MATERIALI LAPIDEI
Degradi e interventi conservativi

CLASSIFICAZIONE DEI MATERIALI LAPIDEI

I materiali lapidei da costruzione si dividono in:

- **NATURALI** ⇒ le pietre (definite *rocce* in geologia) come i marmi, i graniti, i travertini, ecc..
- **ARTIFICIALI** ⇒ laterizi, terrecotte, malte di allettamento, intonaci, cementi decorativi ecc…

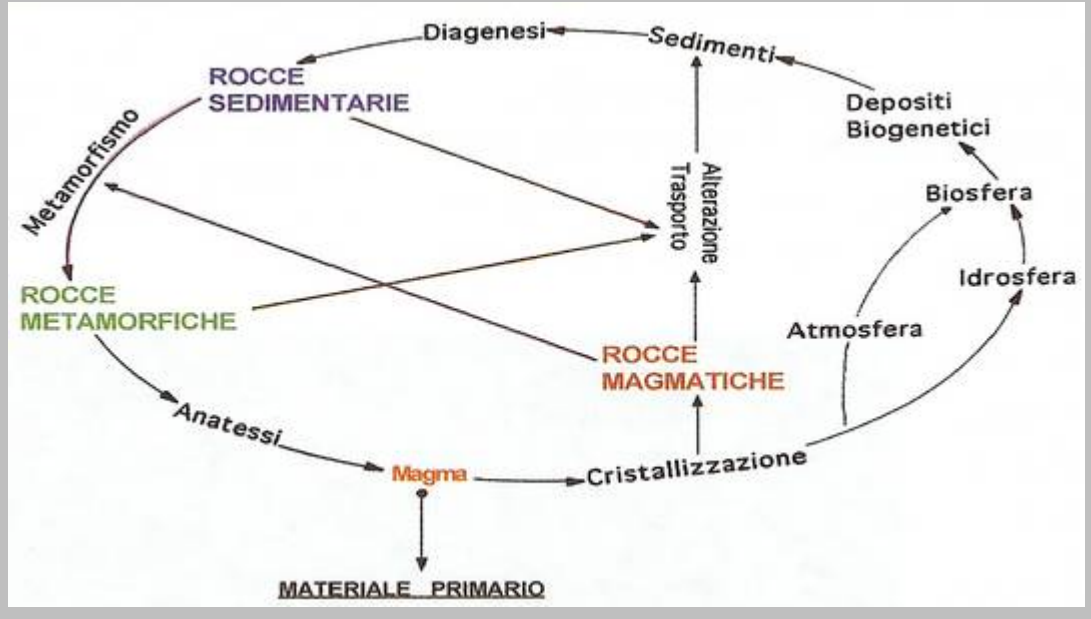
Le **raccomandazioni NORMAL** classificano con il termine "*materiale lapideo*" oltre che i marmi e le pietre anche gli intonaci, le malte, gli stucchi, i cotti e i laterizi.
Generalmente si definiscono "materiali lapidei naturali" i marmi e le pietre mentre come "materiali lapidei artificiali" si intendono quei materiali da costruzione che non sono utilizzati allo stato naturale ma che derivano da procedimenti di combinazione e trasformazione (laterizi, cementi decorativi, ecc..).

CLASSIFICAZIONE DELLE ROCCE

Le rocce sono aggregati naturali di uno ***(rocce monomineraliche)*** o più minerali ***(rocce polimineraliche)*** che costituiscono parte della crosta terrestre.

Tutte le rocce derivano, sostanzialmente, da tre processi chimico-fisici fondamentali:

- cristallizzazione di un magma (***rocce magmatiche o ignee***)
- precipitazione da una soluzione e/o deposizione di sedimenti ***(rocce sedimentarie)***
- ricristallizzazione allo stato solido ***(rocce metamorfiche)***



ROCCE MAGMATICHE O IGNEE

Le rocce magmatiche sono il prodotto finale della solidificazione per raffreddamento di un magma (massa fusa di composizione silicatica formata da un miscuglio di liquido, gas e cristalli originatasi ad alta temperatura nelle profondità terrestri).

Rocce magmatiche intrusive (rocce plutoniche): raffreddamento lento e graduale all'interno della crosta terrestre; caratterizzate da strutture granulari.
(ad esempio i graniti)

Rocce magmatiche effusive (rocce vulcaniche): rapido raffreddamento del magma che fuoriesce sulla superficie terrestre (lava); caratterizzate da una massa di fondo composta da minutissimi cristalli in cui sono inclusi pochi grandi cristalli ben formati (*struttura porfirica*).
(ad esempio i porfidi)

Granito rosa, Baveno (Novara)

ROCCE SEDIMENTARIE

Prodotto del consolidamento di sedimenti, accumuli di materiali disciolti (frammenti di rocce, fossili, ecc.), più o meno grossolani (clasti) o di precipitazione di sali da soluzioni sature con o senza il possibile contributo di organismi vegetali o animali.

Rocce clastiche o detritiche: costituite da frammenti derivati dall'erosione di rocce preesistenti di natura varia (*clasti*) e/o da scheletri e gusci di organismi (*bioclasti*).
(ad esempio arenarie, brecce e puddinghe)

Rocce di origine chimica: le rocce carbonatiche, tra le più importanti rocce di origine chimica, sono costituite, per definizione, da almeno il 50% di carbonati (calcio o di calcio e magnesio) ma in natura sono frequenti rocce carbonatiche pure, costituite quasi esclusivamente da calcite (calcari).

Breccia (lastra lucidata), Camaiore, Lucca

Puddinga, Montorfano, Brescia

Arenaria, Brianza, Como

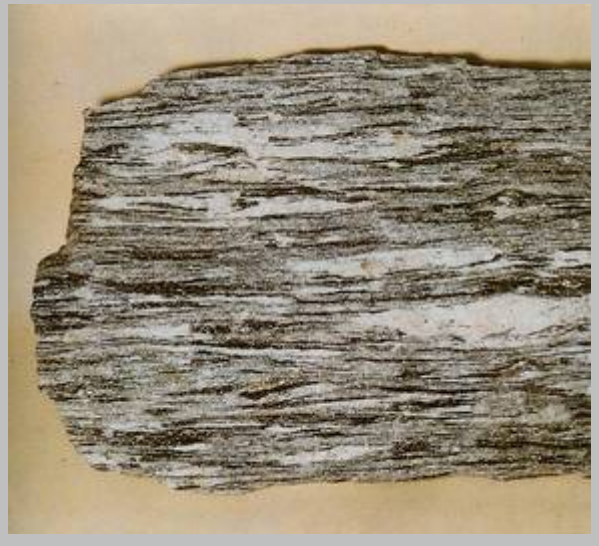
ROCCE METAMORFICHE

Sono rocce che hanno subito modificazioni tessiturali, strutturali e mineralogiche (ricristallizzazione) in seguito a mutamenti di di temperatura e pressione (***metamorfismo***).

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

(ad esempio: marmi – roccia originaria sedimentaria; gneiss – roccia originaria magmatica)

Marmo rosa, Candoglia, Novara



Gneiss, Val d'Ossola (Novara)

Tipica di alcune rocce metamorfiche la **tessitura scistosa** (possibilità di dividersi in lastre sottili secondo piani subparalleli).

