

COMUNE DI REGGELLO

PROGETTO DI RESTAURO E RECUPERO FUNZIONALE DELLA FONTANA DELCROIX IN LOCALITA' SALTINO



PROF. ARCH. MASSIMO RICCI

Consulente Scientifico

DOTT. ARCH. LORENZO BANCHI

Progettista



Lorenzo Banchi

TAV

CAPITOLATO SPECIALE DI APPALTO – PARTE TECNICA

[Signature]

INDICE

1	OGGETTO DELL'APPALTO, DEL CAPITOLATO ED OPERE PREVISTE	<i>Errore. Il segnalibro non è definito.</i>
1.1	Oggetto dell'appalto	<i>Errore. Il segnalibro non è definito.</i>
1.2	Oggetto del presente capitolato	<i>Errore. Il segnalibro non è definito.</i>
1.3	Opere previste (architettoniche, restauro)	<i>Errore. Il segnalibro non è definito.</i>
2	NORME PER LA MISURAZIONE E VALUTAZIONE DEI LAVORI	3
2.1	Criteri di valutazione	3
2.2	Opere edili in genere	3
2.3	Interventi su architravi e cornici	5
2.4	Rimozioni, demolizioni	5
2.5	Opere specialistiche	6
3	QUALITÀ E PROVENIENZA DEI MATERIALI	6
3.1	Materiali in genere	6
3.2	Sabbie, ghiaie, argille espanse, pomice, pietre naturali, marmi	7
3.3	Acqua, calci, pozzolane, leganti idraulici, speciali e sintetici	8
3.4	Laterizi	10
3.5	Materiali ferrosi e metalli vari	11
3.6	Legnami	11
3.7	Materiali per pavimenti e rivestimenti	12
3.8	Colori e vernici	12
3.9	Materiali diversi	14
3.10	Prodotti per la pulizia dei materiali porosi	14
3.11	Prodotti impregnanti	16
4	INDAGINI PRELIMINARI AL PROGETTO DI CONSERVAZIONE	23
4.1	Generalità. Tecniche e strumenti	23
4.2	Diagnosi e materiali	28
4.3	Indagini preliminari	37
5	MODI DI ESECUZIONE DI OGNI CATEGORIA DI LAVORO	43
5.1	Lavori preliminari	43
5.2	Pulitura dei materiali	45
5.3	Consolidamento dei materiali	49
5.4	Protezione dei materiali	51
5.5	Malte e conglomerati	52
5.6	Vespai e Sottofondi	57
5.7	Murature e strutture verticali - Lavori di costruzione	58
5.8	Murature e strutture verticali - Lavori di conservazione	59
5.9	Coperture, controsoffitti, impermeabilizzazioni	60
5.10	Consolidamento e conservazione di manufatti in legno	62
5.11	Consolidamento e conservazione di strutture e manufatti in metallo	65

5.12 Pavimenti , rivestimenti e zoccolini	66
5.13 Intonaci e decorazioni, interventi di conservazione	69
5.14 Tecniche di eliminazione dell'umidità	75
5.15 Opere in legname	77
5.16 Opere in ferro, acciaio	79
5.17 Opere da vetraio	81
5.18 Opere da stagnaio in genere.....	81
5.19 Opere da decoratore	82
6 COLLOCAMENTO IN OPERA	84
6.1 Norme generali	84
6.2 Lavori eventuali non previsti.....	85

2 NORME PER LA MISURAZIONE E VALUTAZIONE DEI LAVORI

2.1 Criteri di valutazione

Qualora non sia diversamente indicato nelle singole voci, la quantità delle opere sarà valutata con metodi geometrici oppure a peso secondo le seguenti specifiche generali.

2.1.1 Ponteggi e puntellazioni

I ponteggi esterni ed interni di altezza sino a mt 4 dal piano di posa si intendono sempre compensati con la voce di elenco prezzi relativa al lavoro che ne richiama l'installazione. Ponteggi di maggior altezza, quando necessari, si intendono compensati a parte, una sola volta, per il tempo necessario alla esecuzione delle opere di riparazione, conservazione, consolidamento, manutenzione.

