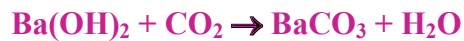


### *Idrossido di bario*

Un materiale lapideo carbonatico alterato può essere in parte risarcito mediante **consolidamento con idrossido di bario**. Dall'interazione tra idrossido di bario e anidride carbonica si ottiene carbonato di bario:



Traduzione:

$\text{Ba(OH)}_2$  = Idrossido di bario

$\text{BaCO}_3$  = Carbonato di bario

L'applicazione della soluzione di idrossido di bario sulla parte di roccia decoesa dà luogo, alla precipitazione di un carbonato misto formato da un insieme di cristalli di carbonato di calcio, saldati assieme dal carbonato di bario.

### *Carbonato di ammonio*

Il carbonato di calcio solfatato è trattabile con **carbonato di ammonio** che reagendo con il gesso dà luogo ad un precipitato di carbonato di calcio amorfo (consolidante) e solfato di ammonio che viene asportato dalla soluzione in quanto solubile in acqua:



Traduzione:

$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  = Carbonato di ammonio

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  = Gesso

$\text{CaCO}_3$  = Carbonato di calcio amorfo

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  = Solfato di ammonio

**N.B.** = Il **precipitato carbonatico consolidante non costituisce un risarcimento della calcite** aggredita da acido solforico, poiché essendo amorfo (cioè non cristallino) **ha caratteristiche diverse dal materiale originario**. Il trattamento con carbonato di ammonio non è quindi un modo di invertire la **solfatazione della calcite**, che è il risultato di una **reazione chimica irreversibile**.

**Silicato di etile**

Il silicato di etile è un **consolidante** particolarmente **indicato al trattamento di tutti i materiali lapidei silicatici**: rocce vulcaniche, arenarie, metamorfiche di origine vulcanica, laterizi. L'effetto consolidante si basa proprio sulla **formazione di silice** (composizione chimica del quarzo) tra gli interstizi dei cristalli decoesi di materiale silicatico. La reazione viene innescata dalla presenza di acqua e opportuni catalizzatori di reazioni già presenti nel prodotto.



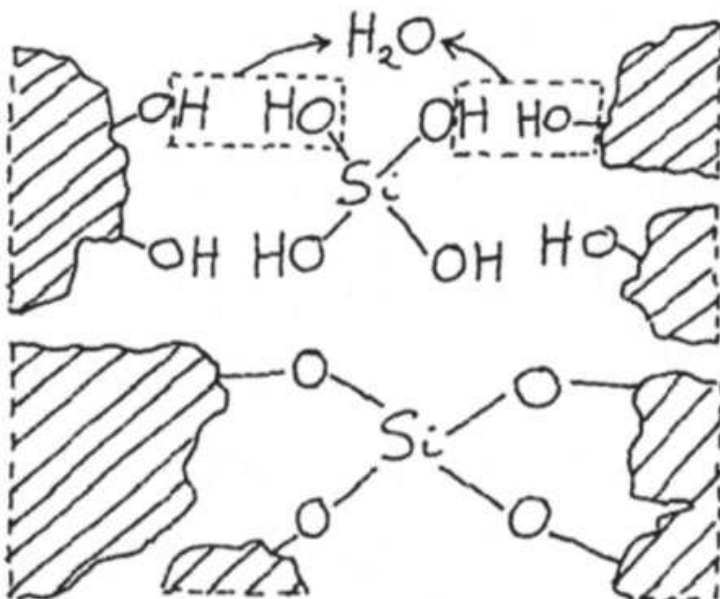
Traduzione:

$\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$  = Silicato di etile

$\text{Si}(\text{OH})_4$  = Tetraidrossido di silicio, prodotto intermedio di reazione

$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  = Etanolo, prodotto secondario di reazione

$\text{SiO}_2$  = Silice

**Meccanismo della reazione consolidante**

Il prodotto intermedio di reazione  $\text{Si}(\text{OH})_4$ , si lega ai gruppi ossidrilici OH adsorbiti dall'acqua sulla superficie dei cristalli silicatici del materiale da consolidare. Avviene una reazione cosiddetta di condensazione: viene eliminata una molecola di acqua, formata da un gruppo OH e uno ione  $\text{H}^+$  che si stacca dalla molecola  $\text{Si}(\text{OH})_4$ , come indicato nel disegno. L'ossigeno a cui viene strappato lo ione  $\text{H}^+$  si carica negativamente stabilendo così un legame con il silicio contenuto nei minerali da consolidare.

### *Resine acriliche*

Le resine acriliche sono polimeri termoplastici. Sono solubili in opportuni solventi organici, hanno buona resistenza all'invecchiamento, agli agenti chimici e alla luce. Hanno inoltre un buon potere adesivo ma, essendo polimeri termoplastici, **non possono essere utilizzati per un consolidamento strutturale**. Tra le resine acriliche più utilizzate figura il **Paraloid B72**, un copolimero costituito da etilmetacrilato e metilacrilato.