DEGRADO DEI MATERIALI LAPIDEI

I fattori che influenzano il degrado dei materiali lapidei possono dipendere da:

- ***Caratteristiche petrografiche:***
  - Composizione mineralogica
  - Tessitura ⇒ ad esempio le rocce porose facilitano l'assorbimento di acqua
- ***Condizioni della messa in opera*** ⇒ ad esempio le pietre basamentali saranno soggette a maggiore degrado
- ***Stato della superficie*** ⇒ più la superficie è liscia maggiore è in genere la sua durata nel tempo
- ***Forma del litotipo*** ⇒ le parti più esposte sono gli spigoli ed in genere qualsiasi tipo di aggetto

Basilica S. Ambrogio a Milano. Situazioni di degrado differenziato (paraste dell'atrio) in relazione al tipo di materiale lapideo impiegato.

DEGRADO DEI MATERIALI LAPIDEI

Le azioni che concorrono ad degrado dei materiali lapidei si possono sintetizzare in:

- **Azioni fisico-meccaniche**
  - dilatazioni termiche
  - gelo e disgelo
  - umidità (dissoluzione e cristallizzazione dei sali solubili)
  - azioni del vento, ecc.

Degrado materiale lapideo dovuto a fenomeni di gelo e disgelo

DEGRADO DEI MATERIALI LAPIDEI

- **Azioni chimiche**
  - ***Azione dell'anidride carbonica***
    - ⇒ dissociazione dei silicati (sono costituiti da silicati le rocce eruttive come graniti, sieniti, basalti, ecc…) con formazione di prodotti di alterazione solubili che vengono dilavati dalle acque meteoriche
    - ⇒ trasformazione dei carbonati (carbonato di calcio componente essenziale di calcari e marmi) in bicarbonati, solubili, che vengono dilavati
  - ***Azione dell'acido solforico (anidride solforosa + acqua)***
    - ⇒ il carbonato di calcio a contatto con l'acido solforico tende a trasformarsi in solfato di calcio ovvero gesso, formando, quando non dilavato, una crosta gessosa bianca che, a causa del particellato atmosferico, diventa nera.

Degrado materiale lapideo dovuto ad azioni acide dell'atmosfera

DEGRADO DEI MATERIALI LAPIDEI

- **Azioni biologiche**
  - attacchi da batteri, muschi, licheni ed alghe
  - azioni distruttive prodotte dalle radici di piante ad alto fusto, ecc.

Degrado materiale lapideo dovuto all'azione distruttiva di radici

FENOMENI DI DEGRADO

Deposito superficiale (accumulo di materiali estranei di varia natura, quali, ad esempio, polvere, terriccio, guano, ecc.)

Incrostazioni compatte costituite dalla combinazione di particellato atmosferico e guano.

FENOMENI DI DEGRADO

Ceppo lombardo: presenza di **crosta**, strato superficiale di alterazione del materiale lapideo o dei prodotti utilizzati per eventuali trattamenti. Di spessore variabile è dura, fragile, distinguibile dalle parti sottostanti per le caratteristiche morfologiche e, spesso, per il colore. Può distaccarsi anche spontaneamente dal substrato che, in genere, si presenta disgregato e/o polverulento.
Nel caso specifico si può riscontrare la ***crosta nera*** (generalmente di colore grigio o nerastro e costituita da componente gessosa).

FENOMENI DI DEGRADO

Depositi superficiali, patine biologiche e **croste nere** presenti nei sottosquadri e nelle zone protette dal ruscellamento delle acque meteoriche.

FENOMENI DI DEGRADO

Marmo di Carrara: presenza di diffuse e spesse **concrezioni** calcaree bianche (calcite ed aragonite) dovute al continuo riflusso nel tempo di un'acqua "dura", di spesse **patine biologiche** (alghe verdi) e muschi ed infiltrazioni nella matrice cristallina di sali di ferro prevenienti dalle tubature.

FENOMENI DI DEGRADO

Alveolizzazione (formazione di cavità di forme e dimensioni variabili).

FENOMENI DI DEGRADO

Pietra d'Angera: fenomeni di **disgregazione** ed **esfoliazione** degli strati corticali, presenza di ampie **efflorescenze saline.**

FENOMENI DI DEGRADO

Fenomeni di **disgregazione** (decoesione caratterizzata da distacco di granuli o cristalli sotto minime sollecitazioni meccaniche) ed **erosione** (asportazione di materiale dalla superficie dovuta a processi di natura diversa).

FENOMENI DI DEGRADO

Marmo di Carrara: presenza di **incrostazioni** (depositi stratiformi, compatti e generalmente aderenti al substrato, composti da sostanze inorganiche o da strutture di natura biologica).

FENOMENI DI DEGRADO

Macchia (pigmentazione accidentale e localizzata della superficie correlata alla presenza di materiale estraneo al substrato, per esempio: ruggine, sali di rame, sostanze organiche, vernici).

FENOMENI DI DEGRADO

Fratturazione o fessurazione (formazione di soluzioni di continuità nel materiale e che può implicare lo spostamento reciproco delle parti).

Mancanza (caduta e perdita di parti).

FENOMENI DI DEGRADO

Mancanza (caduta e perdita di parti).

FENOMENI DI DEGRADO

Presenza di vegetazione

Patina biologica (strato sottile, morbido e omogeneo, aderente alla superficie e di evidente natura biologica, di colore variabile, per lo più verde).

FENOMENI DI DEGRADO

Esempio dell’azione distruttiva delle radici delle piante

INDAGINI PRELIMINARI ALL'INTERVENTO

La conoscenza del materiale lapideo e del suo stato di conservazione è condizione necessaria per progettare ed eseguire un corretto intervento di conservazione o manutenzione e per valutare le diverse possibilità operative.

Indagini analitiche:

- studio petrografico della roccia, caratteristiche di struttura e tessitura;
- studio delle proprietà fisiche (permeabilità, coefficiente di assorbimento, porosità, ecc.);
- studio dello stato di alterazione (presenza di sali, microrganismi, caratteristiche dello sporco e dei materiali di neoformazione);
- studio del microclima.

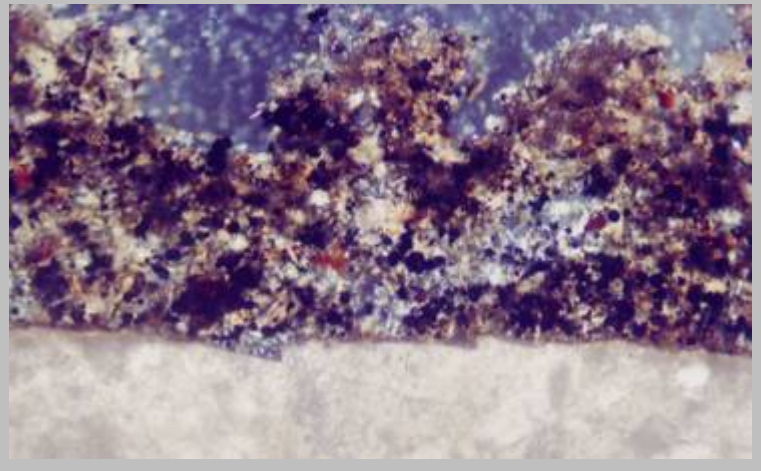
Prove di assorbimento capillare in cantiere e analisi microstratigrafica.

