

| | | |
|---------------------|---|----------------------------|
| NORMAL | OGGETTO <u>Conservazione dei Materiali Lapidari: Manutenzione Ordinaria e Straordinaria</u> | 20 / 85 |
| GRUPPI B - C - F | CAMPO DI APPLICAZIONE <u>Materiali Lapidari Naturali e Artificiali Impiegati nei Manufatti di Interesse Storico e Artistico</u> | Doc. n° 20 App. n° |
| SOTTOGRUPPI | VARIANTI RISPETTO ALL'EDIZIONE N° | Ediz. n. 1 Pag. n° 1/22 |

SCOPO

Indicazioni sui criteri per l'elaborazione dei progetti, l'esecuzione e la valutazione preventiva degli interventi conservativi su materiali lapidei.

Avvertenza

Il documento si articola in tre sezioni:

- ① indagini preliminari alla progettazione di un intervento conservativo;
- ② classi di prodotti da adottare per i differenti tipi di interventi conservativi;
- ③ criteri e metodologie per la valutazione preventiva dell'efficacia dei trattamenti conservativi progettati.

In questa prima edizione del documento compaiono solo le classi di prodotti, le metodologie di applicazione, i criteri di valutazione e i tipi di indagine sufficientemente sperimentati, rimandando a successivi aggiornamenti l'indicazione di tutti quei prodotti, metodologie, criteri e indagini per i quali verrà via via raggiunta una comprovata sperimentazione.

Le indagini potranno essere più o meno approfondite a seconda della problematica presentata dal manufatto nel suo complesso (materiale costitutivo, situazione ambientale, morfologia dell'alterazione, ecc.). Il livello di approfondimento sarà stabilito da esperti scientifici appartenenti ad Enti Pubblici con specifica esperienza nel settore della conservazione dei materiali lapidei, interni ed esterni all'Ente committente i lavori d'intervento, sentito eventualmente il parere dell'Istituto Centrale per il Restauro.

La scelta dei tipi di intervento, dei materiali e delle metodologie da impiegare dipende evidentemente dalle caratteristiche e dallo stato di conservazione del manufatto, sia nel caso di interventi straordinari che in quelli di manutenzione ordinaria; ci si dovrà comunque accertare che tale scelta sia basata sulla valutazione preliminare dell'efficacia dell'intervento proposto e della sua innocuità nei confronti del materiale costituente il manufatto.

In sede di progettazione andranno dettagliati:

- a) il fine specifico di ogni operazione;
- b) la localizzazione dell'intervento;
- c) i materiali che si vogliono utilizzare;
- d) le metodologie di applicazione, con la descrizione delle eventuali apparecchiature da impiegare.

Gli interventi vanno affidati unicamente a personale tecnico specializzato: restauratori ed operatori tecnici specialisti del settore materiali lapidei.

1 PREMESSA

Il documento prende in considerazione i problemi relativi ai materiali lapidei costituenti un manufatto indipendentemente dalla tipologia del manufatto stesso, anche se è evidente che il loro stato di conservazione non può prescindere da quello del monumento nel suo complesso, le cui condizioni andranno sempre tenute presenti durante la progettazione dell'intervento conservativo sui singoli elementi lapidei.

- ▷ Si intende per intervento conservativo qualsiasi operazione tesa a rallentare il deterioramento dei materiali e delle strutture che costituiscono un manufatto. A seconda dei problemi coinvolti, tali interventi vanno distinti in: manutenzione straordinaria e manutenzione ordinaria.
- ▷ Gli interventi di manutenzione straordinaria, che nella situazione attuale e per la maggior parte dei monumenti rivestono carattere di priorità, consistono in un insieme di opere diversificate e, in generale, di grande estensione ed entità, che richiedono, preliminarmente alla stesura del progetto, una serie di indagini sullo stato di conservazione del manufatto nel suo complesso.
- ▷ Nel caso delle manutenzioni ordinarie, che normalmente seguono nel tempo l'intervento straordinario, non è necessario ripetere tali indagini preliminari, sempre che l'ispezione periodica non riveli il manifestarsi di nuove forme di alterazione.
- ▷ Le ispezioni periodiche forniscono le indicazioni necessarie alla progettazione degli interventi di manutenzione ordinaria. Proprio per il loro carattere di periodicità, esse vanno effettuate essenzialmente con metodi non distruttivi e di costo contenuto (attenta ispezione visiva, misure di assorbimento d'acqua attraverso una superficie trattata, misure di velocità di onde elastiche longitudinali, misure di coiore); quando eseguite dopo un intervento di manutenzione straordinaria, esse rappresentano anche un'utilissima fonte di informazioni sulla "durevolezza" dell'intervento stesso.

La conservazione dei manufatti di interesse storico e artistico è un'attività pluridisciplinare che si deve basare sulla collaborazione tra specialisti diversi: gli esperti nelle discipline umanistiche, gli esperti nelle varie discipline scientifiche e i restauratori, ai quali va il delicato compito di operare direttamente sui manufatti. Pur tenendo sempre presente l'esigenza di questa costante collaborazione, il documento si occupa degli aspetti più strettamente scientifici dell'intervento conservativo (indagini di laboratorio, scelta dei materiali da impiegare e valutazione della loro efficacia, ecc.), limitandosi a menzionare, quando necessario, le fasi dell'intervento nelle quali è richiesta la competenza specifica di professionalità diverse da quelle scientifiche, senza fornire dettagli operativi.

2 STATO DI CONSERVAZIONE: INDAGINI PRELIMINARI

Le indagini devono essere effettuate secondo le Raccomandazioni NORMAL. Per tutti quei metodi non ancora normalizzati dovrà comunque essere descritta, nel dettaglio o mediante gli opportuni riferimenti bibliografici, la metodologia seguita.

- ▷ Per una prima valutazione dello stato di conservazione dovrà essere effettuata un'attenta osservazione visiva del manufatto (v. NORMAL - 1/80).

▷ Si procederà poi alla caratterizzazione dei materiali costitutivi, alla localizzazione ed allo studio delle diverse forme di alterazione presenti, nonché alla caratterizzazione dell'ambiente e del suo microclima.

Infatti, solo attraverso la conoscenza dei materiali, del loro stato di alterazione e della situazione ambientale, è possibile comprendere le cause che hanno prodotto il deterioramento. Tale comprensione è premessa indispensabile alla scelta dell'intervento conservativo e alla sua corretta progettazione.

Nel caso che l'intervento riguardi un edificio sarà inoltre necessario valutare lo stato degli impianti tecnici e dei sistemi di convogliamento delle acque, nonché prendere in considerazione tutti quei fattori (quali ad esempio i dissesti statici) che possono aver influenzato il deterioramento del materiale lapideo. Naturalmente, andranno tenute presenti anche le varie fasi di trasformazione dell'edificio stesso.

2.1 Caratterizzazione dei Materiali Costitutivi

Va innanzi tutto effettuata una ricerca storica d'archivio tesa a raccogliere informazioni sui materiali impiegati nel manufatto in esame e sugli eventuali interventi di rifacimento, pulitura, ecc., eseguiti in passato, al fine di stabilire le correlazioni esistenti tra i caratteri e le proprietà originari e quelli derivanti dallo stato di alterazione dei diversi materiali. Tale ricerca va effettuata da specialisti storici.

Sia per i materiali lapidei naturali, sia per quelli artificiali dovranno essere forniti:

- il nome scientifico;
- il nome d'uso ed eventuali sinonimi noti;
- la descrizione macroscopica (v. NORMAL - 10/82);
- la provenienza, quando possibile (formazione geologica e/o cava di estrazione, fornace di cottura per i laterizi, ecc.);
- una descrizione grafica dell'ubicazione dei materiali.

Nel caso di materiali artificiali, come intonaci colorati, monocromi o policromi, vanno indicati i colori presenti.

