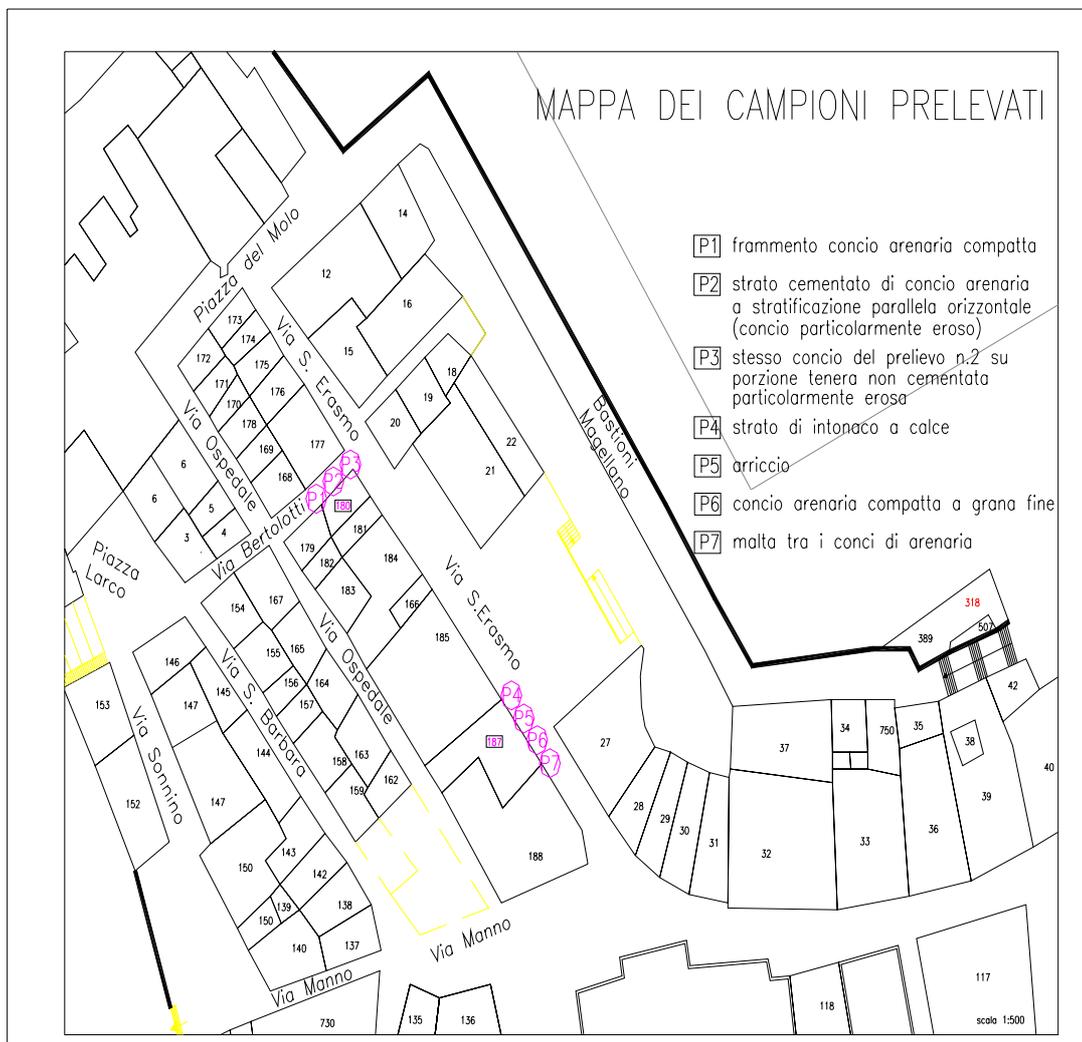
Natura dell'aggregato: presenza di quarzo, feldspati alcalini e plagioclasti, calcite

Osservazioni granulometriche: granulometria media

Prodotti di alterazione: presenza di sali solubili (solfati, cloruri, nitrati, in prevalenza alcalino terrosi) in misura di 5,28 mg/l

Porosità: porosità totale intorno al 27,88%, con pori aventi, per la maggior parte, raggio compreso tra 0,170 e 3,50500 µm