2.1.2 Trasporti

I trasporti di terre o altro materiale sciolto verranno valutati in base al volume prima dello scavo, per le materie in cumulo prima del carico su mezzo senza tener conto dell'aumento di volume all'atto dello scavo o del carico, oppure a peso con riferimento alla distanza. Qualora non sia diversamente precisato in contratto, sarà compreso il carico e lo scarico dei materiali ed ogni spesa per dare il mezzo di trasporto in piena efficienza.

2.1.3 Noleggi

Le macchine e gli attrezzi dati a noleggio devono essere in perfetto stato di servibilità e provvisti di tutti gli accessori necessari per il loro regolare funzionamento.

Sono a carico esclusivo dell'Appaltatore la manutenzione degli attrezzi e delle macchine. I prezzi di noleggio di meccanismi in genere, si intendono corrisposti per tutto il tempo durante il quale i meccanismi rimangono a piè d'opera a disposizione dell'Amministrazione, e cioè anche per le ore in cui i meccanismi stessi non funzionano, applicandosi il prezzo prestabilito.

Nel prezzo di noleggio sono compresi gli oneri e tutte le spese per il trasporto a piè d'opera, montaggio, smontaggio ed allontanamento di detti meccanismi.

Per il noleggio di carri ed autocarri il prezzo verrà corrisposto soltanto per le ore di effettivo lavoro, rimanendo escluso ogni compenso per qualsiasi altra causa o perdita di tempo.

2.2 Opere edili in genere

2.2.1 Murature in genere

Le opere in muratura verranno in generale misurate al vivo (escludendo lo spessore degli intonaci) con l'applicazione di metodi geometrici a volume o a superficie come indicato nelle singole voci. Nelle murature di spessore superiori a cm 15 da misurarsi a volume, si detraranno i vuoti per incassi larghi cm 40 per qualsiasi profondità e lunghezza, nonché per incassi a tutto spessore la cui sezione verticale retta abbia superficie superiore a mq 1. Le murature di spessore fino a cm 15 si misureranno a superficie effettiva con la sola detrazione di vuoti aventi superficie superiore a mq 1. Per questi ultimi muri contro terrapieni è sempre compresa l'eventuale formazione di feritoie regolari e regolarmente disposte per lo scolo delle acque e in generale delle immorsature e la costruzione di tutti gli incastri per la posa in opera della pietra da taglio artificiale.

Nei prezzi sono compresi gli oneri per la formazione di spalle, sguinci, spigoli, incassature per imposte di archi, piattabande e formazione di feritoie per scolo acqua o ventilazione.

Saranno valutate con i prezzi delle murature rettilinee senza alcun compenso in più, anche quelle eseguite ad andamento planimetrico curvilineo.

Le ossature di cornici, cornicioni, lesene, pilastri, ecc., di aggetto superiore a cm 5 sul filo esterno del muro saranno valutate per il loro volume effettivo in aggetto con l'applicazione dei prezzi di tariffa stabiliti per le murature. Per le ossature di aggetto inferiore o uguale a cm 5 non verrà applicato alcun sovrapprezzo.

Quando la muratura in aggetto è diversa da quella del muro sul quale insiste, la parte incastrata sarà considerata come della stessa specie del muro stesso. Le murature di mattoni ad una testa o in foglio si misureranno a vuoto per pieno, al rustico, deducendo soltanto le aperture superiori a mq 1, intendendo nel prezzo compensata la formazione di sordini, piattabande, spalle, ecc., nonché eventuali intelaiature in legno che la D.L. ritenesse opportuno di ordinare allo scopo di fissare i serramenti al telaio, anziché alla parete.

2.2.2 Murature ed opere in pietra naturale da taglio

La pietra da taglio da pagarsi a volume sarà sempre valutata a metro cubo in base al volume del primo parallelepipedo retto circoscrivibile a ciascun pezzo. Le lastre, i lastroni e gli altri manufatti da pagarsi a superficie saranno valutati in base alla somma del minimo rettangolo circoscrivibile. Per le categorie da misurarsi a sviluppo lineare, questo andrà misurato in opera secondo misure a vista. Per le pietre di cui una parte viene lasciata grezza si comprenderà anche questa nella misurazione, non tenendo però alcun conto delle eventuali maggiori sporgenze della parte non lavorata in confronto con le dimensioni assegnate dai tipi descritti.