INDAGINI PRELIMINARI ALL'INTERVENTO

Indagine mineralogico-petrografica in sezione sottile

Punto di prelievo del campione

Roccia calcarea clastica organogena con matrice micritica calcarea e cemento sparitico calcitico (pietra d'Aurisina). Il lapideo non evidenzia porosità di rilievo**.**
Sezione sottile, luce trasmessa, 40 X, N+



La foto mette in evidenza la spessa crosta nera superficiale a base di gesso, carbonato di calcio, particelle carboniose e polveri silicatiche ricche in ossidi di ferro variamente idratati.
Sezione sottile, luce trasmessa, 40 X, N+

INDAGINI PRELIMINARI ALL'INTERVENTO

Analisi quantitativa dei sali solubili mediante cromatografia ionica ⇒ una frazione del campione dopo essiccazione, macinazione ed omogeneizzazione è stata posta in acqua distillata allo scopo di estrarre i sali solubili eventualmente presenti; la soluzione è stata quindi analizzata mediante cromatografia ionica.

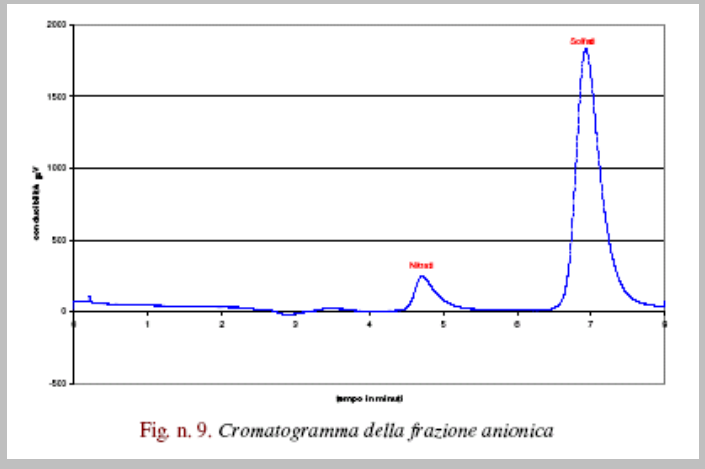


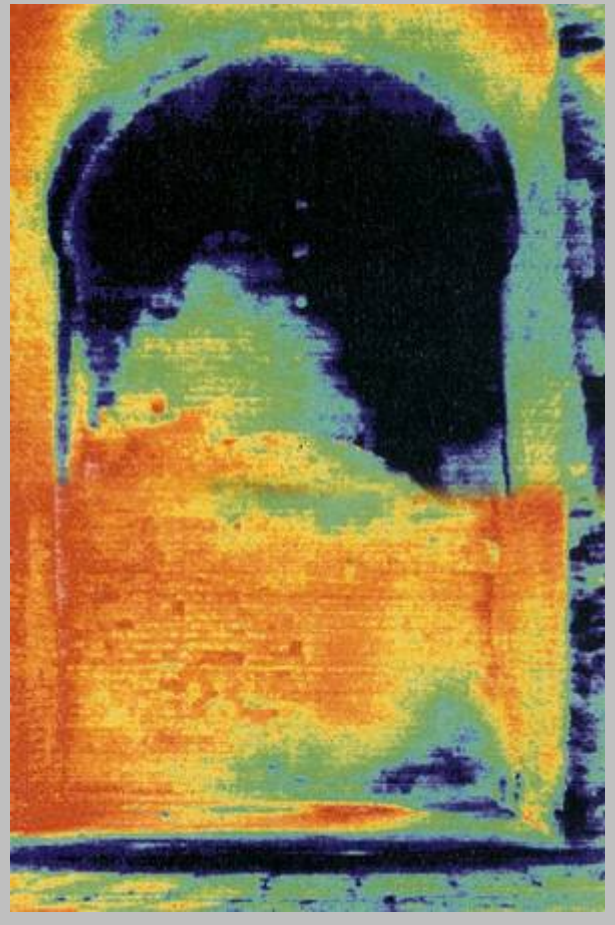
Fig. n. 9. *Cromatogramma della frazione anionica*

Tab. 5: risultati indagine HPLC

Parametro	*U.M.*	*Valori*
Calcio	%	1.12
Magnesio	%	1.76
Potassio	%	0.84
Sodio	%	0.51
Solfati	%	4.38
Cloruri	%	-
Nitrati	%	0.66
Sali totali	%	9.27

INDAGINI PRELIMINARI ALL'INTERVENTO

Termografia ⇒ la termovisione all'infrarosso è una tecnica di misura telemetrica della radiazione infrarossa emessa dai corpi con temperatura superiore allo 0° assoluto.
Consente di acquisire la mappa bidimensionale delle misure radiometriche e di trasformarle nell'immagine rappresentativa della distribuzione della temperatura superficiale.



CAMPIONATURE

Colonna del Verziere, Milano – Prove di pulitura.

TECNICHE DI INTERVENTO

Gli interventi di manutenzione e conservazione dei materiali lapidei, che in genere si rendono necessari per contrastare le azioni degradanti dell'ambiente, si sostanziano nelle operazioni di:

PRECONSOLIDAMENTO

PULITURA

RIADESIONE

STUCCATURE E SIGILLATURE

CONSOLIDAMENTO (o riaggregazione)

PROTEZIONE

Non sono sempre tutte necessarie e non è detto che debbano essere eseguite nell'ordine indicato.

PRECONSOLIDAMENTO

Il preconsolidamento si rende necessario, prima della pulitura, quando il materiale lapideo presentasse un avanzato stato di degrado (presenza di polverizzazioni ed esfoliazioni).

Colonna del Verziere a Milano, basamento in pietra di Viggiù – Sequenza delle fasi di preconsolidamento di zone profonde e distaccate.

PULITURA

Lo scopo della pulitura è la rimozione di quanto è dannoso per il materiale lapideo ovvero sali solubili, incrostazioni scarsamente solubili o insolubili, stratificazioni di materiali estranei, vegetazione infestante, deiezioni animali, rispettando non solo le policromie e patine naturali, ma anche lo strato più superficiale del materiale lapideo (NORMAL 20/85).

La pulitura è una delle **operazioni più critiche** dell'intervento di conservazione, pertanto dovranno essere privilegiati metodi selettivi e controllabili, evitando di aumentare la porosità del materiale e di portare in circolo prodotti dannosi (per esempio sali solubili).

PULITURA

… attenzione alla conservazione di patine naturali e policromie

Basilica di S. Ambrogio a Milano: a seguito di prime prove di pulitura, eseguite con impacchi, sono state rinvenute tracce di coloriture originali.

PULITURA

Nelle operazioni di pulitura devono essere tenute presenti anche questioni di natura storico-critica relative alla necessità di conservare anche i “segni” del passaggio del tempo impressi sul materiale lapideo.

Battistero di Parma: un intervento che ha fatto discutere.

PULITURA

Nel caso delle grandi superfici edilizie in buono stato di conservazione sono utilizzabili metodi più rapidi ed economici ma sempre rispettosi del materiale, se adeguatamente utilizzati e calibrati.