### *Resine epossidiche*

Le resine epossidiche sono polimeri termoindurenti. Hanno ottima resistenza a compressione, a trazione e a flessione, elevato potere adesivo e buona resistenza all'acqua e ai solventi organici: sono pertanto **utilizzate in qualità di adesivi strutturali**.

### *Trattamenti desalinizzanti*

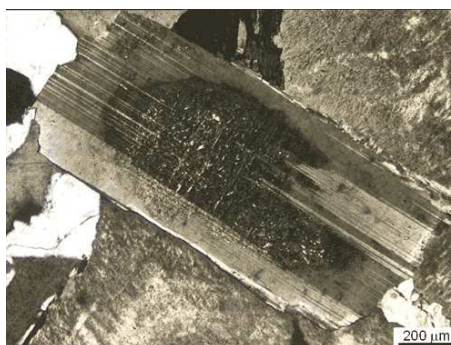
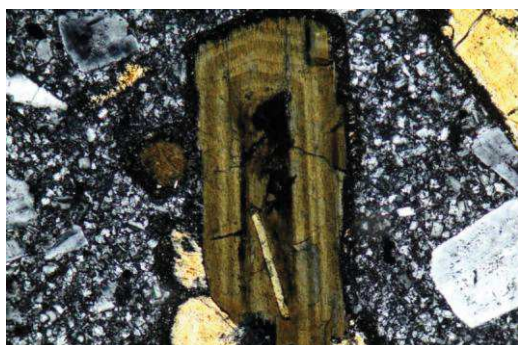
Nel caso di massiccia e dannosa **presenza di sali**, previo **preconsolidamento** delle superfici mediante nebulizzazione di miscele di **opportuno consolidante**, è necessario effettuare un **trattamento desalinizzante** che consiste in un **impacco con impasto di sepiolite e fibre di cellulosa** applicato sulle superfici bagnate con acqua deionizzata. L'impacco assorbe l'acqua e i sali disciolti in essa e si stacca una volta asciutto. Si procede con l'applicazione a pennello di una **soluzione stabilizzante** di eventuali residui salini: si tratta di soluzioni che reagendo con uno scambio ionico trasformano i sali da solubili a insolubili, pertanto non più dannosi per la muratura e l'intonaco. Dopo la rimozione dei sali, se le superfici presentano una forte disgregazione, si procede con il **consolidamento**.

### *Trattamenti del degrado biologico*

## Degrado dei graniti

I grandi cristalli del granito subiscono **dilatazione termica differenziale**. I cristalli di quarzo infatti sono in grado di dilatarsi quattro volte tanto i cristalli di tutti gli altri minerali alluminosilicatici presenti nel granito. Questo fenomeno provoca una **forte pressione sulle superfici di contatto tra un cristallo e l'altro**. La ciclicità di fenomeni di espansione/contrazione dei cristalli determina un forte stress meccanico che porta all'**espulsione dei cristalli più sollecitati**. I **minerali alluminosilicatici** contenuti nei graniti sono suscettibili di argillificazione in presenza di **soluzioni acide**. I **minerali argillosi di neoformazione** dapprima **si rigonfiano** a contatto con acqua provocando una forte **sollecitazione meccanica** all'interno del granito il cui esito finale è la produzione di **scagliature ed esfoliazioni**. Successivamente la componente argillosa può essere dilavata con **perdita totale del materiale originario**.

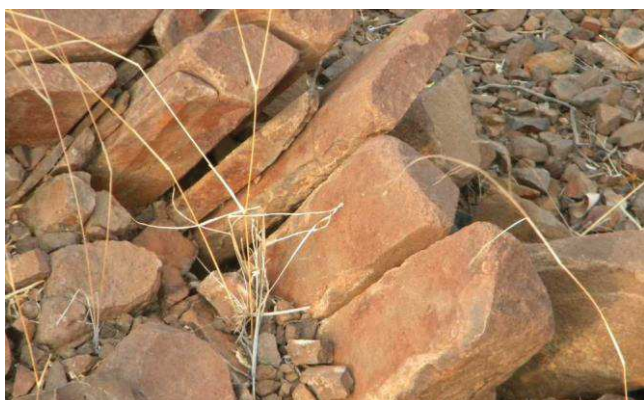
| GRANITO                  | Meccanismo   | Degrado   | Diagnostica   | Intervento  |
|--------------------------|--|---|---|---|
| <b>Degrado Fisico</b>    | Dilatazione termica                                | Degrado differenziale   | Analisi petrografica su sezione sottile                               | Consolidamento con Silicato di etile, resine acriliche, resine epossidiche (se necessario)                                    |
| <b>Degrado Chimico</b>   | Argillificazione                                   | Esfoliazione, Mancanza, Scagliatura   | Analisi petrografica su sezione sottile, DTA/TG                       | Consolidamento con Silicato di etile, resine acriliche, resine epossidiche (se necessario)                                    |
| <b>Degrado Biologico</b> | Attacco acido ( con conseguente argillificazione ) | Esfoliazione, Mancanza, Scagliatura, Patina biologica, Colonizzazione biologica | Spettroscopia UV/VIS, Analisi petrografica su sezione sottile, DTA/TG | Trattamento del degrado biologico, Consolidamento con Silicato di etile, resine acriliche, resine epossidiche (se necessario) |