Quando il particolare problema conservativo lo richieda, e qualora sia possibile prelevare dal manufatto campioni significativi, la descrizione dei materiali dovrà essere corredata dalle seguenti indagini:

- a) caratterizzazione mineralogico-petrografica ed analisi chimica (v. NORMAL - 10/82, 12/83, 13/83, 15/84);
- b) analisi porosimetrica (v. NORMAL - 4/80);
- c) assorbimento d'acqua per immersione totale (v. NORMAL - 7/81);
- d) assorbimento d'acqua per capillarità (v. NORMAL - 11/82);
- e) misura delle caratteristiche meccaniche (resistenza a compressione, a trazione, a flessione, modulo di Young, coefficiente di Poisson, grado di elasticità, ecc.);
- f) misura delle caratteristiche termiche (coefficiente di dilatazione lineare, conduttività termica, ecc.).

Nel caso di intonaci monocromi o policromi sarà anche necessario effettuare un'osservazione microscopica in luce riflessa (sezione lucida, v. NORMAL - 14/83), nonché il riconoscimento dei pigmenti e dei leganti.

Nel caso di mosaici si dovrà procedere anche alla distinzione e caratterizzazione delle tessere (lapidee, paste vitree, cotti smaltati, ecc.).

Poiché per le indagini di cui ai precedenti punti c, d, e, f sono necessari numerosi campioni di grandi dimensioni che non sempre è possibile prelevare dal manufatto in esame, esse potranno essere effettuate utilizzando materiale di riferimento (proveniente da cava, ecc.), una volta individuato il litotipo in esame.

2.2 Studio delle Alterazioni

Le diverse forme di alterazione vanno descritte (v. NORMAL - 1/80) e localizzate con grafico in scala opportunamente dimensionata.

La descrizione dovrà essere completata da un'accurata documentazione fotografica, con indicate le condizioni di ripresa (illuminazione, tipo di pellicola, ecc.). Per le riprese a colori va inclusa una scala cromatica di riferimento (ad esempio: la Kodak Color Control Patches). La riproducibilità della documentazione facilita infatti i confronti da ripetere in tempi successivi.

Per le alterazioni prodotte da infiltrazioni di acqua va effettuata una mappatura mediante rilievo grafico delle zone visivamente interessate al fenomeno, dando anche una valutazione indicativa del contenuto d'acqua superficiale mediante metodi non distruttivi.

Nel caso di intonaci e mosaici che presentino problemi di adesione al supporto murario, i distacchi dovranno essere localizzati mediante attenta osservazione visiva a luce radente, percussione manuale ed auscultazione con stetoscopio al fine di redigere una mappa puntuale.

La descrizione delle alterazioni dovrà essere corredata almeno dalle seguenti analisi, che consentiranno di spiegare la morfologia osservata nonché di chiarire le cause di degrado:

a) osservazione microscopica in sezione sottile ed in sezione lucida opportunamente orientata rispetto alla superficie esterna, con documentazione fotografica (v. NORMAL - 10/82, 12/83, 14/83, 15/84);

b) analisi diffrattometrica ai raggi X, con documentazione dello spettro registrato;

c) determinazione dei sali totali solubili in acqua con metodo conduttimetrico (v. NORMAL - 13/83);

d) analisi qualitativa e quantitativa degli anioni dei sali solubili in acqua;

e) analisi qualitativa di eventuali materiali organici od inorganici presenti (protettivi, adesivi, ecc.);

f) analisi porosimetrica (v. NORMAL - 4/80);

g) nel caso di alterazioni di natura biologica, i biodeteriogeni presenti dovranno essere individuati (v. NORMAL - 19/85) mediante:

- esame visivo diretto (per licheni, muschi, piante superiori);
- esame microscopico (per batteri, alghe, funghi);

h) nel caso di alterazioni prodotte per infiltrazioni d'acqua, sulla base delle osservazioni preliminari già ricordate, dovranno essere eseguite indagini con metodi che prevedono il prelievo di campioni (carotaggio a secco e dosaggio ponderale dell'acqua presente);

i) nel caso di mosaici ed intonaci andrà effettuato il rilievo della mappa termica della superficie mediante metodi non distruttivi (termografia IR; misure puntuali con termometri a contatto come termistori, termoresistenze, termocoppie, ecc.).

Si ricorda a questo proposito che le disomogeneità di temperatura possono dipendere da più fattori, tra cui: eterogeneità costruttiva, diverso contenuto di umidità, difetti di adesione tra gli strati superficiali ed il supporto murario.

Il prelievo dei campioni deve essere effettuato secondo il documento NORMAL - 3/80.

2.3 Studio della Vegetazione Spontanea

Si deve tenere conto sempre della vegetazione spontanea. Infatti, la presenza di vegetali superiori appartenenti a specie erbacee, suffruticose e arboree fra le strutture di interesse archeologico e monumentale è causa di una serie di azioni fisiche, chimiche e biologiche che intaccano il costruito, favorendone ed accelerandone il degrado. Sarà pertanto necessario controllare la diffusione di tale vegetazione con operazioni che prevedono:

a) l'identificazione delle aree da trattare e l'indagine fito sociologica. Si dovranno programmare sopralluoghi nelle aree interessate per valutare attentamente estensione e caratteristiche degli interventi da eseguire. Si dovrà inoltre procedere alla raccolta dei dati necessari ad avviare un'esauriente indagine floristica per individuare le principali specie vegetali presenti;

b) la stesura di un piano di intervento.

2.4 Caratterizzazione dell'Ambiente

2.4.1 Ambienti esterni. Dovranno essere fornite indicazioni su:

a) orientazione geografica del monumento;

b) parametri fisici più significativi dell'ambiente esterno in cui il manufatto è esposto:

- temperatura;
- umidità relativa e specifica;
- radiazione solare;
- intensità e direzione del vento;
- precipitazioni.

Di essi dovranno essere forniti i valori medi mensili, gli estremi di variabilità diurna ed annua, la frequenza e l'intensità degli eventi salienti (per esempio, precipitazioni e venti, quante volte la temperatura scende al di sotto del punto di rugiada e al di sotto di 0°C). Tali dati devono essere relativi alle medie dell'ultimo decennio e possono essere reperiti presso vari Enti quali ad esempio: Servizio Meteorologico dell'Aeronautica, Ministero dei Lavori Pubblici (Magistrato delle Acque), Ufficio Centrale di Ecologia Agraria, Istituto Superiore di Sanità, Istituto Centrale di Statistica, Unità Sanitarie Locali, Osservatori meteorologici locali, ENEL, ecc..

I dati raccolti da questi Enti sono relativi a zone di rilevamento che non sempre coincidono con quelle del manufatto in esame e che sono generalmente più estese; essi permettono comunque una valutazione più ampia nel tempo delle condizioni ambientali ed un confronto utile con i risultati di rilevamenti specifici;

c) condizioni di inquinamento dell'aria: indicazioni di massima sulle fonti di inquinamento prossime al manufatto in esame (impianti di riscaldamento, traffico veicolare, impianti industriali, ecc.) nonché, se disponibili, sulle concentrazioni degli inquinanti più dannosi (v. NORMAL - 5/81, 5/82, 5/83).

Di tali inquinanti dovrebbero essere forniti i valori medi mensili di concentrazione e gli estremi di variabilità giornaliera. I dati devono riferirsi a un periodo recente ed essere relativi ad almeno un anno.

I dati dell'inquinamento atmosferico possono essere reperiti presso vari Enti quali ad esempio: Istituto Superiore di Sanità, Unità Sanitarie Locali, Istituti di Igiene e Profilassi, ecc.

2.4.2 Ambienti interni. Per una caratterizzazione più precisa e per una migliore comprensione delle interazioni tra i fattori ambientali ed il manufatto, potranno essere effettuati appositi rilevamenti nell'ambiente in esame. In particolare:

- a) temperatura, umidità relativa, umidità specifica, distanza dal punto di rugiada;
- b) temperatura della superficie del manufatto;
- c) eventuale radiazione solare (visibile ed UV) penetrante dall'esterno, specificando le ore di inizio e di fine del fenomeno e le zone dell'ambiente interessate a seconda della stagione;
- d) sorgenti interne di calore e di luce, specificando le caratteristiche e le modalità operative;
- e) eventuale ventilazione naturale o forzata;
- f) scambi con l'esterno attraverso porte, finestre, ecc.;
- g) modalità di gestione dell'ambiente ed eventuale fruizione da parte del pubblico (orario di apertura, numero medio di visitatori, tempo di permanenza media dei visitatori, orari, modalità operative e prodotti impiegati per la pulizia dei locali, ecc.);
- h) dosaggio di: biossido di zolfo, biossido di carbonio, polveri sospese e sedimentabili, acidità e concentrazione degli anioni solubili nel particolato atmosferico, con particolare riferimento alla loro origine, diffusione e deposito.