Nei prezzi relativi di elenco si intendono sempre compresi tutti gli oneri specificati nelle norme sui materiali e sui modi di esecuzione.

2.2.3 Rivestimenti

I rivestimenti saranno misurati (esclusi quelli in pietra naturale) secondo la superficie effettivamente vista qualunque sia la sagoma e la posizione delle pareti da rivestire. Nel prezzo a mq sono comprese la fornitura e la posa in opera di tutti i pezzi speciali di raccordo, gusci, angoli ecc., che saranno computati nella misurazione, nonché l'onere per la stuccatura finale dei giunti e la preventiva preparazione con malta delle pareti da rivestire.

2.2.4 Fornitura di marmi, pietre naturali o artificiali

I prezzi indicati in elenco comprenderanno gli oneri per la fornitura, lo scarico nell'ambito del cantiere, il deposito e la provvisoria protezione in deposito, la ripresa, il successivo trasporto ed il sollevamento al piano di lavoro dei materiali a qualsiasi altezza, con eventuale protezione, copertura e fasciatura, per ogni successivo sollevamento e per ogni ripresa con boiacca di cemento o altro materiale, per la fornitura di grappe, regoli, staffe, perni, chiavette, lastre di piombo, viti, tasselli, supporti e/o telai metallici occorrenti per il fissaggio, per ogni lavorazione occorrente alle strutture murarie e per la successiva chiusura, stuccatura e sigillatura del supporto murario e dei giunti, per la completa ed accurata pulitura, per la protezione a mezzo di opportune opere provvisorie dei manufatti già posti in opera. Saranno compresi e compensati nel prezzo anche gli oneri dell'imbottitura dei vani dietro ai pezzi stessi o comunque tra le pietre e le opere murarie da rivestire in modo da eseguire collegamenti ed incastri a perfetta Regola d'Arte.

2.2.5 Intonaci

I prezzi dei rinzaffi e degli intonaci saranno applicati alla superficie intonacata senza tener conto delle superfici laterali di risalti, lesene e simili. Tuttavia saranno valutate anche tali superfici laterali quando la loro larghezza superi cm 5. Varranno sia per superfici piane che curve.

I prezzi dell'elenco valgono anche per intonaci su murature di mattoni forati dello spessore maggiore di una testa, essendo essi comprensivi dell'onere dell'intasamento dei fori dei laterizi. Gli intonaci interni sui muri di spessore maggiore di cm 15 saranno computati a vuoto per pieno, a compenso dell'intonaco nelle riquadrature dei vani, che non saranno perciò sviluppate. Tuttavia saranno detratti i vani di superficie maggiore a mq 4, valutando a parte la riquadratura di detti vani.

Gli intonaci interni su tramezzi in foglio o ad una testa saranno computati per la loro superficie effettiva. Le superfici di intradosso delle volte, di qualsiasi monta e forma, verrà determinata con una maggiorazione pari a 1/3 della superficie in proiezione orizzontale.

2.2.6 Serramenti in legno

Gli infissi come porte, finestre, vetrate, coprirulli e simili si valuteranno a superficie che verrà misurata su una sola faccia secondo le dimensioni esterne del telaio fisso, siano essi semplici o a cassettoni, senza tener conto degli zampini da incassare nei pavimenti o soglie. Analogamente si misureranno a superficie con lo stesso criterio, le pareti mobili. Le parti centinate saranno valutate secondo la superficie del minimo rettangolo circoscritto, ad infisso chiuso compreso il telaio maestro se esistente. Comprese e compensate nel prezzo saranno mostre e contromostre. Misure a spessori indicati nelle voci a tariffa debbono risultare a lavoro compiuto. Tutti i serramenti dovranno essere completi della ferramenta di sostegno e di chiusura, delle codette a muro, pomoli, maniglie e di ogni altro accessorio occorrente per il loro buon funzionamento, nonché di una mano di olio di lino cotto, quando non siano altrimenti lucidati o verniciati. Dovranno corrispondere in ogni particolare ai campioni approvati dalla Direzione Lavori.

I prezzi in elenco comprendono la fornitura a piè d'opera del manufatto e dei relativi accessori di cui sopra, l'onere dello scarico e del trasporto sino ai singoli vani di destinazione e la posa in opera.