Esistono **metodi di intervento sempre sconsigliati** su qualunque tipo di superficie:

- sabbiatura
- idrosabbiatura
- getti d'acqua a forte pressione
- pulitura con dischi abrasivi rotanti o spazzole metalliche
- pulitura con acidi o basi forti

PULITURA – Acqua nebulizzata

Lavaggio detergente ed emoliente con impiego di acqua deionizzata erogata a bassissima pressione da appositi ugelli atomizzatori.

Fontana del Verziere in Piazza Fontana, Milano – Pulitura con acqua nebulizzata.

PULITURA – Acqua nebulizzata

Marmo di Candoglia – Pulitura sperimentale con acqua nebulizzata.

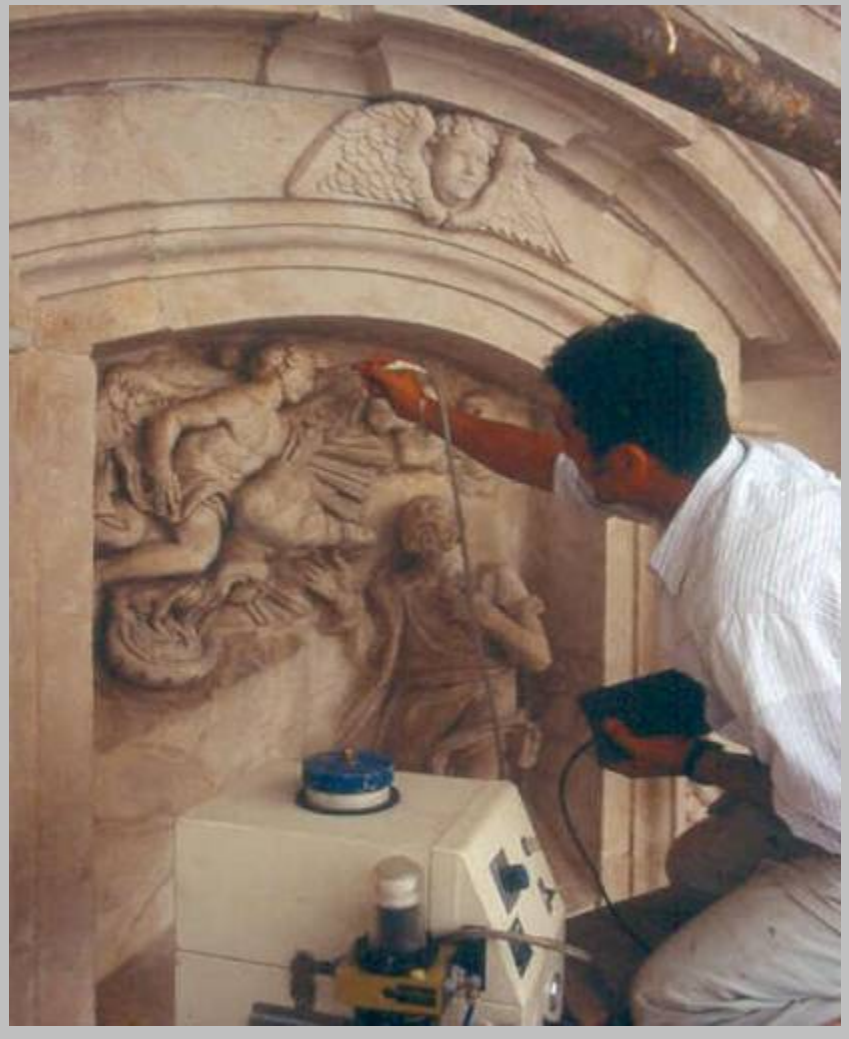
Campione prima della pulitura

Campione dopo 90 minuti di nebulizzazione: si nota la permanenza di residui di crosta nera

Campione dopo 300 minuti di nebulizzazione: la superficie risulta completamente pulita

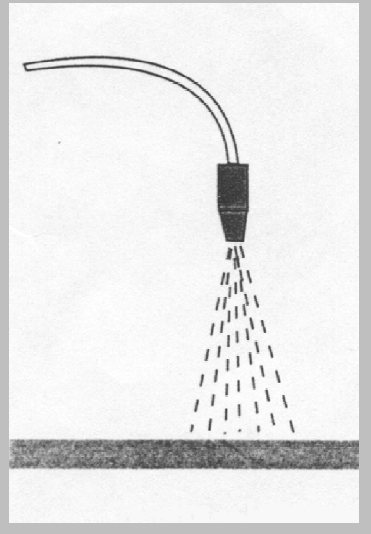
PULITURA – microsabbiatura a secco

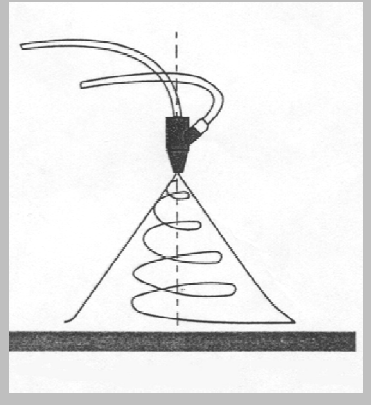
Pulitura mediante un fine getto di polveri (microparticelle di varia natura e durezza) erogato a bassa pressione da apposita attrezzatura dotate di matita munita di ugello.



PULITURA – Microaerabrasivatura ad umido (metodo brevettato)

Utilizzo di un getto pulitore graduabile e selettivo, formante un vortice d'aria elicoidale a bassissima pressione che consente alla miscela di aria, acqua ed abrasivo finissimo di colpire la superficie da pulire secondo direzioni subtangenziali alla stessa e comunque secondo più angoli di incidenza.





PULITURA – Impacchi

Impacchi a base di soluzioni ad azione solvente e/o complessante mediante materiali ispessenti (ad esempio polpa di carta, sepiolite, attapulgite).

IMPACCHI A BASE DI ACQUA DISTILLATA

IMPACCHI SOLVENTI

IMPACCHI CON SOLUZIONI LEGGERMENTE BASICHE

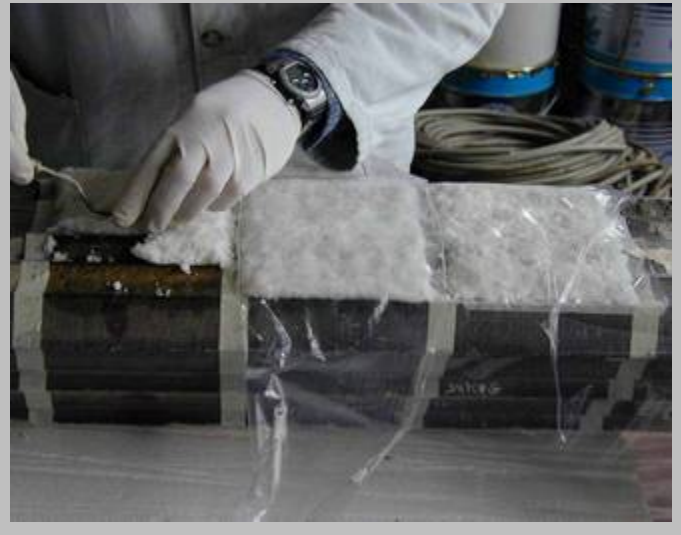
- **AB57 (formulazione ICR):**

Acqua distillata	1000 cc
Bicarbonato d'ammonio	30 gr
Bicarbonato di sodio	50 gr
EDTA (sale bisodico dell'acido etilendiammino-tetraedrico)	25 gr
NeoDesogen (biocida)	10 cc
Carbossimetilcellulosa	60 gr

- **Carbonato di ammonio**

PULITURA – Impacchi

Pulitura sperimentale con impacchi.