3 CLASSI DI PRODOTTI E METODOLOGIE DI APPLICAZIONE PER I DIFFERENTI TIPI DI INTERVENTI CONSERVATIVI

Le operazioni principali inerenti un trattamento conservativo sono: pulitura, incollaggio, stuccatura, consolidamento, protezione. Esse non sono sempre tutte necessarie e non sempre possono e debbono essere eseguite nell'ordine sopra indicato.

La scelta del materiale e del metodo da impiegare va effettuata sulla base di opportune verifiche, condotte da Laboratori qualificati e specializzati nel settore, per valutarne l'efficacia e/o le eventuali controindicazioni (v. 4).

Qualsiasi operazione eseguita su una determinata parte del manufatto non deve produrre effetti dannosi nelle zone circostanti (per esempio percolazioni di acque usate per il lavaggio).

Le caratteristiche principali, chimiche e chimico-fisiche, degli eventuali prodotti impiegati vanno sempre dichiarate. Per esempio, nel caso di resine sintetiche: denominazione chimica esauriente, struttura di catena, peso molecolare medio, residuo secco, concentrazione di utilizzo, natura del/dei solventi, viscosità della soluzione, solubilità in eventuali altri solventi, possibilità di ulteriore polimerizzazione, ecc. Nel caso di soluzioni acquose: natura e concentrazione del/dei soluti, pH, ecc.

L'uso di prodotti individuati con il solo nome commerciale è tassativamente vietato.

Dovranno essere indicati il nome della ditta produttrice e i nomi delle eventuali ditte trasformatrici e rivenditrici.

Chi fornisce il prodotto dovrà corredarlo con un certificato che garantisca la costanza della qualità e la corrispondenza ai requisiti dichiarati.

Quando debbano essere impiegate particolari attrezzature, ne vanno descritte in modo dettagliato le caratteristiche e le condizioni operative.

Va ricordato che in tutte le operazioni che prevedono l'uso di sostanze chimiche (ad esempio solventi, polimeri sintetici, polveri assorbenti, ecc.) o di strumenti meccanici va posta particolare attenzione ai problemi di igiene ambientale e di sicurezza del lavoro.

3.1 Pulitura

Scopo della pulitura, dal punto di vista della conservazione, è la rimozione di quanto è dannoso per il materiale lapideo: sali solubili, incrostazioni scarsamente solubili o insolubili, stratificazioni di materiali vari applicati intenzionalmente e non idonei o non più funzionali, vegetazione infestante, deiezioni animali, ecc., e a questo deve limitarsi, rispettando non solo policromie e patine naturali, ma anche lo strato più superficiale del materiale lapideo.

La pulitura presenta problemi tecnici da affrontare con estrema cautela, in quanto richiede una serie di azioni meccaniche e/o chimiche che comportano un certo margine di rischio per la superficie del manufatto. Essa non deve produrre corrosioni e deve comunque limitare al massimo soluzioni di continuità sulla superficie del materiale lapideo; infatti, la presenza di micro fratture e asperità facilita la penetrazione dell'acqua e l'accumulo di polveri contenenti sostanze aggressive.

La scelta del metodo da impiegare deve essere basata sulla natura delle sostanze da asportare, sul tipo di superficie da pulire (piana o rilevata, più o meno deteriorata), nonché sulla estensione di tale superficie. Su uno stesso monumento, quindi, vari metodi possono venire impiegati a seconda della necessità.

La scelta deve comunque privilegiare quei metodi che possono essere controllati dall'operatore ed arrestati quando ritenuto opportuno.

L'efficacia di un metodo può essere valutata, per ogni specifica situazione, solo mediante prove preliminari; la sua eventuale pericolosità deve essere definita per ogni tipo di materiale lapideo mediante prove di laboratorio, nelle quali si tenga conto sia della natura chimica dei prodotti da impiegare, sia delle modalità e dei tempi di applicazione. Infatti, anche un prodotto e un metodo non nocivi possono risultare dannosi se applicati in modo scorretto.

La pulitura può essere la prima operazione solo nel caso di materiali sostanzialmente compatti, in quanto potrebbe provocare perdita di materiale se effettuata su manufatti in avanzato stato di deterioramento, o dotati di scarsa coesione fin dall'origine. In questo caso, il procedimento che si è rivelato più pratico ed efficace è quello di far precedere la pulitura da un pre-consolidamento, eseguito dopo aver protetto la superficie applicandovi una velina. Va però ricordato che tale trattamento potrà condizionare la successiva scelta del metodo di pulitura; in particolare, sarà più difficile eliminare le alterazioni di natura biologica, per esempio: alghe e licheni.

Nel caso di superfici scolpite, o comunque di particolare pregio estetico, scaglie o frammenti della superficie originaria non devono essere assolutamente asportati, come può invece accadere anche con il più blando dei metodi; di conseguenza, sia le scaglie che i frammenti vanno fissati alla superficie prima di dare corso alle operazioni di pulitura.

3.1.1 Metodi di pulitura permessi su superfici scolpite:

a) acqua nebulizzata.

L'acqua va nebulizzata, a temperatura ambiente, mediante ugelli atomizzatori idraulici con dispersione a cono vuoto: diametro consigliato dell'orifizio da 0,41 a 0,76 μm , in grado di fornire una pioggia nebbiosa la cui goccioline hanno diametri rispettivamente da 80 a 120 μm .

Le dimensioni e la distribuzione delle goccioline possono essere controllate utilizzando opportune carte idrosensibili (per esempio, le carte idrosensibili distribuite dalla Spraying System Co.).

Il getto nebulizzato non deve colpire direttamente la superficie da pulire, ma deve raggiungerla in fase di ricaduta. Per tale ragione va attentamente valutata la distanza fra ugello e superficie da pulire in modo da evitare effetti meccanici da parte delle gocce d'acqua, la cui azione deve solo estrinsecarsi attraverso una solubilizzazione.

Se le condizioni della superficie lo permettono, l'azione dell'acqua può essere coadiuvata dall'impiego di un mezzo meccanico blando quale, ad esempio, spazzole morbide di nylon.

Va ricordato che questo sistema è sconsigliato nel caso di materiali molto porosi o quando vi sia pericolo di migrazioni di sali solubili o di formazione di macchie;

b) impacchi acquosi con materiali assorbenti.

Il metodo ha un duplice vantaggio: prolunga il tempo di contatto fra superficie da pulire e soluzione solvente e riduce la penetrazione della soluzione stessa al di sotto dello strato superficiale del materiale lapideo.

Come componente solido dell'impacco possono essere impiegate: argille assorbenti, polpa di carta priva di sali solubili, ovatta di cotone.

Per estrarre i sali solubili si impiegherà acqua deionizzata; l'operazione andrà controllata mediante misure di conducibilità dell'estratto.

Nel caso di materiali grassi e cerosi l'acqua deve essere sostituita con solventi organici opportuni.

L'impacco va asportato accuratamente evitando di danneggiare la superficie; l'operazione può essere facilitata applicando sulla superficie, prima dell'impacco, una velina;

c) soluzioni o sospensioni acquose ad azione solvente e/o complessante.

Il pH non deve essere superiore a 8,0 e non deve essere inferiore a 5,5, sono quindi esclusi gli acidi e le basi forti, così come deve essere evitato l'uso di sostanze che possono provocare la formazione di sali solubili residui alla fine dell'applicazione. Qualora tali sostanze siano assolutamente indispensabili a risolvere un problema di pulitura, ne va curata la completa rimozione al termine del trattamento.