2.2.7 Opere in ferro

Tutti i lavori in metallo saranno in generale valutati a peso, questo si intenderà riferito al manufatto dato completo in opera con la esclusione degli sfridi.

I serramenti metallici verranno valutati a superficie e misurati su una sola faccia secondo le dimensioni del perimetro esterno.

Superfici unitarie non inferiori a mq 1,75.

2.2.8 Opere in vetro

Saranno valutate riferendosi alle superfici effettive di ciascun elemento all'atto della posa in opera. Per gli elementi non rettangolari si assume come superficie quella del minimo rettangolo circoscrivibile.

Il prezzo è comprensivo del mastice, dei siliconi, delle punte per il fissaggio, delle lastre e delle eventuali guarnizioni in gomma, prescritte per i telai in ferro. Superfici unitarie non inferiori a mq 0,5.

2.2.9 Opere da decoratore

Le tinteggiature interne ed esterne per pareti e soffitti saranno in generale misurate con le stesse norme sancite per gli intonaci.

Per la coloritura o verniciatura degli infissi e simili si osserveranno le norme seguenti:

- a) *per le porte, bussole e simili*, (x 2) si computerà due volte la luce netta dell'infisso oltre alla mostra e allo sguincio, se ci sono, non detraendo l'eventuale superficie di vetro. E' compresa con ciò anche la verniciatura del telaio per muri grossi e del cassettoncino tipo romano per tramezzi o dell'imbotte tipo lombardo, pure per tramezzi. La

misurazione della mostra o dello sguincio sarà eseguita in proiezione su piano verticale parallelo a quello medio della bussola (chiusa) senza tener conto di sagome, risalti o risvolti;

- b) *per le finestre senza persiane*, (x 3) ma con controportelli, si computerà tre volte la luce netta dell'infisso, essendo così compensata anche la coloritura dei controportelli e del telaio (o cassettoncino);
- c) *per le finestre senza persiane e senza controportelli*, (x 1) si computerà una volta sola la luce netta dell'infisso, comprendendo con ciò anche la coloritura della soglia e del telaio (o cassettoncino);
- d) *per le persiane comuni*, (x 3) si computerà tre volte la luce netta dell'infisso, comprendendo con ciò anche la coloritura del telaio;
- e) *per le persiane avvolgibili*, (x 2,50) si computerà due volte e mezzo la luce netta dell'infisso, comprendendo con ciò anche la coloritura del telaio ed apparecchio a sporgere, salvo il pagamento a parte della coloritura del cassettoncino coprirullo;
- f) *per le opere in ferro semplici*, (x 0,75) e senza ornati, quali finestre grandi a vetrate e Lusernari, serrande avvolgibili a maglia, infissi di vetrine per negozi, saranno valutati per tre quarti della loro superficie complessiva, misurata sempre in proiezione, ritenendo così compensata la coloritura dei sostegni, grappe e simili accessori, dei quali non si terrà conto alcuno nella misurazione;
- g) *per le opere in ferro di tipo normale a disegno*, (x 1) quali ringhiere, cancelli anche riducibili, inferriate e simili, sarà computata una volta l'intera loro superficie, misurata con le norme e con le conclusioni di cui alla lettera precedente;
- h) *per le opere in ferro ornate*, (x 1,5) cioè come alla lettera precedente, ma con ornati ricchissimi, nonché per le pareti metalliche e le lamiere stirate, sarà computata una volta e mezzo la loro superficie misurata come sopra;
- i) *per le serrande da bottega*, (x 3) in lamiera ondulata o ad elementi di lamiera, sarà computata tre volte la luce netta del vano, misurato in altezza, tra la soglia e la battitura della serranda, intendendo con ciò compensato anche la coloritura della superficie non in vista;

Tutte le coloriture o verniciature si intendono eseguite su ambo le facce e con i rispettivi prezzi di elenco si intende altresì compensata la coloritura, o verniciatura di nottole, braccioletti e simili accessori.

2.3 Interventi su architravi e cornici

2.3.1 Lattonerie

Le opere da lattoniere quali, canali di gronda, scossaline, converse, pluviali, saranno misurate a peso. Nel prezzo sarà compresa la fornitura di cicogne, tiranti, grappe, cravatte, collari.