## SCHEDA N°7





## NOTE V

- <sup>1</sup> Bugini R., Folli L. – *Le rocce e il loro impiego in architettura* – 2003 “Lezioni di petrografia applicata”, dell’istituto per la conservazione e la valorizzazione dei beni culturali del C.N.R.
- <sup>2</sup> Caboni R. – *L’intervento conservativo nell’edilizia storica: indagini preliminari per la caratterizzazione dei materiali* – 2000/01 Dipartimento di Ingegneria Chimica e Materiali, Facoltà d’Ingegneria di Cagliari
- Micocci F., Pulcini G. – *Gli intonaci* – 1993 ed. La Nuova Italia Scientifica pp.15-23, pp.57-62, pp.85-98
  - Prato, Piano Del Colore – *Abaco del degrado dei materiali, intonaci, coloriture e tinteggiature* –
  - Motta, - *Nel Mondo della Natura* – “Enciclopedie di ScienzeNaturali” vol. IX e X, Mineralogia-Geologia-Paleontologia, ed. Motta F., IX: p.643; X: p.91, 392, 395, 396;
  - Frulio G. e Scalzo M – *Gli interventi di restauro conservativo sulla calcarinite di Alghero 1964/93* – 27/30 giugno 2000 in “La prova del tempo: verifiche degli interventi per la conservazione del costruito”, atti del convegno di studi Bressanone a cura di Biscontin G. e Driussi G., ed. Arcadia Ricerche s.r.l., pp.345-356
  - Coppola L. (ENCO s.r.l. Spresiano T.V.) e Collepardi M. (Università di Ancona) – *Il ruolo dell’umidità nel degrado dei materiali nelle murature* – ENCO s.r.l., V.Lazzaris 7, Spresiano T.V.

## BIBLIOGRAFIA

- Alterio A. – *Chimica e Mineralogia* – 1963 Torino ed. Petrini
- Amendola G., Sivo G. – *“L’AGORÀ” efficiente, l’impresa e la città creativa* – 1995 Roma ed. Clear
- Antonucci R. – *Restauro e recupero degli edifici a struttura muraria* – 2001 ed. Maggioli
- Barbera, Bocchietto, Gariazzo, Giachino, Zaninetti, - *Il recupero cromatico dell’antico Piazza di Biella* – 1994 in “Piano Colore”
- Belliato A., Corazzo A., Corallo F., Mantellino G., Mantegazza G., Martinetti G., Mazzon E., Vignola G., Zeffiretti F., - *Missione Colore* – marzo 2001 a cura di Univer Italia S.p.A. Cavallirio (No), diffusioni grafiche S.p.A.
- Biscontin G. – *Prodotti e tecniche per la conservazione delle superfici architettoniche* - novembre 1998 Sassari in “Restauro Architettura Centri Storici” a cura di Luciani R., tipogr. T.A.S.
- Botteghi C. – *Nuove prospettive nei prodotti protettivi per manufatti artistici in materiali lapidei* – novembre 1998 Sassari in “Restauro Architettura Centri Storici” a cura di Luciani R., tipogr. T.A.S.
- Brino G. – *Il piano del colore di Torino: il problema del controllo delle tinte* - ottobre 1984 in AA.VV., “Il colore nell’edilizia storica: riflessioni e ricerche sugli intonaci e le coloriture”, VI suppl. del Bollettino d’Arte, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato
- Brundu B. – *I caratteri climatici* – dicembre 1996 Roma in AA.VV., “Alghero e il suo volto” a cura di Carlo Delfino editore
- Bruno A. – *Materiali da costruzione speciali* – 1984 ed. Medicee
- Bugini R., Folli L. – *Le rocce e il loro impiego in architettura* – 2003 “Lezioni di petrografia applicata”, dell’istituto per la conservazione e la valorizzazione dei beni culturali del C.N.R.