Due immagini al microscopio ottico petrografico in luce trasmessa polarizzata. A sinistra: cristallo di plagioclasio non alterato. A destra: cristallo di plagioclasio argillificato

## Degrado dei basalti

I minerali contenenti ferro (**pirosseni e olivine**), presenti nel basalto, che si trovano in superficie possono ossidarsi andando a formare **ossidi di ferro** di neoformazione (**ematite**) di colore rossastro. L'ematite non è un composto nocivo dal punto di vista della conservazione del basalto, tuttavia porta ad una forte **alterazione cromatica** delle superfici, su cui è **impossibile intervenire**, essendo una componente naturale del materiale. Tale alterazione può interessare l'intera superficie o presentarsi sottoforma di macchie, che possono essere scambiate a tracce di colonizzazione biologica.



**A sinistra:**  
basalto con  
superfici  
completamente  
ossidate.

**A destra:**  
frammento di  
basalto con  
formazione di  
macchie  
ematitiche  
localizzate.

| BASALTO                  | Meccanismo   | Degrado   | Diagnostica   | Intervento  |
|--------------------------|--|---|---|---|
| <b>Degrado Chimico</b>   | Argillificazione   | Disgregazione,<br>Esfoliazione,<br>Scagliatura  | Analisi petrografica<br>su sezione sottile,<br>DTA/TG                             | Consolidamento con<br>Silicato di etile,<br>resine acriliche,<br>resine epossidiche   |
| <b>Degrado Biologico</b> | Attacco acido ( con<br>conseguente<br>argillificazione ) | Disgregazione,<br>Esfoliazione,<br>Scagliatura,<br>Patina biologica,<br>Colonizzazione<br>biologica | Spettroscopia<br>UV/VIS,<br>Analisi petrografica<br>su sezione sottile,<br>DTA/TG | Trattamento del<br>degrado biologico,<br>Consolidamento con<br>Silicato di etile resine<br>acriliche,<br>resine epossidiche |

## Degrado dei tufi

Il tufo, tra tutte le rocce vulcaniche è la più porosa. La sua **porosità** favorisce fenomeni di risalita capillare di acqua e/o di imbibizione, con conseguenti cicli di **gelo/disgelo** che portano a **disgregazione e cristallizzazione dei sali solubili con efflorescenze e subflorescenze**. Come tutte le rocce vulcaniche può subire reazioni di **argillificazione** in presenza di soluzioni acide.

| TUFO                     | Meccanismo   | Degrado   | Diagnostica   | Intervento   |
|--------------------------|--|---|---|--|
| <b>Degrado Fisico</b>    | Cristallizzazione                                  | Disgregazione, Efflorescenze/Subflorescenze               | Analisi petrografica su sezione sottile, Porosimetria, XRF, Misura di conduttività + HPLC | Trattamento desalinizzante, Consolidamento con Silicato di etile, resine acriliche, resine epossidiche       |
|                          | Gelività   | Disgregazione   | Analisi petrografica su sezione sottile, Porosimetria                                     | Consolidamento con Silicato di etile, resine acriliche, resine epossidiche                                   |
| <b>Degrado Chimico</b>   | Argillificazione                                   | Disgregazione   | Analisi petrografica su sezione sottile, DTA/TG   | Consolidamento con Silicato di etile resine acriliche, resine epossidiche                                    |
| <b>Degrado Biologico</b> | Attacco acido ( con conseguente argillificazione ) | Disgregazione, Patina biologica, Colonizzazione biologica | Spettroscopia UV/VIS, Analisi petrografica su sezione sottile, DTA/TG                     | Trattamento del degrado biologico, Consolidamento con Silicato di etile resine acriliche, resine epossidiche |

## Degrado delle arenarie

Le arenarie, tra tutte le rocce sedimentarie sono le più porose. La loro **porosità** favorisce fenomeni di risalita capillare di acqua e/o di imbibizione con conseguenti **cicli di gelo/disgelo** che si manifestano con forme di degrado quali l'**alveolizzazione**, l'**esfoliazione**, la **disgregazione**, e **crystallizzazione dei sali solubili** che hanno gli **stessi effetti** con l'aggiunta di comparsa di **efflorescenze** superficiali e/o **subflorescenze**. Se all'azione dei sali si combina anche quella del **vento** si innescano meccanismi di **erosione alveolare**, tali condizioni si verificano soprattutto in **zone costiere**. In genere la presenza di porzioni più solidamente cementate e resistenti nel blocco roccioso fa sì che l'asportazione di materiale sabbioso avvenga preferenzialmente in alcune zone più fragili, favorendo la formazione degli alveoli, ma laddove il blocco di arenaria si fosse formato per stratificazioni sovrapposte di materiale sabbioso, il degrado più probabile è quello dell'esfoliazione. Un blocco di arenaria molto omogeneo, senza stratificazioni di degrada per disgregazione. Le **arenarie a cemento carbonatico** e le **biocalcareniti** possono subire reazioni di **carbonatazione**, **solforazione** o **nitrificazione** in presenza di acidi, sia di origine antropica che biologica. Oltretutto possono subire reazioni di chelazione di ioni calcio e complesso lisi della calcite ad opera di composti chelanti prodotti da microorganismi e/o licheni, con possibile formazione di **patine ad ossalati**. Le **patine ad ossalati** sono insolubili in acqua e in molti acidi. La loro resistenza e tenacia le rendono **protettive nei confronti del substrato** su cui si formano. D'altronde la loro rimozione totale è molto traumatica, in quanto possibile solo con trattamenti molto aggressivi quali sabbiature o attacco con acido concentrato. Pertanto il più delle volte si decide di **lasciarle non ostante il danno estetico** dovuto alla forte alterazione cromatica delle superfici