I tubi in ghisa si valuteranno a peso; i tubi in PVC, cemento, grès ceramico, saranno valutate a ml.

2.4 Rimozioni, demolizioni

Nei prezzi relativi a lavori che comportino demolizioni, anche parziali, deve intendersi sempre compensato ogni onere per il recupero del materiale riutilizzabile e per il carico e trasporto a rifiuto di quello non riutilizzabile.

2.4.1 Demolizione di murature

Saranno in genere pagate a mc di muratura effettivamente demolita, comprensiva degli intonaci e rivestimenti a qualsiasi altezza. Sarà fatta deduzione di tutti i fori pari o superiori a mq 2.

Le demolizioni in breccia saranno considerate tali quando il vano utile da ricavare non superi la superficie di mq 2, ovvero, in caso di demolizione a grande sviluppo longitudinale, quando la larghezza non superi i cm 50.

2.4.2 Demolizione di tramezzi

Saranno valutati secondo la superficie effettiva dei tramezzi o delle parti di essi demolite, comprensive degli intonaci o rivestimenti. Sarà fatta deduzione di tutti i vani con superficie pari o superiore a mq 2.

2.4.3 Demolizione di intonaci e rivestimenti

Gli intonaci demoliti a qualsiasi altezza, saranno computati secondo la superficie reale, dedotti i vani di superficie uguale o superiore a mq 2, misurata la luce netta, valutando a parte la riquadratura di detti vani, solo nel caso in cui si riferiscano a murature di spessore maggiore di cm 15.

2.5 Opere specialistiche

Ogni intervento di conservazione specialistico interessa di norma la superficie del manufatto; l'estensione di quest'ultimo è pertanto da acquisire nel modo più esatto possibile tramite preciso rilievo restituito in scale opportune. Tutti quei manufatti compositi, costituiti da materiali di natura diversa, di dimensioni ridotte, di forma complessa o che presentino finiture particolarmente e finemente lavorate, andranno valutati a corpo.

Saranno da valutarsi a misura secondo le seguenti prescrizioni.

2.5.1 Manufatti archeologici

Tutti i manufatti riconducibili a semplici forme geometriche, nel caso sia di oggetti integri sia di frammenti, si inquadreranno nella forma geometrica di riferimento. Di tutti gli altri manufatti si calcolerà la superficie moltiplicando lo sviluppo del loro profilo (utilizzando una fettuccia metrica) per la circonferenza del minimo cilindro circoscrivibile. Gli elementi applicati saranno misurati con gli stessi criteri e sommati. Il computo metrico dovrà comprendere anche la misura della superficie interna misurabile.

2.5.2 Cornici, modanature

Per manufatti di fattura complessa e fortemente lavorati si calcolerà la superficie inscritta in forma geometrica regolare moltiplicata per la lunghezza. Per manufatti semplici dovrà essere calcolata la superficie effettiva tramite lo sviluppo del profilo (utilizzando fettuccia metrica) per la lunghezza della loro membratura più sporgente.

2.5.3 Sculture a tutto tondo

Andrà misurata la superficie laterale del cilindro medio circoscrivibile incrementato del 20% per sculture di ornato semplice, del 40% per sculture di ornato ricco e complesso. Il cilindro medio sarà calcolato rilevando la circonferenza in almeno quattro punti significativi escludendo quelle minime (collo, caviglia, ecc.). Le parti molto aggettanti non verranno incluse nel cilindro medio, ma verranno misurate con gli stessi criteri e ad esso sommate. Nel caso di sculture cave, la valutazione sarà da esprimersi a corpo.

2.5.4 Rilievi

Il manufatto andrà inquadrato in una o più forme geometriche piane e regolari. Lo sviluppo della superficie sarà incrementato del 10% per bassorilievi, del 20% per rilievi medi, del 40% per altorilievi. Per altorilievi molto aggettanti l'incremento andrà valutato a seconda del caso. Potranno eventualmente essere assimilabili a sculture a tutto tondo o richiedere incrementi sino al 100%.

2.5.5 Interventi su volte, soffitti, settori circolari

Si calcolerà l'effettivo sviluppo geometrico aumentato del 10% nel caso di volte e soffitti (maggior onere per superfici rivolte verso il basso).