PULITURA – Laser

I sistemi disponibili per la pulitura sono apparecchiature a luce impulsata (possibilità di modulare i parametri di emissione del raggio luminoso, la densità di energia, la durata e la frequenza degli impulsi): lo “sporco” assorbe l’energia luminosa, gli strati di deposito vaporizzano, si produce un gas caldo che dilatandosi rapidamente provoca un effetto di “spallazione” e il conseguente distacco di particelle residue.

Pulitura sperimentale con laser.

PULITURA di macchie di ruggine e sali di rame

PULITURA - Estrazione sali solubili

PULITURA da biodeteriogeni

PULITURA di scritte vandaliche

CONSOLIDAMENTO

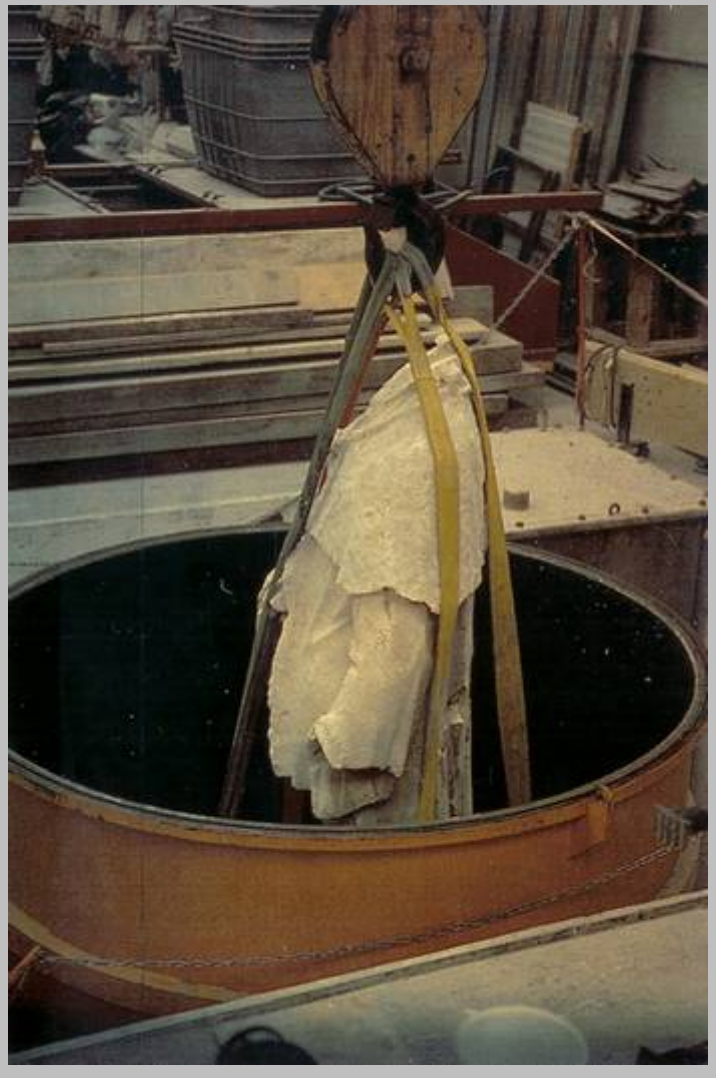
Per trattamento di consolidamento o riaggregazione si intende l'impregnazione del materiale (*decoesionato, disaggregato, polverizzato, ecc*.) con un prodotto che, penetrando in profondità, migliori la coesione del materiale alterato e l'adesione fra questo ed il substrato sano (NORMAL 20/85).

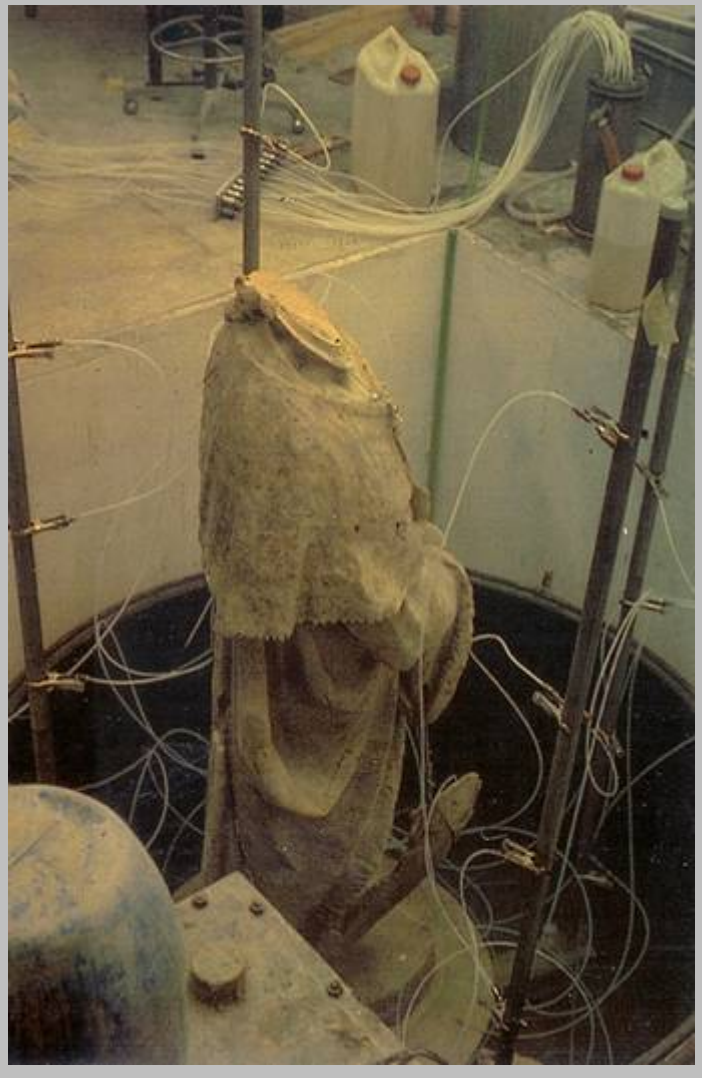
Il prodotto consolidante dovrà rispondere ad alcune esigenze fondamentali (NORMAL 20/85):

- non provocare la formazione di sottoprodotti secondari e dannosi;
- venire uniformemente assorbito dal materiale da consolidare e raggiungere tutto il materiale alterato, collegandolo alla parte sana più interna;
- presentare un coefficiente di dilatazione termica non molto difforme da quello del materiale da trattare per non essere causa di fessurazioni o sgretolamenti;
- conservare l'aspetto esteriore, evitando fenomeni di scurimento o di imbiancamento, formazione di macchie o di pellicole lucide ed ingiallimento sotto l'azione della luce.

CONSOLIDAMENTO – Impregnazione sottovuoto e per immersione

Consolidamento in autoclave di una statua dell'Isola di Memmia di Prato della Valle (PD).