A sinistra: biocalcarenite alveolizzata.

A destra: esfoliazione dell'arenaria.

## Degrado delle arenarie

| ARENARIE   | Meccanismo   | Degrado   | Diagnostica   | Intervento   |
|--|--|---|---|--|
| <b>Degrado Fisico</b>  | Cristallizzazione  | Alveolizzazione,<br>Erosione Alveolare,<br>Disgregazione,<br>Efflorescenze/Subflorescenze | Analisi petrografica su sezione sottile, Porosimetria, XRF, Misura di conduttività + HPLC                               | Trattamento desalinizzante, Consolidamento con Idrossido di Bario, resine acriliche, resine epossidiche  |
|  | Gelività   | Alveolizzazione,<br>Erosione Alveolare,<br>Disgregazione                                  | Analisi petrografica su sezione sottile, Porosimetria   | Consolidamento con Idrossido di Bario, resine acriliche, resine epossidiche  |
| <b>Degrado Chimico (Arenarie a cemento carbonatico e biocalcareni)</b>   | Carbonatazione   | Deposito superficiale, Dilavamento, Disgregazione   | Analisi petrografica su sezione sottile, Analisi stratigrafica su sezione lucida, XRD                                   | Consolidamento con Idrossido di Bario, resine acriliche, resine epossidiche  |
|  | Solfatazione   | Croste nere, Dilavamento, Disgregazione   | Analisi petrografica su sezione sottile, Analisi stratigrafica su sezione lucida, XRD, FT-IR, XRF                       | Trattamento desolfatante con Carbonato di ammonio, Consolidamento con Idrossido di Bario, resine acriliche, resine epossidiche   |
| <b>Degrado Biologico (Arenarie a cemento carbonatico e biocalcareni)</b> | Attacco acido ( con conseguente carbonatazione/ solfatazione/ nitrificazione ) | Croste nere, Dilavamento, Disgregazione, Patina biologica, Colonizzazione biologica       | Spettroscopia UV/VIS, Analisi petrografica su sezione sottile, Analisi stratigrafica su sezione lucida, XRD, FT-IR, XRF | Trattamento del degrado biologico, Trattamento desolfatante con Carbonato di ammonio (in caso di solfatazione), Consolidamento con Idrossido di Bario, resine acriliche, resine epossidiche. (Per la chelazione basta il solo trattamento biologico) |
|  | Chelazione   | Patina ad ossalati, Patina biologica  |   |  |



## Degrado delle breccie

Le breccie derivano dall'accumulazione e cementazione di detriti di altre rocce. La loro **composizione è quanto mai eterogenea** anche per quanto riguarda il cemento, che può essere di natura argillosa, calcarea o silicatica. Tale disomogeneità rende le breccie tipicamente soggette a forme di **degrado differenziale**. Nelle breccie ad esempio possono verificarsi fenomeni di **dilatazione termica differenziale** tra clasti e cemento. Essa è tanto più pronunciata quanto più è diversa la composizione chimico-mineralogica degli elementi litici della breccia. Questo fenomeno provoca una **forte pressione sulle superfici di contatto tra clasti e cemento**. La ciclicità di fenomeni di dilatazione termica determina un forte stress meccanico che porta alla **fessurazione** e/o al **distacco** di singoli clasti. Le breccie a clasti e/o cemento particolarmente **porosi** possono presentare forme di degrado (**fessurazioni, distacchi dei clasti, disgregazione del cemento, efflorescenze e/o subflorescenze saline**) dovute a fenomeni di gelività e/o cristallizzazione. Le **breccie a cemento carbonatico** e/o con **clasti di natura carbonatica** possono subire reazioni di **carbonatazione, solfatazione o nitrificazione** in presenza di acidi, sia di origine antropica che biologica. Oltretutto possono subire reazioni di chelazione di ioni calcio e complesso lisi della calcite ad opera di composti chelanti prodotti da microorganismi e/o licheni, con possibile formazione di **patine ad ossalati**.