Le modalità di applicazione (tempo di contatto, asportazione del formulato, lavaggio finale con acqua deionizzata) devono essere tali da non intaccare il materiale lapideo; ciò va verificato con prove preliminari sia in situ che in laboratorio.

Poiché, in genere, le soluzioni o sospensioni ad azione solvente sono addizionate con materiali ispessenti, quali la carbossimetilcellulosa o la polpa di carta, per permetterne l'applicazione ad impacco, va controllato che il prodotto scelto non contenga sali solubili. Questo tipo di impacco può essere utilizzato anche per la pulitura di superfici pre-consolidate. Vanno adottati, in tal caso, procedimenti particolari come la scelta di pre-consolidanti che non ostacolino l'azione dell'impacco oppure l'eliminazione con solvente organico del velo più superficiale del pre-consolidante, prima di applicare l'impacco stesso.

Nel caso di alterazioni biologiche, i biocidi specifici, scelti in base alla natura dei biodegeneri da eliminare, possono essere aggiunti direttamente all'acqua deionizzata o alle soluzioni o sospensioni acquose;

d) resine scambiatrici di ioni.

Le resine cationiche devono essere in forma "RH⁺", le resine anioniche in forma "ROH⁻" o HCO₃⁻. Qualsiasi altra forma può produrre risultati dannosi in quanto permetterebbe l'introduzione nel materiale lapideo di ioni capaci di formare sali solubili. Sono adatti al trattamento di superfici scolpite soltanto prodotti di grado analitico e di granulometria < 100 mesh, perché consentono di ottenere impasti omogenei e con buone capacità di adesione alla superficie da trattare;

e) metodi meccanici.

I metodi meccanici di pulitura possono essere impiegati solo su superfici di materiale assolutamente compatto o pre-consolidato.

Sono permessi soltanto quei metodi che, per il tipo di utensile impiegato e per la forza impiegata, permettono di intervenire su aree molto limitate e con effetti piuttosto lenti, in modo da consentire all'operatore il controllo dell'andamento del processo di pulitura.

In pratica, i metodi meccanici che rispondono a tali requisiti sono: la microsabbatura di precisione, la microsmerigliatura con trapani dentistici, la pulitura con ultrasuoni con apparecchi dentistici, la pulitura a bisturi;

f) pulitura a laser.

Questo sistema rappresenta un'alternativa molto interessante nei casi in cui i metodi prima elencati non diano risultati soddisfacenti.

Tuttavia, va ricordato che esso può essere considerato innocuo solo nel caso di materiali lapidei di colore bianco o comunque molto riflettenti e quando vengano impiegati impulsi relativamente poco energetici ($\sim 10^4$ W/cm²);

g) metodi da adottare per particolari problemi di pulitura.

Sovente gli elementi scultorei delle fontane sono ricoperti da spessi depositi calcarei frammisti a strati di microrganismi (soprattutto alghe) e a macchie giallo-brunastre che è molto difficile eliminare con i metodi di pulitura prima consigliati. In questi casi si è costretti a impiegare sistemi più drastici: impacchi a pH debolmente acido e scalpellatura. Estrema cura va posta nel graduarne per quanto possibile l'azione e nell'arrestarla quando lo spessore dell'incrostazione sia stato convenientemente ridotto. Gli strati più aderenti alla pietra andranno rimossi con uno dei metodi non dannosi sopra riportati.

Le macchie di ruggine (ossidi di ferro) e le macchie verdastre (composti di rame) vanno eliminate usando soluzioni acquose di sostanze complessanti che hanno la proprietà di "legare" il prodotto da eliminare formando composti solubili.

Per la rimozione delle macchie di ruggine possono essere usate soluzioni acquose di:

- fluoruro di ammonio a pH neutro;
- fosfato di ammonio portato a pH neutro con aggiunta di acido fosforico;
- EDTA (sali sodici dell'acido etilendiamminotetracetico in soluzione ammoniacale);
- soluzioni acquose sature per SO_2 .

Per la rimozione di composti di rame possono essere utilizzati come complessanti l'EDTA o il carbonato di ammonio.

Tuttavia, va ricordato che le sostanze complessanti possono interagire non solo con i composti estranei al materiale lapideo (sali di ferro e rame), ma anche con lo stesso supporto lapideo (composti di calcio). Il loro impiego va quindi attentamente controllato da parte dell'operatore. Inoltre, l'applicazione di tutti i prodotti indicati deve essere seguita da un accurato lavaggio con acqua.

3.1.2 Metodi di pulitura permessi su paramenti esterni, non scolpiti e senza particolari pregi estetici.

Nel caso di superfici non scolpite e considerevolmente estese, l'impiego dei metodi elencati in precedenza risulta in pratica di più difficile realizzazione per i tempi di lavorazione molto lunghi e per gli alti costi che ne conseguono.

Possono così essere impiegati anche:

- a) acqua a pioggia a pressione di acquedotto;
- b) acqua a spruzzo a bassa pressione (max 2,5 - 3 atm);
- c) acqua a spruzzo a bassa pressione (max 2,5 - 3 atm), seguita da applicazione di getti di vapore saturo;
- d) idrosabbature o sabbature a bassa pressione (max 5 atm) con polveri a granulometria $< 0,15$ mm e di durezza confrontabile con quella dei minerali costituenti il materiale lapideo da pulire (e che dunque devono essere noti).

Va comunque rispettata l'esigenza di minimizzare il danno che la pulitura può provocare. La scelta del metodo da impiegare va basata sulle caratteristiche del manufatto da pulire: per esempio, i sistemi che prevedono l'uso di acqua sono sconsigliati per strutture molto porose o quando vi sia pericolo di migrazione di sali solubili, di formazione di macchie, ecc.

I metodi meccanici possono essere impiegati solo per materiali resistenti all'abrasione o pre-consolidati e unicamente quando altri sistemi meno dannosi non siano risultati efficaci. Inoltre, va tenuto presente che tali metodi lasciano la superficie del materiale rugosa e comunque con proprietà ottiche notevolmente diverse da quelle della superficie originale.

3.1.3 Trattamento della vegetazione spontanea. L'intervento andrà effettuato in coincidenza con il periodo di maggior attività vegetativa della specie da combattere. Nel caso di trattamenti su vegetazione "a terra" si potrà intervenire anche in preemergenza, cioè prima dell'inizio del periodo vegetativo.

Si dovranno delimitare esattamente le aree da trattare, esporre i motivi per cui si ritiene di dover allontanare la vegetazione e prevedere in un preciso schema la situazione paesaggistica finale che si intende realizzare.

Le modalità del trattamento vanno scelte in funzione del tipo di superficie (muratura di varia dimensione e accessibilità, trattamenti a terra, ecc.) e del tipo di vegetazione (specie, dimensioni, fittezza, ecc.).

Il formulato prescelto dovrà comunque presentare le seguenti caratteristiche:

a) assenza di qualsiasi azione fisica o chimica, diretta o indiretta, nei riguardi delle strutture archeologiche o monumentali da trattare;

b) il prodotto nella sua formulazione commerciale deve essere incolore e trasparente e deve contenere un "principio attivo" chimicamente stabile e poco solubile in acqua. Esso deve restare nettamente entro i limiti della zona di distribuzione, senza sbavature laterali, che potrebbero estenderne l'azione anche in zone che non sono da trattare;

c) non deve lasciare, dopo l'applicazione, residui inerti derivanti da coformulati che sono stabili e che comunque non vengono immediatamente dilavati dalle piogge. Sono da escludere tutti i formulati colorati, oleosi e che possono lasciare tracce permanenti del loro impiego;

d) deve essere degradabile nel tempo ad opera della microflora del substrato;

e) deve presentare neutralità chimica (non deve quindi essere né acido né alcalino);

f) deve presentare uno spettro d'azione il più ampio possibile;

g) non deve essere tossico;

h) non deve procurare fenomeni inquinanti per le acque superficiali e profonde della zona interessata all'applicazione.

Il prodotto deve essere registrato presso i competenti Organi statali preposti alla tutela dell'igiene pubblica.