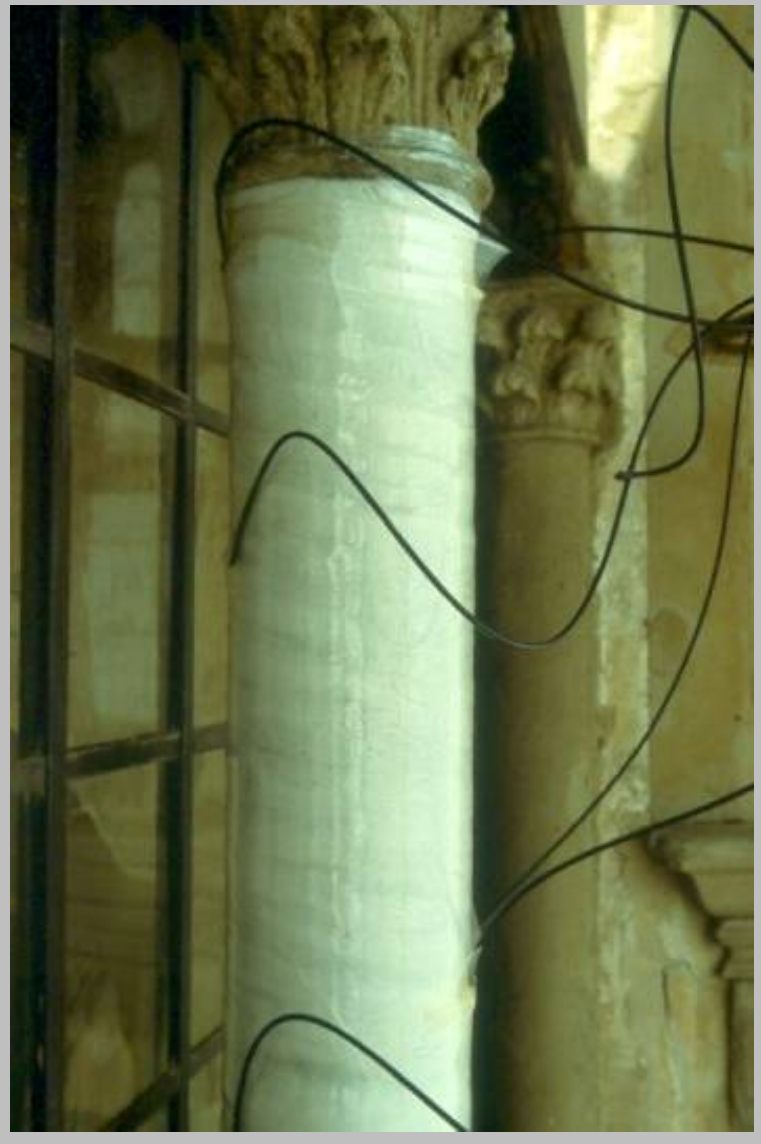


CONSOLIDAMENTO – Applicazione a pennello/spruzzo

Applicazione a spruzzo fino a “rifiuto” di prodotto consolidante.

CONSOLIDAMENTO – Applicazione a impacco

Applicazione del consolidante per mezzo di cannule distribuite su tutta la superficie da consolidare.



CONSOLIDAMENTO – Applicazione a impacco

La Cà Granda di Milano - Modalità di impregnazione di superfici orizzontali e intradossi, fissaggio dell'impacco, erogazione del liquido riaggregante.

STUCCATURE, SIGILLATURE

L’operazione di stuccatura ha lo scopo di colmare le discontinuità presenti sulle superfici dei materiali lapidei, in modo da ridurre la possibilità di infiltrazione di acqua (o delle soluzioni aggressive) ed evitare l'accumulo negli interstizi di polveri e di particellato che potrebbero favorire lo sviluppo di infestanti.

STUCCATURE, SIGILLATURE

Protezione delle superfici prima della sigillatura, esecuzione di sigillatura in profondità e di sigillatura superficiale.

Monumento a Giuseppe Parini, Milano – Rimozione delle stuccature cementizie ed esecuzione delle stuccature a livello dell'esedra in serizzo.

RIADESIONE

Riadesione di parti di pietra, parzialmente o totalmente distaccate, mediante l'applicazione di collanti (buona adesività, basso ritiro, resistenza meccanica molto elevata, opportuna rigidità ed elasticità) ed eventuale inserimento di perni (acciaio inox, vetroresina, ecc.).

Colonna del Verziere, Milano - Fasi di riadesione delle parti distaccate della mensola in granito.

RIADESIONI

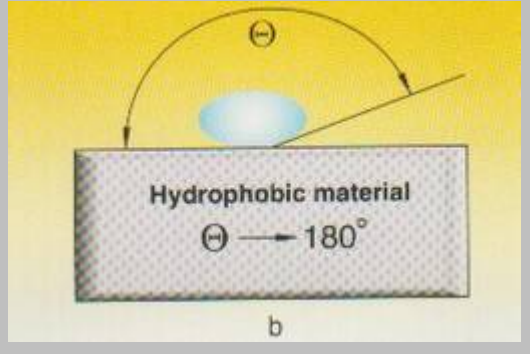
Messa in sicurezza di elementi distaccati con predisposizione di imperniature.

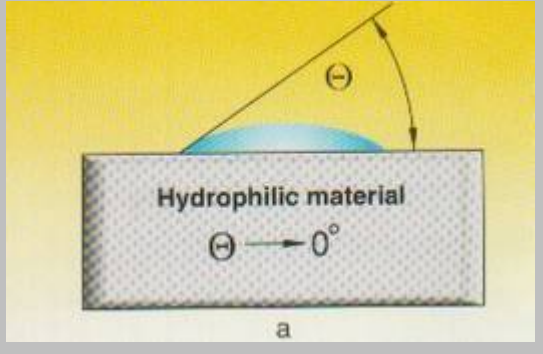
PROTEZIONE

L'obiettivo del trattamento di protezione è rallentare i processi di deterioramento mediante l'uso di sostanze che, applicate sul materiale funzionano da schermo tra la superficie lapidea e l'ambiente, proteggendo il manufatto dall'acqua e dagli inquinanti presenti nell'atmosfera.

Nella scelta dei prodotti protettivi si terrà conto dei seguenti requisiti (NORMAL 20/85):

- inerzia chimica nei riguardi del materiale;
- assenza di sottoprodotti dannosi anche a distanza di tempo dall'applicazione;
- buona stabilità chimica, in particolare rispetto agli inquinanti e all'ossigeno;
- buona stabilità alle radiazioni UV;
- bassa permeabilità all'acqua liquida (idrorepellenza);
- buona permeabilità al vapore acqueo;
- influenza minima sulle proprietà ottico-cromatiche della superficie.





PROTETTIVI ANTISCRITTA

I **sistemi antiscritta** sono costituiti da protettivi trasparenti, con spiccate caratteristiche di idrorepellenza (che impediscono l'adesione delle scritte deturpanti) e da prodotti solventi specifici (**graffiti remover**) in grado di sciogliere la sostanza imbrattante applicata sopra il protettivo.