**Fessurazioni in una breccia dovute all'azione di cicli di dilatazione/contrazione termica differenziale tra clasti e cemento.**

## Degrado delle breccie

| BRECCE  | Meccanismo   | Degrado  | Diagnostica   | Intervento   |
|---|--|--|---|--|
| <b>Degrado Fisico</b>   | Cristallizzazione ( breccie a clasti e/o cemento particolarmente porosi )      | Fessurazione, Mancanza clasti, Disgregazione cemento, Degrado differenziale, Efflorescenze/Subflorescenze  | Analisi petrografica su sezione sottile, Porosimetria, XRF, Misura di conduttività + HPLC         | Trattamento desalinizzante, Consolidamento con consolidante compatibile  |
|   | Gelività   | Fessurazione, Mancanza clasti, Disgregazione cemento, Degrado differenziale                                | Analisi petrografica su sezione sottile, Porosimetria   | Consolidamento con consolidante compatibile  |
|   | Dilatazione termica  | Fessurazione, Degrado differenziale, Mancanza clasti.  |   | Consolidamento con consolidante compatibile  |
| <b>Degrado Chimico ( Breccie a cemento carbonatico e/o con clasti di natura carbonatica )</b>   | Carbonatazione   | Deposito superficiale, Dilavamento, Disgregazione, Degrado differenziale                                   | Analisi petrografica su sezione sottile, Analisi stratigrafica su sezione lucida, XRD             | Consolidamento con Idrossido di Bario, resine acriliche, resine epossidiche  |
|   | Solfatazione   | Croste nere, Dilavamento, Disgregazione, Degrado differenziale,  | Analisi petrografica su sezione sottile, Analisi stratigrafica su sezione lucida, XRD, FT-IR, XRF | Trattamento desolfatante con Carbonato di ammonio, Consolidamento con Idrossido di Bario, resine acriliche, resine epossidiche |
| <b>Degrado Biologico ( Breccie a cemento carbonatico e/o con clasti di natura carbonatica )</b> | Attacco acido ( con conseguente carbonatazione/ solfatazione/ nitrificazione ) | Croste nere, Dilavamento, Disgregazione, Degrado differenziale, Patina biologica, Colonizzazione biologica |   |  |
|   | Chelazione   | Patina ad ossalati, Degrado differenziale, Patina biologica  |   |  |

## Degrado dei calcari

I calcari essendo rocce a **composizione interamente carbonatica** possono subire reazioni di **carbonatazione, solfatazione o nitrificazione** in presenza di acidi, sia di origine antropica che biologica. Oltretutto possono subire reazioni di chelazione di ioni calcio e complesso lisi della calcite ad opera di composti chelanti prodotti da microorganismi e/o licheni, con possibile formazione di **patine ad ossalati**. I calcari particolarmente **porosi** possono presentare forme di degrado (**pitting, erosione, disgregazione, efflorescenze e/o subflorescenze saline**) dovute a fenomeni di gelività e/o cristallizzazione.



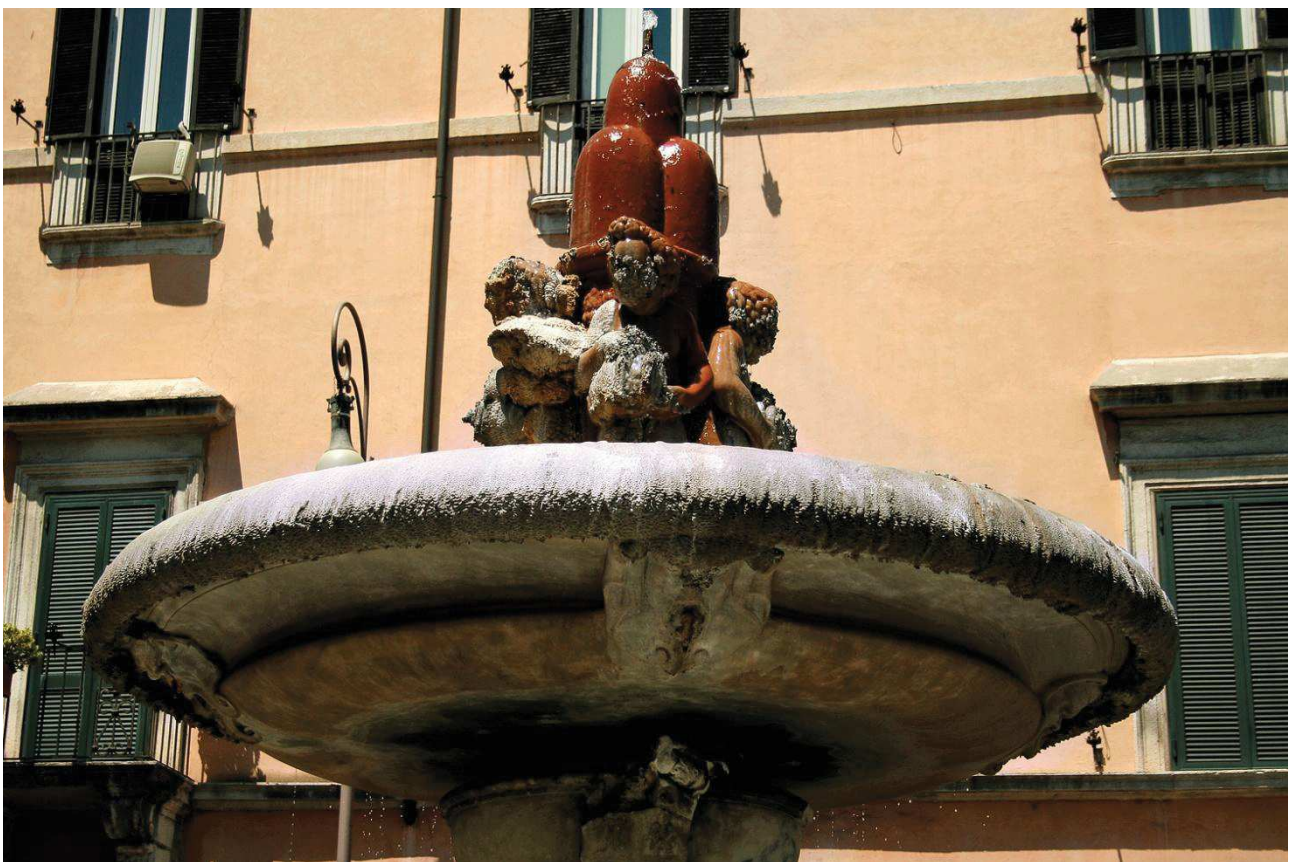
Pitting su calcare prodotto dalle ife di licheni. Si notino anche le impronte ( probabili patine ad ossalati ) dei talli di licheni ormai staccati dal substrato.