3 QUALITÀ E PROVENIENZA DEI MATERIALI

Si precisa che per evitare descrizioni che potrebbero risultare difficilmente rappresentabili, in alcuni articoli del presente capitolato sono stati prescritti alcuni materiali da costruzione con l'indicazione del tipo previsto dal progettista: ciò non costituisce forma di propaganda né costituisce un obbligo di approvvigionamento nei confronti dell'Impresa, il quale è libero di rifornirsi dove meglio gli aggrada, ma costituisce un riferimento circa la tipologia e le caratteristiche dei materiali da porre in opera, per quanto riguarda sia le dimensioni sia le proprietà fisiche sia le proprietà meccaniche; i materiali utilizzati dovranno pertanto essere qualitativamente equivalenti ed in nessun caso inferiori a quelli prescritti.

3.1 Materiali in genere

I materiali occorrenti per la costruzione delle opere e per tutti gli interventi di conservazione, risanamento e restauro da effettuarsi sui manufatti, saranno della località che l'Appaltatore riterrà di sua convenienza purché, ad insindacabile giudizio della Direzione Lavori e degli eventuali organi competenti preposti alla tutela del patrimonio storico, artistico, architettonico e monumentale, siano riconosciuti della migliore qualità, simili, ovvero il più possibile compatibili con i materiali preesistenti, in modo da non risultare assolutamente in contrasto con le proprietà chimiche, fisiche e meccaniche dei manufatti oggetto di intervento.

A tale scopo l'Appaltatore avrà l'obbligo, durante qualsiasi fase lavorativa, di effettuare o fare eseguire, presso gli stabilimenti di produzione c/o laboratori ed istituti di provata specializzazione, in possesso delle specifiche autorizzazioni, tutte le prove prescritte dal presente Capitolato o dalla D.L.

Tali prove si potranno effettuare sui materiali esistenti in siti, su tutte le forniture previste, su tutti quei materiali che si utilizzeranno per la completa esecuzione delle opere appaltate, materiali confezionati direttamente in cantiere o confezionati e forniti da ditte specializzate.

In particolare, sui, manufatti aggrediti da agenti patogeni, leggermente o fortemente alterati, comunque oggetto di intervento, sia di carattere manutentivo che conservativo, se gli elaborati di progetto lo prevedono, sarà cura dell'Appaltatore mettere in atto tutta una serie di operazioni strettamente legate alla conoscenza fisico materica, patologica degli stessi, secondo quanto prescritto nella parte III del presente Capitolato, e comunque:

- determinare le caratteristiche dei materiali oggetto di intervento;
- individuare gli agenti patogeni in aggressione;
- individuare le cause dirette e/o indirette determinanti le patologie (alterazioni del materiale, difetti di produzione, errata tecnica applicativa, aggressione atmosferica, sbalzi termici, umidità, aggressione microrganismi, ecc.);
- effettuare in situ e/o in laboratorio tutte quelle prove preliminari in grado di garantire l'efficacia e la non nocività dei prodotti da utilizzarsi e di tutte le metodologie di intervento. Tali verifiche faranno riferimento alle indicazioni di progetto, alle normative UNI e alle raccomandazioni NORMAL recepite dal Ministero per i Beni Culturali con Decreto 11 novembre 1982, n. 2093.

Il prelievo dei campioni verrà effettuato in contraddittorio con l'Appaltatore e sarà appositamente verbalizzato. Sarà in ogni caso da eseguirsi secondo le norme del C.N.R.

Tutti i materiali che verranno scartati dalla D.L. dovranno essere immediatamente sostituiti, siano essi depositati in cantiere, completamente o parzialmente in opera, senza che l'Appaltatore abbia nulla da eccepire. Dovranno quindi essere sostituiti con materiali idonei rispondenti alle caratteristiche ed ai requisiti richiesti. Ad ogni modo l'Appaltatore resterà responsabile per quanto concerne la qualità dei materiali forniti anche se ritenuti idonei dalla D.L., sino alla loro accettazione da parte dell'Amministrazione in sede di collaudo finale.

3.2 Sabbie, ghiaie, argille espanse, pomice, pietre naturali, marmi

3.2.1 Sabbie

Sabbie vive o di cava, di natura silicea, quarzosa, granitica o calcarea ricavate da rocce con alta resistenza alla compressione, né gessose, né gelive. Dovranno essere scevre da materie terrose, argillose, limacciose e polverulente, da detriti organici e sostanze inquinanti.