- Caboni R. – *L'intervento conservativo nell'edilizia storica: indagini preliminari per la caratterizzazione dei materiali* – 2000/01 Dipartimento di Ingegneria Chimica e Materiali, Facoltà d'Ingegneria di Cagliari
  
- Caneva G., Ricci S., Bellinzoni A.M., Distefano D. – *“L'annerimento” dei muraglioni di lungotevere: inquinamento chimico o colonizzazione biologica?* – marzo 2001 in “Biologi Italiani” U.S.P.I. Unione Stampa Periodica Italiana
  
- Carlini A. – *L'Alguer medieval a través de l'anàlisi estratigràfica dels edificis* – 1997/98 in “L'ALGUER”, periodico di cultura e informazione ed.Del Sol
  
- Carlini A., Iuzzolino C E Lombardo V – *Iglésia del Rosari, arqueologia de un monument* – n°77 lug/ago 2001 in “L'ALGUER”, periodico di cultura e informazione ed.Del Sol
  
- Castellaccio A. – *Le fortificazioni e le strutture difensive di Alghero XIV e XV secolo* - in AA. VV. “Alghero, la Catalogna, il Mediterraneo” di Mattone A., 1985 ed. Gallizzi
  
- Collepari M. (Università di Ancona) e Coppola L. (ENCO s.r.l. Spresiano T.V.) - *Influenza delle fibre polimeriche sulla durabilità di intonaci a base calce* – 8/1992 in “L'EDILIZIA”
  
- Collepari M. (Università di Ancona) – *Il degrado chimico causato dal restauro delle murature degli edifici storici* – 11/1989 in “L'Edilizia e L'Industrializzazione”
  
- Coppola L. (ENCO s.r.l. Spresiano T.V.) e Collepari M. (Università di Ancona) – *Il ruolo dell'umidità nel degrado dei materiali nelle murature* – ENCO s.r.l., V.Lazzaris 7, Spresiano T.V.
  
- Coppola L. (ENCO s.r.l. Spresiano T.V.) – *Umidità nelle costruzioni: diagnosi e rimedi* – 4/1996 in “Presenza Tecnica”
  
- Cordaro M., Meucci C., Tabasso M., - *Un metodo di riconoscimento della colorazione originaria di intonaci antichi* – ottobre 1984 in AA.VV., “Il colore nell'edilizia storica: riflessioni e ricerche sugli intonaci e le coloriture”, VI suppl. del Bollettino d'Arte, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato
  
- Deriu L., Barbieri R. – *Alghero e dintorni itinerari tra storia e natura* – 1998 ed. Del Sole

- Frulio G. – *Alghero: segni della cultura materiale, tecniche costruttive medievali* – 2001/02 in “Almanacco Gallurese” ed. G.Gelsomino
  
- Frulio G. e Scalzo M – *Gli interventi di restauro conservativo sulla calcarinite di Alghero 1964/93* – 27/30 giugno 2000 in “La prova del tempo: verifiche degli interventi per la conservazione del costruito”, atti del convegno di studi Bressanone a cura di Biscontin G. e Driussi G., ed. Arcadia Ricerche s.r.l.
  
- Frulio G. – *La manutenzione della “Scala Urbana”*: alcuni esempi nella Sardegna settentrionale - 29 giugno/2 luglio 1999 in “Ripensare alla Manutenzione”, atti del convegno di studi Bressanone a cura di Biscontin G. e Driussi. G., ed. Arcadia Ricerche s.r.l.
  
- Galentino G. B. – *La coloritura delle facciate a Roma* - ottobre 1984 in AA.VV., “Il colore nell’edilizia storica: riflessioni e ricerche sugli intonaci e le coloriture”, VI suppl. del Bollettino d’Arte, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato
  
- Ghilardi P. – *Il recupero cromatico dei vecchi borghi della città di Bergamo* – in “PIANO COLORE”
  
- Gizzi S. – *Arquitectura i restauracio’ als paisos de la Corona d’Arago’* – n°2 gen/feb 2004 in “L’ALGUER”, periodico di cultura e informazione ed.Del Sol
  
- I minerali – L’azzurrite – [www.Sardegna/miniere](http://www.Sardegna/miniere).
  