Gli interventi sono generalmente eseguiti tramite distribuzione di formulati in sospensione acquosa, irrorati sulla vegetazione a mezzo di pompe a bassa pressione; si dovrà operare in assenza di vento ed in ore non particolarmente calde. Nel caso si debba intervenire in prossimità di alberi da rispettare, sarà necessario proteggerne la chioma con schermature di materiale impermeabile.

L'intervento dovrà essere eseguito da personale qualificato e specializzato in applicazioni in aree archeologiche e monumentali, anche nella scelta delle attrezzature da impiegare.

Il risultato finale dovrà ritenersi valido solo se consentirà di ottenere un completo riassetto della zona, facendo salvi sia l'aspetto conservativo sia quello ecologico.

3.2 Incollaggi e Stucature

Gli interventi di incollaggio e stuccatura hanno lo scopo di riempire le discontinuità macroscopiche presenti nel materiale e di far riaderire frammenti consistenti parzialmente o totalmente distaccati. Si cerca in tal modo di ricostruire, per quanto possibile, una superficie uniforme e meno pervia all'acqua, agli agenti chimici e al particolato atmosferico, nonché di evitare la perdita di parti o frammenti del materiale scolpito.

3.2.1 Incollaggi. L'incollaggio di parti totalmente distaccate può essere effettuato mediante l'impiego di adesivi strutturali e/o, quando necessario, di perni:

a) gli adesivi devono avere i seguenti requisiti: buona adesività, durabilità, basso ritiro, elasticità e rigidità adatte al caso specifico, caratteristiche meccaniche il più possibile simili a quelle del materiale da incollare.

I materiali con le migliori qualità meccaniche e di adesività sono attualmente le resine termoindurenti, come ad esempio i poliesteri, i poliuretani, le epossidiche.

Occorre però ricordare che le resine termoindurenti generalmente si alterano sotto l'azione della luce e degli agenti atmosferici, subendo un'ossidazione che causa ingiallimento e fragilità superficiale. Il loro impiego si raccomanda perciò solo per le zone più profonde delle fratture e non per la parte esposta all'atmosfera. In superficie esse vanno ricoperte con un prodotto più stabile alla luce: per esempio, una resina acrilica;

b) le caratteristiche ottimali dei perni sono: buona stabilità chimica e coefficiente di dilatazione termica lineare il più possibile simile a quello del materiale da ricongiungere. Il tipo e la profilatura dei perni devono essere tali da conciliare buona adesione con facilità di rimozione.

Si sottolinea quindi che va assolutamente evitato l'uso di metalli facilmente ossidabili come l'acciaio al carbonio (ferro), il rame e le sue leghe.

Si consiglia invece l'uso di materiali più stabili quali gli acciai inossidabili speciali; ad esempio, quelli elencati nella tabella SIAS (Società Italiana Acciai Speciali).

Nel caso delle giunzioni di parti non sottoposte a particolari sollecitazioni meccaniche è possibile l'impiego di perni di resina epossidica o di poliestere, rinforzati con fibre di vetro.

3.2.2 Stucature. Le stucature hanno lo scopo di riempire fessure, fratture, nonché eventuali discontinuità dopo l'inserzione dei perni. È importante che il lavoro di stuccatura non si limiti al riempimento delle lacune di maggiore entità, ma venga scrupolosamente esteso anche alle fessure di dimensioni più ridotte, in quanto potrebbero facilitare la penetrazione dell'acqua.

La scelta del tipo di stuccatura più adatta ad ogni singolo caso va fatta tenendo presente l'opportunità che l'impasto da impiegare sia abbastanza simile al materiale da stuccare, almeno per quanto riguarda la porosità, la capacità di assorbire acqua, la resistenza

meccanica, la resistenza alla luce e la dilatazione termica, oltre naturalmente alle caratteristiche ottiche. Nel caso di materiali molto compatti sono adatte stuccature sufficientemente resistenti, nel caso di materiali molto porosi o comunque deboli meccanicamente si devono impiegare stucchi a resistenza non molto elevata. I componenti dell'impasto non devono cedere sostanze nocive al materiale lapideo (ad es.: sali solubili).

Per le stuccature si utilizzano normalmente malte il cui legante è costituito da calce aerea o idraulica (purché a basso tenore di alcali) ed il cui aggregato può essere di diversa natura. Il tipo di aggregato e la sua granulometria vanno scelti di volta in volta in funzione delle caratteristiche del materiale lapideo da trattare.

Per la finitura esterna si raccomanda di impiegare, quale aggregato, polvere ricavata dallo stesso tipo di pietra che deve essere stuccata. Come leganti si possono utilizzare resine acriliche in soluzione o, per strati piuttosto spessi, in emulsione acquosa.

È consentita l'aggiunta di pigmenti inorganici, chimicamente stabili come, ad esempio, terre od ossidi metallici.

La composizione della stuccatura va sempre descritta con esattezza: tipo di legante, tipo di aggregato, rapporto legante/aggregato in peso o in volume e tipo di additivi.

Sono da evitare le stuccature a base di cementi tradizionali, perché questi possono cedere ioni alcalini e solfati che portano alla formazione di sali solubili dannosi per il materiale lapideo. Inoltre, gli impasti a base di cemento sono spesso meno porosi di molti materiali lapidei, cosicché, se si verifica un movimento d'acqua all'interno di una struttura, la sua evaporazione e la conseguente cristallizzazione di eventuali sali presenti avverrà a carico delle parti più porose e non delle stuccature. Infine, le differenze di dilatazione termica fra pietra e cemento possono provocare fessurazioni o danni di tipo meccanico. Si ricorda che stuccare in sottolivello di qualche millimetro, rispetto alla superficie esterna, come viene normalmente fatto, non presenta generalmente controindicazioni dal punto di vista conservativo. Le stuccature possono essere consolidate assieme al materiale lapideo al quale sono state applicate.

3.3 Consolidamento

Per trattamento di consolidamento si intende l'impregnazione con un prodotto che, penetrando in profondità, migliori la coesione del materiale alterato e l'adesione fra questo ed il substrato sano. Come risultato si avrà una maggiore resistenza ai processi di alterazione.

Il consolidamento della pietra può essere effettuato con prodotti sia inorganici che organici (polimeri). Ciascuna delle due categorie presenta vantaggi e svantaggi. Ad esempio, i consolidanti inorganici sono, in generale, più durevoli, ma anche piuttosto fragili e poco elastici. I consolidanti organici, dal canto loro, pur alterandosi più facilmente, sono in genere più elastici e presentano maggior potere adesivo.

Il prodotto consolidante deve comunque rispondere ad alcune esigenze fondamentali:

- a) non provocare la formazione di sottoprodotti secondari dannosi;
- b) venire uniformemente assorbito dalla pietra e raggiungere tutto il materiale alterato, collegandolo alla pietra sana più interna. La profondità di penetrazione richiesta varia a seconda delle caratteristiche della pietra; può essere quindi di pochi millimetri in una pietra compatta, di molti centimetri in una pietra porosa;

c) presentare un coefficiente di dilatazione termica non molto difforme da quello della pietra, per non essere causa di fessurazioni o sgretolamenti nel caso che non abbia buone caratteristiche elastomeriche;

d) se si tratta di prodotto idrorepellente, non deve rendere il materiale lapideo completamente impermeabile al vapor d'acqua che in qualche modo possa trovarsi presente oltre lo strato impregnato;

e) conservare l'aspetto esteriore della pietra evitando fenomeni di scurimento o di imbiancamento, formazione di macchie o di pellicole lucide ed ingiallimento sotto l'azione della luce (come può verificarsi nel caso di alcuni prodotti organici).

È da tener presente che, a tutt'oggi, non esistono consolidanti praticamente e completamente reversibili e che, comunque, si introduce nella pietra un materiale che ha in genere caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche diverse da quelle della pietra stessa. È quindi opportuno intervenire solo quando la pietra è in uno stato di disgregazione così avanzata da pregiudicare la conservazione e la stabilità del manufatto.