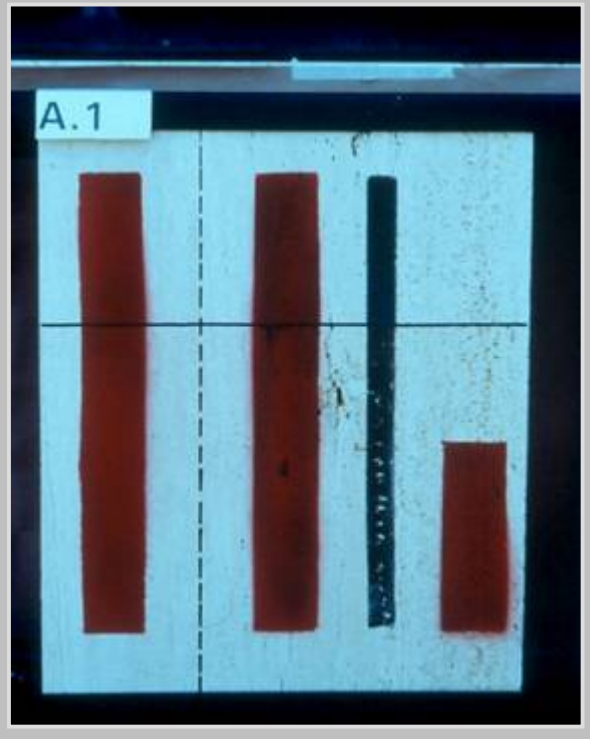
Sono distinguibili due categorie:

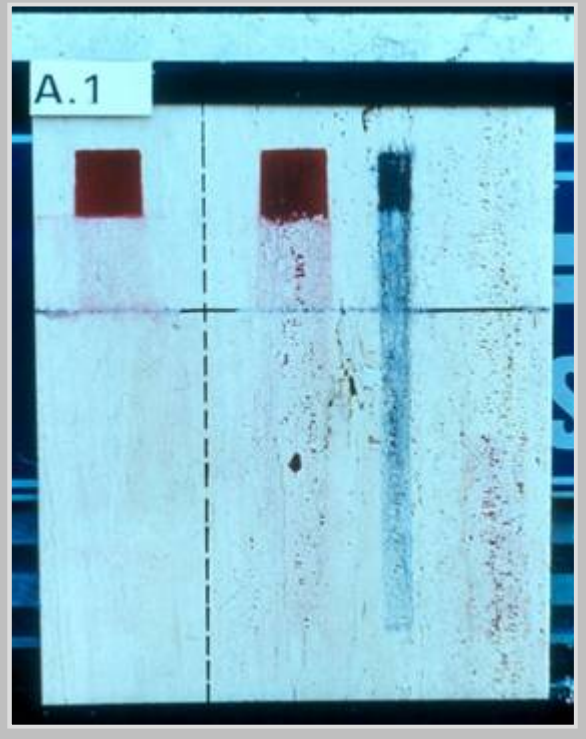
- **Sistemi sacrificali** (sopportano un solo ciclo di pulitura);
- **Sistemi non sacrificali** (sopportano più cicli di pulitura).

Graffito a spray acrilico su zoccolatura in ceppo, comportamento dello spray acrilico sulla superficie protetta con il prodotto antiscritta.

PROTETTIVI ANTISCRITTA

Sperimentazione delle prestazioni dei sistemi antiscritta.



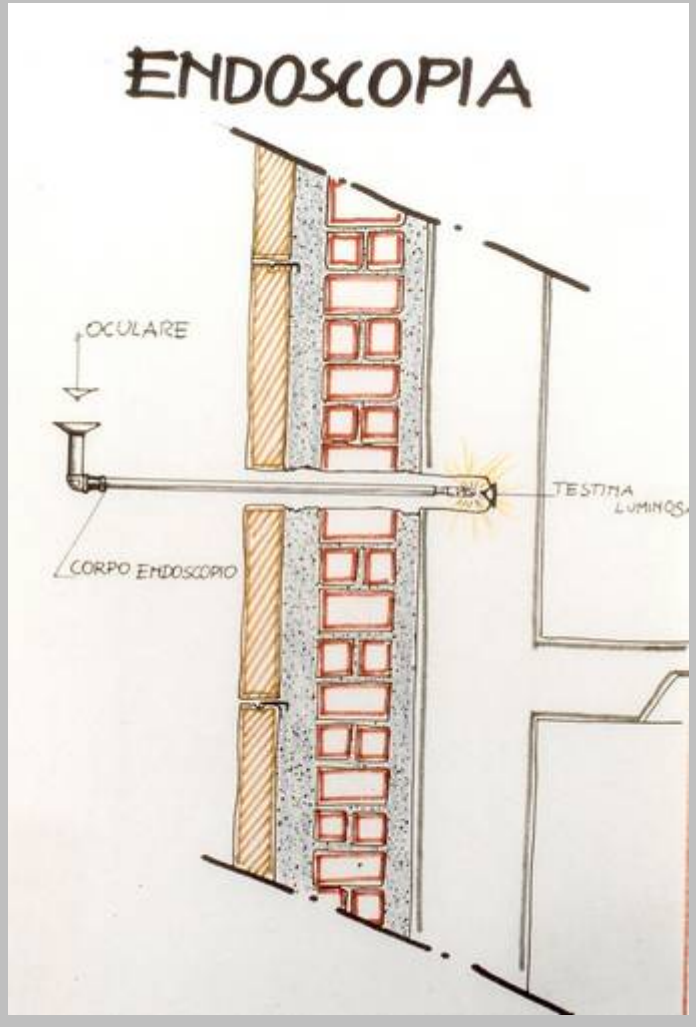


MESSA IN SICUREZZA DI LASTRE LAPIDEE

Fenomeni di degrado: distacco delle lastre.