- Iuzzolino C e Lombardo V – *El massacà la pedra de l’Alguer* – n°78 set/ott 2001 in “L’ALGUER”, periodico di cultura e informazione ed.Del Sol
  
- Kadluczka A., Cristinelli G. – Mihàlyzàdor (comitato di redazione) – *LA CARTA CRACOVIA 2000* -
  
- La Bottega Del Restauro, zona industriale Le Badesse-V. A. Moro N°1 Monteriggioni, Siena – *I materiali per il restauro conservativo e la casa bio-compatibile* –
  
- Lafarge Coatings Italia S.p.A Divisione Cepro – *Linea 500, le calci , le malte gli intonaci, i colori* – Bergamo
  
- Malatesta A. – *Risultati del rilevamento del foglio 192 “Alghero Isola di Sardegna”* – 1953 in “Note di Stratigrafia Quaternaria” estratto dal bollettino del Servizio Geologico D’Italia vol.LXXV

- Micocci F., Pulcini G. – *Gli intonaci* – 1993 ed. La Nuova Italia Scientifica
- Milanese M. – Alghero, archeologia urbana – 2000/01 Sassari in “*Almanacco Gallurese*” ed. Gelsomino
- Montagnani C. – *Materiali per il restauro* – 2000 Unione Tipografico-Editrice Torinese U.T.E.T.
- Mora P. e L. – *Le superfici architettoniche materiale e colore* - ottobre 1984 in AA.VV., “Il colore nell’edilizia storica: riflessioni e ricerche sugli intonaci e le coloriture”, VI suppl. del Bollettino d’Arte, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato
- Motta, - *Nel Mondo della Natura* – “Enciclopedia di Scienze Naturali” vol. IX e X, Mineralogia-Geologia-Paleontologia, ed. Motta F.
- Oliva G., Paba G. – *La struttura urbana di Alghero nel XVI e XVII secolo* -, in AA. VV. “Alghero, la Catalogna, il Mediterraneo” di Mattone A., 1985 ed. Gallizzi; e in “atti dell’Istituto di Ricerca Territoriale e Urbana”, 1986/87 Firenze
- Pinto G. – *I colori della città, un esperimento per Andria*. – 2001 pubblicazione promossa dall’Associazione Città & Territorio, ricerche e studi finanziati da OIKOS
- Prato, Piano Del Colore – *Abaco del degrado dei materiali, intonaci, coloriture e tinteggiature* –
- Quaderni di “Attiva” – *Sistemi per facciate: fibrato ai silicati di potassio e fibrati ai silossani*-
- Quarneri G. – *Sulle calce, gli intonaci, e i tinteggi* - Lafarge Coatings Italia S.p.A Divisione Cepro
- Rattu S. – *Bastioni e Torri di Alghero; Sardegna* – 1984 Alghero ed. e designer Franco Maria Ricci
- Rosignoli R., Santopuoli N. – *Sistemi di coloritura moderni: caratteristiche, requisiti e compatibilità con i diversi supporti* – mag-2001 in “DOSSIER: idee, strumenti e materiali per il progetto”, ed. Maggioli
- Salvietti M. – *Alghero, le fortificazioni medievali* – 1990 Alghero ed. Del Sole

- Sari A. – *Alghero: urbanistica ed architettura dalle origini all'età moderna* – 1999/2000 Sassari in “Almanacco Gallurese” ed. G. Gelsomino
- Sassu M. – *Alghero: casa tardo gotica* – 2000 Alghero in “Relazione storico-architettonica, risanamento e recupero del fabbricato sito in piazza civica n°5”, isolato 11 catasto foglio 97, particelle n°35-36-37
- Satta M. M. – *Le colture costruttive: abitazioni e ceti sociali nel centro storico di Alghero* – anno I dic. 1996 Sassari in “Santu Antine” tipogr. T.A.S.
- S.I.O.F. S.p.A. Società Italiana Ossidi Ferro, Pozzolo Formigaro (Al) – *Pigmenti* -
- Supplementi al Dizionario di Chimica e Chimica Industriale – I pigmenti nella pittura-  
[www.minerva.unito.it](http://www.minerva.unito.it).
- T.C.S. S.r.l., via Sigalina a Mattina, 8/C-25018 Montichiari (Bs) – *La calce, tradizione e innovazione* –