Per le ragioni sopra esposte, nessun consolidante è migliore di un altro in senso assoluto; la scelta andrà dunque effettuata caso per caso, verificando ogni volta quale prodotto e quale tecnica di applicazione (tipo di solvente, concentrazione della soluzione, ecc.) permetta di ottenere, col minor numero di inconvenienti, un miglioramento soddisfacente della durabilità della pietra.

A tale scopo è essenziale effettuare una serie di controlli di laboratorio per scegliere il prodotto più idoneo al caso specifico, tenendo presente il tipo di ambiente cui il manufatto è esposto.

Per quanto riguarda le modalità di impiego, l'applicazione a spruzzo difficilmente permette di ottenere un'impregnazione in profondità; è quindi preferibile l'applicazione ad impacco o a percolazione proseguita fino a rifiuto e preceduta ed alternata con applicazioni di solo solvente (nel caso di consolidanti organici sciolti in solvente).

Per statue isolate o per rilievi architettonici posti fuori opera, o comunque per manufatti mobili con manovra agevole, è possibile ricorrere a tecniche di impregnazione sotto vuoto, mediante immersione in appositi contenitori o vasche a tenuta.

Esistono attualmente anche metodi di trattamento sotto vuoto applicabili in situ, la cui effettiva utilità va valutata caso per caso.

Il consolidamento va effettuato su materiale lapideo asciutto ed in condizioni climatiche favorevoli, relativamente al tipo di consolidante da impiegare.

- 3.3.1 Consolidanti consigliati.** Pur non essendo possibile fornire un elenco di consolidanti consigliabili in assoluto, è tuttavia utile riportare le classi di prodotti che, sulla base dell'esperienza degli ultimi decenni, hanno dato risultati complessivamente soddisfacenti per alcuni tipi di materiali lapidei:

Consolidanti

- > Silicati di etile
- Alchil-alcossi-silani
- Miscele di silicati di etile ed alchil-alcossi-silani
- Alchil-aril-polisilossani (parzialmente o totalmente polimerizzati)
- > Resine acriliche (applicate come monomeri o polimeri)
- Miscele di resine acriliche e siliconiche

Materiali lapidei

- Arenarie, laterizi, mattoni crudi.
- Arenarie, laterizi, mattoni crudi.
- Arenarie, laterizi, mattoni crudi, marmi, calcari.
- Laterizi, arenarie, marmi, calcari.
- Marmi, calcari compatti.
- Marmi, calcari, arenarie.

Vanno inoltre ricordati alcuni consolidanti inorganici, come l'idrossido di bario e l'idrossido di calcio, impiegabili tuttavia solo in particolari occasioni, soprattutto nel caso di pietre calcaree e quando non vi siano discontinuità maggiori di 50 - 100 μ da risaldare.

Va sottolineato che l'elenco è puramente orientativo, non solo per le ragioni esposte in precedenza, ma anche perché in ciascuna delle classi elencate esistono prodotti con caratteristiche e prestazioni anche molto diverse fra loro.

Si ricorda che l'efficacia di un trattamento è fortemente condizionata dalle modalità di applicazione e che è pertanto opportuno valutare, di volta in volta, le migliori condizioni operative. Il metodo scelto va sempre chiaramente indicato.

3.4 Protezione

L'intervento di protezione ha lo scopo di rallentare i processi di deterioramento. Esso può essere eseguito o servendosi di particolari prodotti chimici o, quando possibile, agendo sull'ambiente esterno.

i due tipi di intervento non si escludono a vicenda, anzi talvolta si integrano proficuamente.

3.4.1 Protezione mediante applicazione di prodotti chimici. L'operazione è consigliata ogni qual volta si sia individuato che i fattori più importanti di alterazione agiscono prevalentemente sulla superficie esterna del materiale (per esempio: azione di inquinanti, condensazione di umidità, azione chimico-meccanica delle piogge), e in particolare ove l'intervento diretto sull'ambiente non sia possibile o sia ritenuto insufficiente.

L'applicazione di protettivi chimici sulla superficie va invece evitata nei casi per i quali esiste la possibilità di penetrazione d'acqua per risalita capillare dal terreno o per infiltrazione da zone non raggiungibili dal protettivo.

I requisiti essenziali di un protettivo sono:

- a) inerzia chimica nei riguardi del materiale lapideo;
- b) assenza di sottoprodotti dannosi anche a distanza di tempo dall'applicazione;
- c) buona stabilità chimica, in particolare rispetto agli inquinanti e all'ossigeno;
- d) buona stabilità alle radiazioni UV;
- e) bassa permeabilità all'acqua liquida (idrorepellenza);
- f) buona permeabilità al vapor d'acqua;

g) influenza minima sulle proprietà ottico-cromatiche della superficie del materiale lapideo;

h) buona solubilità in solventi organici anche dopo invecchiamento, per consentirne la rimozione nel corso di successivi interventi di manutenzione.

3.4.1.1 Protettivi consigliati. Anche nel caso dei protettivi non è possibile stabilire quale prodotto sia migliore degli altri in assoluto; la scelta di quello più adatto al singolo caso va effettuata in funzione della natura del materiale, del suo stato di conservazione (dopo gli eventuali trattamenti di pulitura, stuccatura e consolidamento) e delle condizioni ambientali.

Sulla base dell'esperienza attuale si può tuttavia fornire un elenco di classi di prodotti da impiegare come protettivi:

| Protettivi | Materiali lapidei |
|--|--|
| > Resine acriliche | Marmi e materiali poco porosi (in ambienti confinati). |
| Alchil-aril-polisilossani (resine siliconiche) | Tutti i materiali. |
| > Miscela di resine acriliche e siliconiche | Tutti i materiali. |

L'eventuale modifica delle proprietà ottico-cromatiche può essere sensibilmente attenuata con opportuni accorgimenti quali: la ricerca del giusto grado di diluizione, l'aggiunta di opacizzanti a base di silice, una blanda spazzolatura del materiale "in tiro", un trattamento finale con solo solvente.

Nel caso di materiali ad alta porosità, l'efficacia del trattamento protettivo è tanto maggiore quanto più esso penetra in profondità.

3.4.2 Protezione mediante interventi sull'ambiente esterno. Il deterioramento dipendente da fattori ambientali può essere inibito:

- a) modificando in maniera stabile le condizioni ambientali di conservazione (microclima);
- b) influenzando lo spazio ambiente ad immediato contatto con l'opera.

Andrà sempre valutata preventivamente la possibilità che insorgano fenomeni secondari dannosi al manufatto. È perciò evidente che la scelta può essere effettuata solo in base ad un'accurata conoscenza delle condizioni ambientali (v. 2.4), dei materiali (v. 2.1 e 2.2) e degli effetti che variazioni indotte dei parametri ambientali possono provocare sul manufatto.

In linea di massima si può ricorrere a:

- > - condizionamento termoigrometrico, filtraggio e depurazione dell'aria;
- > - installazione di ripari stabili;
- > - creazione di uno spazio intorno all'opera.

Vanno sempre documentate le motivazioni che hanno indotto a scegliere un intervento e le relative condizioni operative.

Va da sé che, qualora possibile, la soluzione da privilegiare è la collocazione dell'oggetto in ambienti che assicurino, per le loro caratteristiche intrinseche, costanza ed omogeneità dei parametri termoigrometrici giudicati idonei alla conservazione.

4 VALUTAZIONE PRELIMINARE DELL'EFFICACIA DEI MATERIALI E DEI METODI PER GLI INTERVENTI CONSERVATIVI

I controlli possono essere effettuati non solo in vista della conservazione di un determinato manufatto, ma anche allo scopo di qualificare eventuali nuovi prodotti e nuove metodologie.

Essi vanno eseguiti in parallelo su materiale lapideo trattato e non trattato, avendo cura di effettuare il trattamento in laboratorio con modalità il più possibile simili a quelle da impiegare sul manufatto.

Le misure dovranno essere condotte secondo le Raccomandazioni NORMAL o, in assenza di queste, dovranno essere chiaramente descritti i metodi sperimentali adottati.