## Degrado dei calcari

| CALCARI                  | Meccanismo   | Degrado   | Diagnostica   | Intervento   |
|--------------------------|--|---|---|--|
| <b>Degrado Fisico</b>    | Cristallizzazione<br>(Calcari particolarmente porosi )                         | Pitting,<br>Erosione,<br>Disgregazione,<br>Efflorescenze/Subflorescenze                         | Analisi petrografica su sezione sottile, Porosimetria, XRF, Misura di conduttività + HPLC                               | Trattamento desalinizzante, Consolidamento con Idrossido di Bario, resine acriliche, resine epossidiche  |
|                          | Gelività   | Fessurazione,<br>Scagliatura,<br>Esfoliazione,<br>Disgregazione                                 | Analisi petrografica su sezione sottile, Porosimetria   | Consolidamento con Idrossido di Bario, resine acriliche, resine epossidiche  |
| <b>Degrado Chimico</b>   | Carbonatazione   | Deposito superficiale,<br>Dilavamento,<br>Disgregazione   | Analisi petrografica su sezione sottile, Analisi stratigrafica su sezione lucida, XRD                                   | Consolidamento con Idrossido di Bario, resine acriliche, resine epossidiche  |
|                          | Solfatazione   | Croste nere,<br>Dilavamento,<br>Disgregazione,  | Analisi petrografica su sezione sottile, Analisi stratigrafica su sezione lucida, XRD, FT-IR, XRF                       | Trattamento desolfatante con Carbonato di ammonio, Consolidamento con Idrossido di Bario, resine acriliche, resine epossidiche   |
| <b>Degrado Biologico</b> | Attacco acido ( con conseguente carbonatazione/ solfatazione/ nitrificazione ) | Croste nere,<br>Dilavamento,<br>Disgregazione,<br>Patina biologica,<br>Colonizzazione biologica | Spettroscopia UV/VIS, Analisi petrografica su sezione sottile, Analisi stratigrafica su sezione lucida, XRD, FT-IR, XRF | Trattamento del degrado biologico, Trattamento desolfatante con Carbonato di ammonio (in caso di solfatazione), Consolidamento con Idrossido di Bario, resine acriliche, resine epossidiche. (Per la chelazione basta il solo trattamento biologico) |
|                          | Chelazione   | Patina ad ossalati,<br>Patina biologica   |   |  |

## Degrado dei travertini

I travertini essendo rocce a **composizione interamente carbonatica** possono subire reazioni di **carbonatazione**, **solforazione** o **nitrificazione** in presenza di acidi, sia di origine antropica che biologica. Oltretutto possono subire reazioni di chelazione di ioni calcio e complesso lisi della calcite ad opera di composti chelanti prodotti da microorganismi e/o licheni, con possibile formazione di **patine ad ossalati**. La porosità dei travertini è in genere troppo larga e aperta per favorire fenomeni di gelività e/o cristallizzazione.



Depositi calcarei da carbonatazione del travertino sul bordo della fontana in piazza dell'Ara Coeli, Roma.