MESSA IN SICUREZZA DI LASTRE LAPIDEE

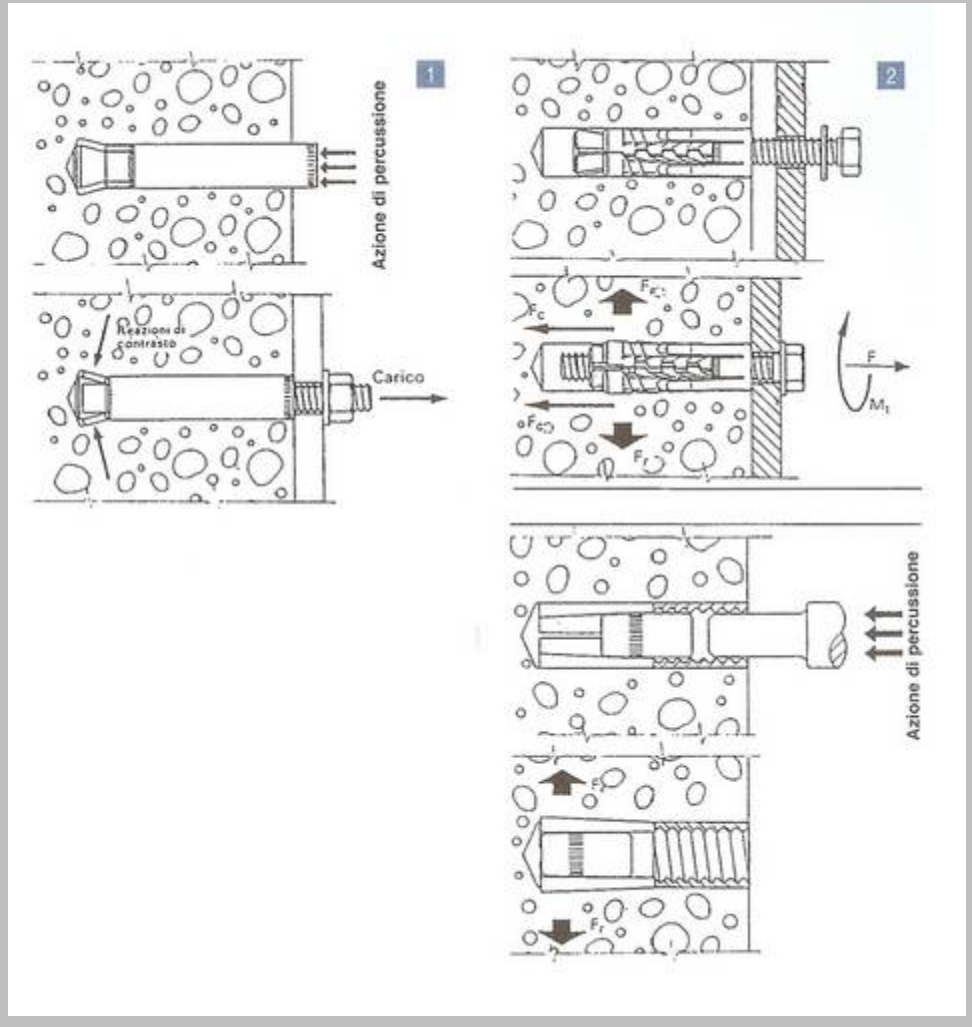
Endoscopia per verificare lo spessore delle lastre, la natura dell'allettamento, la natura del supporto e il suo stato di conservazione, l'entità del distacco della lastra di rivestimento dal supporto, la stabilità dimensionale del supporto e del rivestimento in relazione alle azioni termiche e igrometriche.



Carota con stratificazione del materiale murario.

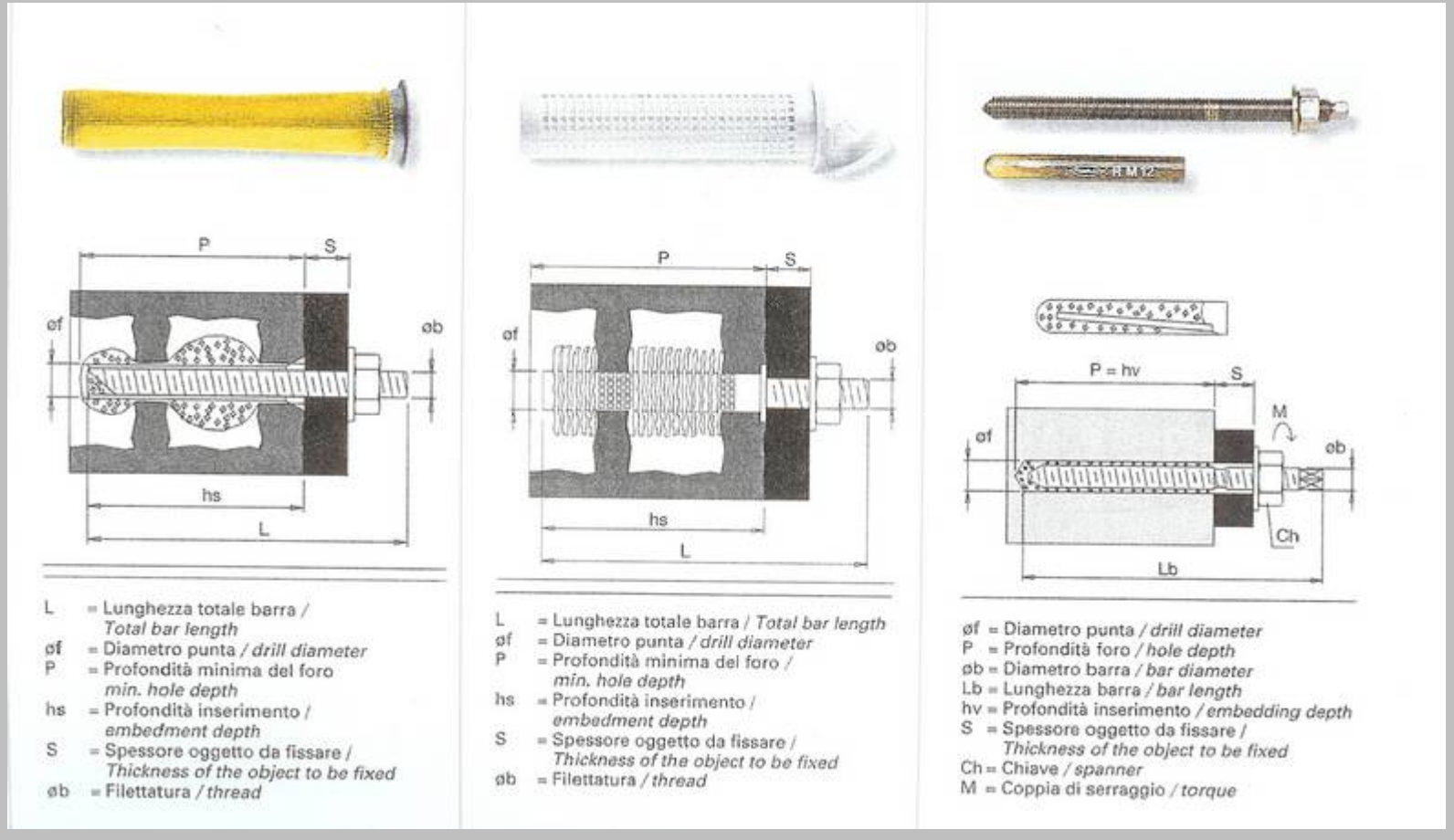
MESSA IN SICUREZZA DI LASTRE LAPIDEE

ANCORANTI MECCANICI (ad espansione forzata o geometrica): sfruttano l'attrito alla superficie di contatto tra l'ancorante e la parete del foro.



MESSA IN SICUREZZA DI LASTRE LAPIDEE

ANCORANTI CHIMICI: consentono applicazioni sia su materiali di supporto compatti che forati, mediante l'iniezione di un componente adesivo contenuto in una fiala o in una cartuccia.



Tassello a calza, tassello a rete, fissaggio chimico con fiala.

BIBLIOGRAFIA

AA.VV., *Le pietre nell'Architettura: struttura e superfici*, Libreria Progetto, Padova, 1991 (Atti del Convegno "Scienza e Beni Culturali").

Alessandrini G., Biscontin G., Peruzzi R., “La conservazione dei materiali lapidei: diagnosi di degrado e di intervento”, in: Bellini A., *Tecniche della conservazione*, Angeli, Milano, 1986 p. 351-461.

Bugini R., Folli L., *Nozioni di petrografia applicata*, Dispensa ad uso degli studenti delle facoltà di Architettura, Libreria Clup, 1997.

Gasparoli P., *Le superfici esterne degli edifici: degradi, criteri di progetto, tecniche di manutenzione*, Alinea, Firenze, 2002.

Lazzarini L., Laurenzi Tabasso M., *Il restauro della pietra*, CEDAM, Padova, 1986.

Raccomandazioni NORMAL 20/85 e 1/88.