Quando per un intervento su un particolare materiale lapideo si voglia utilizzare un prodotto, o un metodo, già ampiamente sperimentato su pietre dello stesso tipo, o analoghe, nel progetto esecutivo andrà fatto chiaro riferimento a tali precedenti esperienze.

4.1 Pulitura

Come già accennato (v. 3.1), l'efficacia di un metodo di pulitura può essere valutata solo mediante prove preliminari effettuate direttamente sul manufatto, mentre l'eventuale pericolosità nei riguardi del litotipo va valutata mediante prove di laboratorio.

Il sistema in esame va applicato, con modalità e tempi il più possibile simili a quelli che verranno adottati in loco, ad almeno cinque campioni di ogni litotipo. I campioni devono essere di forma regolare (per esempio: lastre di cm 5 x 5 x 2), la superficie da trattare va levigata in modo omogeneo con carte smerigliate a granulometria via via più sottile (fino al n° 1000).

Dopo il trattamento di pulitura andranno misurati almeno:

- a) colore d'insieme (per esempio, mediante le Carte Munsell, DIN, Methuen);
- b) assorbimento d'acqua per capillarità attraverso la superficie trattata (v. NORMAL - 11/82);
- c) rugosità (preferibilmente mediante rugosimetro);
- d) morfologia della superficie (mediante osservazioni al microscopio ottico in campo chiaro ed in campo scuro);
- e) variazione ponderale;
- f) contenuto di eventuali sali solubili residui (nel caso di pulitura con mezzi chimici).

4.2 Consolidamento e Protezione Chimica

Un trattamento di consolidamento deve essere sempre seguito da un trattamento di protezione che, tenuto conto del fatto che un'azione protettiva nei confronti dell'acqua è sempre auspicabile, conferisca idrorepellenza alla pietra.

Poiché in commercio esistono prodotti consolidanti che hanno anche proprietà idrorepellenti, i campioni trattati con tali prodotti non andranno sottoposti ad ulteriore trattamento

protettivo. Solo così il confronto fra consolidanti di natura diversa, alcuni dei quali con caratteristiche idrorepellenti, sarà significativo.

4.2.1 Preparazione dei campioni. I campioni devono essere di forma regolare, generalmente si opera su cubi con spigolo di 5 cm o comunque non inferiore a 3 cm. Il taglio viene effettuato con disco diamantato, a umido. Per i campioni destinati a prove meccaniche è necessaria la perfetta planarità della superficie.

Il numero minimo di campioni da impiegare dipende dall'omogeneità del materiale lapideo e dalla sequenza operativa che si adotterà nell'esecuzione delle misure, alcune delle quali richiedono la distruzione del campione. In linea di massima si ritiene necessario impiegarne almeno 20 per ogni tipo di trattamento da sottoporre a controllo.

Quando il controllo viene effettuato per ricercare il trattamento più idoneo ad un particolare monumento sarebbe opportuno utilizzare campioni provenienti dal monumento stesso e rappresentativi dello stato di conservazione di ciascuno dei litotipi presenti. Poiché non sempre è possibile prelevarne in quantità sufficiente per la sperimentazione, ci si può servire di materiali dello stesso litotipo recuperati nella demolizione o sostituzione di parti di edifici della zona ed appositamente archiviati e immagazzinati (v. NORMAL 2/80).

Qualora non si verificano le precedenti alternative vanno utilizzati campioni di cava invecchiati naturalmente o artificialmente. L'invecchiamento deve essere spinto fino a raggiungere, con sufficiente approssimazione, le caratteristiche del materiale in opera. La scelta del tipo di "invecchiamento artificiale" viene effettuata di volta in volta in base ai risultati ottenuti dall'indagine sulle cause di degrado (v. 2). I metodi più frequentemente impiegati sono: cicli di gelo-disgelo, cicli di secco-umido, cicli di cristallizzazione di sali e cicli di corrosione per nebbia acida.

4.2.1.1 Applicazione del consolidante:

a) I campioni destinati alle prove di assorbimento di acqua per immersione e di resistenza all'invecchiamento vengono completamente rivestiti da due strati di garza con uno strato di ovatta di cotone interposto ("packet").

I provini, così rivestiti, vengono poggiati su un supporto di vetro posto all'interno di una vaschetta, anch'essa di vetro, contenente la soluzione consolidante. Il livello della soluzione non deve raggiungere la base dei provini e va mantenuto costante; l'impregnazione avviene per capillarità attraverso un lembo di ovatta che fuoriesce appositamente dal "packet" e che si trova immerso nel liquido impregnante (fig. 1).

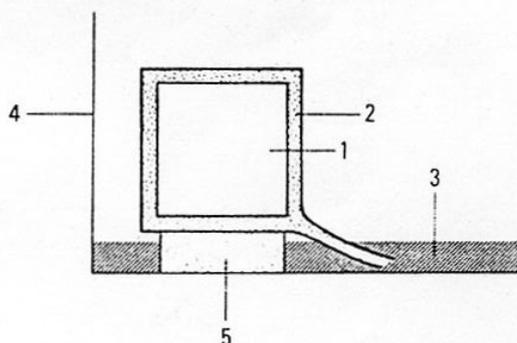


Fig. 1 - 1) campione; 2) "packet"; 3) soluzione consolidante; 4) vaschetta di vetro; 5) supporto di vetro.

Nel caso di polimeri organici applicati in soluzione, prima di iniziare il trattamento consolidante i provini vengono imbibiti con il solo solvente per un tempo di 30-60 minuti. Durante l'intero processo la vaschetta va mantenuta chiusa;

b) i campioni destinati alle misure di porosità, alla valutazione della profondità di penetrazione, alla misura della permeabilità al vapor d'acqua e alla misura dell'assorbimento di acqua per capillarità non vengono fasciati.

In questo caso l'impregnazione si effettua su una sola faccia del campione. Si opera per capillarità mediante una spessa striscia di cotone posizionata in modo da avere l'estremità inferiore immersa nella soluzione e quella superiore aderente alla faccia da impregnare (fig. 2). Una siffatta preparazione consente di valutare meglio l'effettiva profondità di penetrazione del consolidante, in quanto è più simile al trattamento effettuabile in situ.

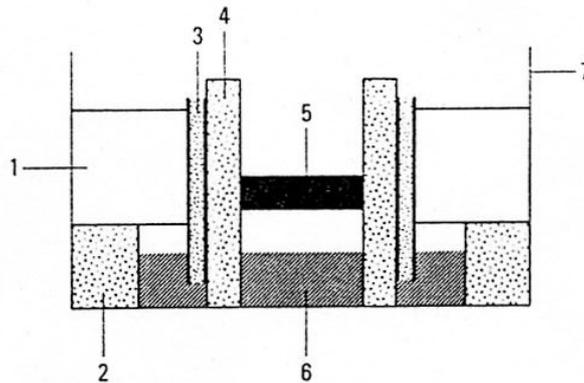


Fig. 2 - 1) campione; 2) supporto di vetro; 3) striscia di cotone; 4) lastrina di vetro; 5) distanziatore; 6) soluzione consolidante; 7) vaschetta di vetro.

Sia nel caso a) che nel caso b) la concentrazione del consolidante viene stabilita mediante prove preliminari; il tempo di trattamento è in genere di 72 ore. Fa eccezione il caso in cui la ditta fornitrice specifichi particolari modalità di applicazione.

Terminato il processo di impregnazione, i provini vanno liberati dall'involucro di garza e cotone e lasciati asciugare, prima a temperatura ambiente e poi in stufa. Salvo diversa indicazione della ditta fornitrice, il tempo di permanenza in aria è di circa 1 mese e la temperatura della stufa è di 50-60°C.

4.2.1.2 Applicazione del protettivo. Terminato il processo di consolidamento, viene applicato il protettivo, a temperatura ambiente e, in genere, mediante pennello, sulle stesse facce del campione trattate con il consolidante.

Normalmente si effettuano due applicazioni successive con un intervallo di tempo variabile da 1 a 3 giorni, salvo diversa indicazione della ditta fornitrice.