La sabbia dovrà essere costituita da grani di dimensioni tali da passare attraverso uno staccio con maglie circolari del diametro di mm 2 per murature in genere e del diametro di mm 1 per gli intonaci e murature di paramento od in pietra da taglio.

L'accettabilità della sabbia verrà definita con i criteri indicati nell'allegato 1 del D.M. 3 giugno 1968 e nell'allegato 1, punto 2 del D.M. 27 luglio 1985; la distribuzione granulo metrica dovrà essere assortita e comunque adeguata alle condizioni di posa in opera.

3.2.2 Ghiaia e pietrisco

Le prime dovranno essere costituite da elementi omogenei pulitissimi ed esenti da materie terrose, argillose e limacciose e dovranno provenire da rocce compatte, non gessose e marnose ad alta resistenza a compressione.

I pietrischi dovranno provenire dalla spezzettatura di rocce durissime, preferibilmente silicee, a struttura microcristallina, o a calcari puri durissimi e di alta resistenza alla compressione, all'urto e all'abrasione, al gelo ed avranno spigolo vivo; dovranno essere scevri da materie terrose, sabbia e materie eterogenee. Sono assolutamente escluse le rocce marnose.

Gli elementi di ghiaie e pietrischi dovranno essere tali da passare attraverso un vaglio a fori circolari del diametro:

- di cm 5 se si tratta di lavori correnti di fondazione o di elevazione, muri di sostegno, piedritti, rivestimenti di scarpe e simili;
- di cm 4 se si tratta di volti di getto;
- di cm 1 a 3 se si tratta di cappe di volti o di lavori in cemento armato od a pareti sottili.

Gli elementi più piccoli di ghiaie e pietrischi non devono passare in un vaglio a maglie rotonde di cm 1 di diametro, salvo quando vanno impiegati in cappe di volti od in lavori in cemento armato od a pareti sottili, nei quali casi sono ammessi anche elementi più piccoli.

Tutti gli aggregati per il confezionamento del calcestruzzo dovranno rispondere alle norme UNI 8520/1-22, ediz. 1984-86. Gli aggregati leggeri saranno conformi alle norme UNI 7549/1-12, ediz. 1976.

3.2.3 Argille espanse

Materiali sotto forma di granuli da usarsi come inerti per il confezionamento di calcestruzzi leggeri. Fabbricate tramite cottura di piccoli grumi ottenuti agglomerando l'argilla con poca acqua. Ogni granulo di colore bruno dovrà avere forma rotondeggiante, diametro compreso tra mm 8 e 15, essere scevro da sostanze organiche, polvere od altri elementi estranei, non dovrà essere attaccabile da acidi, dovrà conservare le sue qualità in un largo intervallo di temperatura.

In genere le argille espanse dovranno essere in grado di galleggiare sull'acqua senza assorbirla. Sarà comunque possibile utilizzare argille espanse pre-trattate con resine a base siliconica in grado di conferire all'inerte la massima impermeabilità evitando fenomeni di assorbimento di acque anche in minime quantità.

I granuli potranno anche essere sinterizzati tramite appositi procedimenti per essere trasformati in blocchi leggeri che potranno utilizzarsi per pareti isolanti.

3.2.4 Pomice

Gli inerti leggeri di pomice dovranno essere formati da granuli leggeri di pomice asciutti e scevri da sostanze organiche, polveri od altri elementi estranei. Dovranno possedere la granulometria prescritta dagli elaborati di progetto.

3.2.5 Pitre naturali

Le pietre naturali da impiegarsi nella muratura e per qualsiasi altro lavoro, dovranno essere a grana compatta, esenti da piani di sfaldamento, da screpolature, peli, venature, interclusioni di sostanze estranee; dovranno avere dimensioni adatte al particolare loro impiego, offrire una resistenza proporzionata all'entità della sollecitazione cui devono essere soggette, ed avere una efficace adesività alle malte.

Saranno assolutamente escluse le pietre marnose e quelle alterabili all'azione degli agenti atmosferici e dell'acqua corrente.