## Degrado dei travertini

| TRAVERTINI               | Meccanismo   | Degrado  | Diagnostica   | Intervento  |
|--------------------------|--|--|---|---|
| <b>Degrado Chimico</b>   | Carbonatazione   | Deposito superficiale,<br>Dilavamento,<br>Disgregazione  | Analisi<br>petrografica su<br>sezione sottile,<br>Analisi<br>stratigrafica su<br>sezione lucida,<br>XRD   | Consolidamento<br>con Idrossido di<br>Bario,<br>resine acriliche,<br>resine epossidiche   |
|                          | Solfatazione   | Croste nere,<br>Dilavamento,<br>Disgregazione  | Analisi<br>petrografica su<br>sezione sottile,<br>Analisi<br>stratigrafica su<br>sezione lucida,<br>XRD, FT-IR, XRF                             | Trattamento<br>desolfatante con<br>Carbonato di<br>ammonio,<br>Consolidamento<br>con Idrossido di<br>Bario,<br>resine acriliche,<br>resine epossidiche  |
| <b>Degrado Biologico</b> | Attacco acido ( con<br>conseguente<br>carbonatazione/<br>solfatazione/<br>nitrificazione ) | Croste nere,<br>Dilavamento,<br>Disgregazione,<br>Patina<br>biologica,<br>Colonizzazione biologica | Spettroscopia<br>UV/VIS,<br>Analisi<br>petrografica<br>su sezione sottile,<br>Analisi<br>stratigrafica su<br>sezione lucida,<br>XRD, FT-IR, XRF | Trattamento del<br>degrado biologico,<br>Trattamento<br>desolfatante con<br>Carbonato di<br>ammonio (in caso<br>di solfatazione),<br>Consolidamento<br>con Idrossido di<br>Bario,<br>resine acriliche,<br>resine epossidiche.<br>(Per la chelazione<br>basta il solo<br>trattamento<br>biologico) |
|                          | Chelazione   | Patina ad ossalati,<br>Patina<br>biologica   |   |   |

## Degrado delle rocce metamorfiche

Le rocce metamorfiche subiscono un **processo di trasformazione** dovuto a grandi variazioni di **temperatura e/o pressione**. Durante il processo metamorfico i **crystalli** riorganizzano in modo differente atomi, molecole e reticoli cristallini: **varia solo la morfologia e non la composizione chimica**. In genere questa riorganizzazione **riduce di molto la porosità**, è pertanto raro osservare in litotipi metamorfici fenomeni di **cristallizzazione e/o gelività per occlusione dei pori**. Tuttavia se il litotipo originario è molto poroso la porosità può permanere anche dopo il metamorfismo, come accade ad esempio per i **peperini**. Fenomeni di **scagliatura per gelività** sono invece riscontrabili in molte varietà di **marmi venati** che, dopo aver subito un **degrado differenziale** che ha portato alla perdita dei minerali in vena, possono trattenere acqua nelle venature ormai svuotate. I marmi venati come ad esempio il cipollino sono esposti anche a fenomeni di **dilatazione termica differenziale**. Per quanto riguarda i meccanismi di **degrado chimico e biologico**, essendo il **chimismo della roccia metamorfica analogo a quello della roccia progenitrice**, le dinamiche del degrado permangono. Pertanto ad esempio la carbonatazione è una reazione a cui è esposto tanto il marmo ( roccia metamorfica ) quanto il calcare ( roccia progenitrice ). Chiaramente il processo metamorfico rende i nuovi litotipi in generale **più resistenti** anche all'attacco chimico/biologico dei loro progenitori.



Solfatazione su marmo della tomba Pignone, cimitero monumentale di Staglieno, Genova.

## Degrado delle rocce metamorfiche

| ROCCE METAMORFICHE       | Meccanismo                                       | Degrado  | Diagnostica   | Intervento  |
|--------------------------|--|--|---|---|
| <b>Degrado Fisico</b>    | Cristallizzazione (Peperino)                     | Fessurazione, Disgregazione, Efflorescenze/Subflorescenze                | Analisi petrografica su sezione sottile, Porosimetria, XRF, Misura di conduttività + HPLC                                       | Trattamento desalinizzante, Consolidamento con Silicato di etile, resine acriliche, resine epossidiche  |
|                          | Gelività (Peperino, Marmi venati)                | Fessurazione, Disgregazione, Scagliatura                                 | Analisi petrografica su sezione sottile, Porosimetria (peperino)  | Consolidamento con consolidante compatibile   |
|                          | Dilatazione termica (Marmi venati)               | Fessurazione, Degrado differenziale, Scagliatura                         |   | Consolidamento con consolidante compatibile   |
| <b>Degrado Chimico</b>   | Argillificazione (Metamorfiche di origine ignea) | Disgregazione, Esfoliazione, Scagliatura                                 | Analisi petrografica su sezione sottile, DTA/TG   | Consolidamento con Silicato di etile, resine acriliche, resine epossidiche  |
|                          | Carbonatazione (Marmi)                           | Deposito superficiale, Dilavamento, Disgregazione, Degrado differenziale | Analisi petrografica su sezione sottile, Analisi stratigrafica su sezione lucida, XRD   | Consolidamento con Idrossido di Bario, resine acriliche, resine epossidiche   |
|                          | Solfatazione (Marmi)                             | Croste nere, Dilavamento, Disgregazione, Degrado differenziale           | Analisi petrografica su sezione sottile, Analisi stratigrafica su sezione lucida, XRD, FT-IR, XRF                               | Trattamento desolfatante con Carbonato di ammonio, Consolidamento con Idrossido di Bario, resine acriliche, resine epossidiche  |
| <b>Degrado Biologico</b> |  |  | Spettroscopia UV/VIS, Analisi petrografica su sezione sottile, Analisi stratigrafica su sezione lucida, XRD, FT-IR, XRF, DTA/TG | Trattamento del degrado biologico, Trattamento desolfatante con Carbonato di ammonio (in caso di solfatazione), Consolidamento con consolidante compatibile (Per la chelazione basta il solo trattamento biologico) |
|                          | Chelazione                                       | Patina ad ossalati, Degrado differenziale, Patina biologica              |   |   |