I campioni vengono poi lasciati a temperatura ambiente per almeno 20 giorni, prima di iniziare i controlli, salvo indicazione della ditta fornitrice.

Per valutare l'efficacia del solo protettivo, il prodotto si applica su campioni tal quali e con le stesse modalità ora descritte.

4.2.2 Caratteristiche dei prodotti impiegati. La viscosità dei prodotti impiegati per il consolidamento e per la protezione viene misurata a 20°C ed espressa in cp; nel caso di prodotti sciolti in solvente, la concentrazione della soluzione impiegata viene espressa come % in massa.

4.2.3 Misure per la valutazione di trattamenti consolidanti e protettivi. Le misure vengono effettuate su almeno tre campioni trattati e, per confronto, su uno stesso numero di campioni non trattati.

Vanno valutate almeno le seguenti caratteristiche:

- a) variazione ponderale;
- b) colore d'insieme (mediante Carte Munsell, DIN, Methuen; con misure di riflettanza);
- c) assorbimento d'acqua per capillarità (v. NORMAL - 11/82);
- d) assorbimento d'acqua per immersione totale (v. NORMAL - 7/81);
- e) assorbimento d'acqua sotto basse pressioni, con il metodo della pipetta;
- f) velocità di evaporazione dell'acqua assorbita. La prova viene effettuata immediatamente dopo quella dell'assorbimento di acqua per immersione totale, sugli stessi campioni, in condizioni costanti di temperatura e di umidità relativa ed in assenza di ventilazione ($T = 20^{\circ}\text{C}$, $UR \leq 5\%$ ottenuta con gel di silice);
- g) distribuzione porosimetrica (v. NORMAL - 4/80). Le misure vengono effettuate su almeno due strati successivi del campione, a partire dalla superficie trattata. Ogni strato deve avere uno spessore di 0,5 cm e, per ognuno di essi, si eseguono almeno 3 misure;
- h) permeabilità al vapor d'acqua misurata su strati dello spessore di 1 cm, ottenuti sezionando il campione parallelamente alla faccia trattata;
- i) valutazione della profondità di penetrazione del consolidante (v. 4.2.1.1.b). Si opera mediante:
 - misure di porosità su strati successivi;
 - metodi ottici quali l'osservazione al microscopio ottico ed elettronico a scansione di porzioni successive di campione e l'osservazione ad occhio nudo di sezioni, trasversali alla faccia trattata, spruzzate con acqua;
 - misura della velocità di assorbimento di microgocce di acqua, sulle stesse sezioni trasversali;
- l) resistenza a compressione ed analisi della curva sforzo-deformazione. Si fa presente che per materiali lapidei poco porosi la prova potrebbe non essere particolarmente significativa per il minimo incremento che il materiale potrebbe subire a causa della ridotta penetrazione del consolidante.

Le misure, ad eccezione di quelle elencate al punto i), vanno ripetute dopo aver esposto i campioni ad un numero conveniente di cicli di "invecchiamento artificiale". Tali cicli vanno scelti tra quelli che meglio simulano i fattori di alterazione ai quali è esposto il manufatto da trattare.

Gli "invecchiamenti" più frequentemente usati, anche in combinazione fra loro, sono:

- esposizione alle radiazioni UV, in condizioni controllate di temperatura ed umidità relativa;
- cicli di secco-umido e cicli termici;
- cicli di gelo-disgelo;
- cicli di cristallizzazione di sali;
- cicli di corrosione per nebbia acida e/o salina.

4.2.4 Misure per la valutazione di trattamenti protettivi. Volendo valutare l'efficacia del solo protettivo vanno considerate almeno le caratteristiche elencate nel precedente paragrafo 4.2.3 ai punti b), c), e), f), h). Va inoltre eseguita la misura dell'angolo di contatto tra la superficie trattata e acqua deionizzata. Le misure vanno ripetute dopo aver esposto i campioni ad un numero sufficiente di cicli di "invecchiamento artificiale" secondo quanto descritto al paragrafo precedente.

4.3 Valutazione dei Risultati

La valutazione dell'efficacia dei trattamenti di pulitura, consolidamento e protezione va effettuata esaminando complessivamente l'insieme dei risultati ottenuti e stimando eventualmente la significatività delle diverse prove in funzione dello scopo del trattamento preso in esame (prevalentemente consolidante, solo protettivo, ecc.).

Al momento attuale non si possono stabilire dei limiti di accettabilità per i vari trattamenti. La valutazione non ha mai valore assoluto, ma rappresenta comunque un modo oggettivo di confronto tra materiale trattato e non trattato e tra prodotti diversi. Per la sua delicatezza, va affidata soltanto ad esperti scientifici con specifica esperienza nel settore della conservazione dei materiali lapidei.

4.3.1 Pulitura. Tutte le proprietà misurate (v. 4.1, a, b, c, d, e, f) devono subire le minori variazioni possibili.

4.3.2 Consolidamento:

a) variazione ponderale: un incremento viene considerato positivo; tale dato ha significato solo nell'apprezzamento del materiale sperimentato, ma non per giudicare la bontà del trattamento;

b) colore d'insieme: non si devono verificare apprezzabili variazioni;

c) assorbimento d'acqua per capillarità: deve essere ridotto sia il coefficiente di assorbimento che il valore massimo dell'acqua assorbita;

d) assorbimento d'acqua per immersione totale: la capacità di imbibizione deve essere ridotta;

e) assorbimento d'acqua sotto basse pressioni: l'imbibizione deve essere minima;

f) velocità di evaporazione dell'acqua assorbita: deve essere la più alta possibile o, quanto meno, la più vicina a quella del materiale non trattato;

g) distribuzione porosimetrica: la porosità (aperta integrale) deve essere ridotta: la percentuale dei pori piccoli (diametro $\leq 1 \mu\text{m}$) deve avere il minimo incremento;

h) permeabilità al vapor d'acqua: deve essere la più alta possibile o, quanto meno, la più vicina a quella del materiale non trattato;

i) profondità di penetrazione del consolidante: deve essere la massima possibile e con la massima omogeneità di diffusione;

l) carico di rottura a compressione: deve subire un incremento.

4.3.3 Protezione. Valgono le stesse indicazioni date per la valutazione del consolidante (v. 4.3.2, b, c, e, h).

La misura dell'angolo di contatto deve registrare l'incremento più alto possibile.

5 INTERVENTI DI MANUTENZIONE ORDINARIA

Come già accennato nell'avvertenza, gli interventi di manutenzione ordinaria devono seguire nel tempo quelli di manutenzione straordinaria. Essi hanno la finalità di prevenire o di fermare al primo apparire ogni nuova forma di degrado che può verificarsi anche nel caso di interventi eseguiti in modo assolutamente corretto, soprattutto quando non sia stato possibile rimuovere le cause che provocano determinati danni (ad es.: l'influenza dei fattori climatici). Gli interventi di manutenzione ordinaria comportano controlli ed opere di breve periodo, devono avere una periodicità definita (ad es.: annuale o biennale) e devono essere affidati a personale specializzato (come nel caso degli interventi straordinari). In linea di massima, la manutenzione ordinaria prevede:

a) controllo della funzionalità dei sistemi di convogliamento delle acque e dell'efficienza delle coperture e degli eventuali impianti tecnici capaci di influire sulla conservazione del monumento;

b) controllo ravvicinato e registrazione dello stato delle superfici, relativamente alla presenza di:

- depositi di polveri, guano, ecc.;
- formazioni di efflorescenze e loro natura;
- contenuti anomali di umidità nei materiali (valutati mediante misure non distruttive);
- soluzioni di continuità, fratture, fessure, ecc.;
- alterazioni da microrganismi e piante infestanti;

c) eventuale esecuzione di:

- interventi di pulitura (spolverature, lavaggi con acqua nebulizzata);
- riparazioni di fratture, lesioni e simili, mediante stuccature con materiali definiti nel disciplinare;
- esecuzione di opere di protezione mediante applicazione di protettivi superficiali o coperture stagionali;
- esecuzione di disinfezioni e disinfestazioni.