## Degrado dei materiali lapidei artificiali

I materiali lapidei artificiali sono il frutto di lavorazioni ed elaborazioni di materie prime naturali. La loro composizione è in generale silicatica per quanto riguarda i laterizi, carbonatica per le malte aeree e gli intonaci, mista carbonatico/silicatica per malte idrauliche e cementi. All'interno di queste tre macro-aree di composizione chimica la variabilità composizionale tra una malta e un'altra o tra un laterizio e un altro ecc. è estremamente elevata. Pertanto i lapidei artificiali necessitano di uno studio e di una caratterizzazione più accurata per poterne prevedere e/o interpretare comportamenti di tipo degradativo. Tutti i lapidei artificiali hanno un quantomeno discreto livello di **porosità**, caratteristica che rende i fenomeni di **crystallizzazione e/o gelività** i maggiori responsabili del degrado. Oltretutto le malte, sia aeree che idrauliche, e soprattutto i cementi **contengono intrinsecamente sali solubili**. Per quanto riguarda i meccanismi di **degrado chimico e biologico**, subiscono **carbonatazione, solfatazione, nitrificazione e chelazione** tutti i lapidei artificiali con componenti carbonati che : **malte aeree, idrauliche, cementi**. Subiscono **argillificazione i laterizi**. Grandi problemi di conservazione, a causa di **fenomeni ossidativi**, sono causati dalle armature del **cemento armato**.



In alto a sinistra: efflorescenze affioranti su fronte di risalita. In alto a destra: contemporanea presenza di efflorescenze sulle superfici dei laterizi e completo dilavamento dei giunti di malta probabilmente coadiuvato da meccanismi di cristallizzazione. In basso a sinistra: efflorescenze su cemento. In basso a destra: danni da ossidazione dell'armatura nel cemento armato.

## Degrado dei materiali lapidei artificiali

| LAPIDEI ARTIFICIALI      | Meccanismo  | Degrado   | Diagnostica   | Intervento  |
|--------------------------|---|---|---|---|
| <b>Degrado Fisico</b>    | Cristallizzazione   | Fessurazione, Disgregazione, Distacco, Efflorescenze/Subflorescenze   | Analisi petrografica su sezione sottile, Porosimetria, XRF, DTA/TG, Misura di conduttività + HPLC                               | Trattamento desalinizzante, Consolidamento con consolidante compatibile   |
|                          | Gelività  | Fessurazione, Disgregazione, Distacco, Scagliatura  | Analisi petrografica su sezione sottile, DTA/TG, Porosimetria   | Consolidamento con consolidante compatibile   |
| <b>Degrado Chimico</b>   | Argillificazione (Laterizi)   | Disgregazione, Esfoliazione, Scagliatura  | Analisi petrografica su sezione sottile, DTA/TG   | Consolidamento con consolidante compatibile   |
|                          | Carbonatazione (Malte, intonaci, cementi)   | Deposito superficiale, Dilavamento, Distacco, Disgregazione.  | Analisi petrografica su sezione sottile, Analisi stratigrafica su sezione lucida, XRD, DTA/TG                                   | Consolidamento con consolidante compatibile   |
|                          | Solfatazione (Malte, intonaci, cementi)   | Dilavamento, Disgregazione, Distacco  | Analisi petrografica su sezione sottile, Analisi stratigrafica su sezione lucida, XRD, FT-IR, XRF, DTA/TG                       | Trattamento desolfatante con Carbonato di ammonio, Consolidamento con consolidante compatibile  |
| <b>Degrado Biologico</b> | Attacco acido ( con conseguente carbonatazione/ solfatazione/ nitrificazione su malte, intonaci, cementi argillificazione su laterizi ) | Dilavamento, Disgregazione, Distacco, Esfoliazione, Scagliatura, Patina biologica, Colonizzazione biologica | Spettroscopia UV/VIS, Analisi petrografica su sezione sottile, Analisi stratigrafica su sezione lucida, XRD, FT-IR, XRF, DTA/TG | Trattamento del degrado biologico, Trattamento desolfatante con Carbonato di ammonio (in caso di solfatazione), Consolidamento con consolidante compatibile |
|                          | Chelazione (su malte, intonaci, cementi)  | Patina ad ossalati, Degrado differenziale, Patina biologica   |   |   |