In particolare le caratteristiche alle quali dovranno soddisfare le pietre naturali da impiegare nella costruzione in relazione alla natura della roccia prescelta, tenuto conto dell'impiego che dovrà farsene nell'opera da costruire, dovranno corrispondere alle norme di cui al R.D. 16 novembre 1939, nn. 2229 e 2232, nonché alle norme UNI 8458-83 e 9379-89 e, se nel caso, dalle "norme per l'accettazione dei cubetti di pietra per pavimentazioni stradali" CNR ediz. 1954 e dalle tabelle UNI 2719-ediz. 1945.

3.2.6 Pietre da taglio

Oltre a possedere i requisiti ed i caratteri generali sopra indicati, dovranno avere struttura uniforme, essere scevre da fenditure, cavità e litoclasti, sonore alla percussione, e di perfetta lavorabilità. Per le opere a "faccia a vista" sarà vietato l'impiego di materiali con venature disomogenee o, in genere, di brecce.

3.2.7 Marmi

Devono appartenere alla denominazione commerciale e/o petrografica indicata nel progetto, oppure avere origine dal bacino di estrazione o zona geografica richiesta, essere conformi ai campioni di riferimento precedentemente selezionati. Dovranno essere della migliore qualità, perfettamente sani, senza scaglie, brecce, vene, spaccature, nodi, peli, crepe, discontinuità o altri difetti che li renderebbero fragili e poco omogenei. Non saranno tollerate stuccature, tasselli, rotture, scheggiature. Dovranno inoltre possedere la lavorazione superficiale e/o le finiture indicate a progetto, le dimensioni nominali concordate e le relative tolleranze secondo le indicazioni della D.L.

3.3 Acqua, calci, pozzolane, leganti idraulici, speciali e sintetici

3.3.1 Acqua per costruzioni

L'acqua dovrà essere dolce, limpida, e scevra da sostanze organiche, materie terrose, cospicue quantità di solfati e cloruri. Dovrà possedere una durezza massima di 32° MEC. Sono escluse acque assolutamente pure, piovane e di nevai.

3.3.2 Acqua per puliture

Dovranno essere utilizzate acque assolutamente pure, prive di sali e calcari. Per la pulitura di manufatti a pasta porosa si dovranno utilizzare acque deionizzate ottenute tramite l'utilizzo di appositi filtri contenenti resine scambiatrici di ioni acide (RSO_3H) e basiche (RNH_3OH) rispettivamente. Il processo di deionizzazione non rende le acque sterili, nel caso in cui sia richiesta sterilità, si potranno ottenere acque di quel tipo operando preferibilmente per via fisica.

3.3.3 Calce

Le calci aeree ed idrauliche dovranno rispondere ai requisiti di accettazione vigenti al momento dell'esecuzione dei lavori.

La *calce grassa* in zolle dovrà provenire da calcari puri, essere di recente, perfetta ed uniforme cottura, non bruciata né vitrea né pigra ad idratarsi ed infine di qualità tale che, mescolata con la sola quantità di acqua dolce necessaria all'estinzione, si trasformi completamente in una pasta soda a grassello tenuissimo, senza lasciare residui maggiori del 5% dovuti a parti non ben decarburate, siliciose od altrimenti inerti.

L'impiego delle calci è regolato in Italia dal R.D. n. 2231 del 1939 (G.U. n. 92 del 18 aprile 1940) che considera i seguenti tipi di calce:

- calce grassa in zolle, cioè calce viva in pezzi, con contenuto di ossidi di calcio e magnesio non inferiore al 94% e resa in grassello non inferiore al 2,5%;
- calce magra in zolle o calce viva contenente meno del 94% di ossidi di calcio e magnesio e con resa in grassello non inferiore al 1,5%;
- calce idrata in polvere ottenuta dallo spegnimento della calce viva, si distingue in:
 - fiore di calce, quando il contenuto minimo di idrossidi $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Mg}(\text{HO})_2$ non è inferiore al 91%;
 - calce idrata da costruzione quando il contenuto minimo di $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Mg}(\text{HO})_2$ non è inferiore all'82%.

In entrambi i tipi di calce idrata il contenuto massimo di carbonati e di impurità non dovrà superare il 6% e l'umidità il 3%.

Per quanto riguarda la finezza dei granuli, la setacciatura dovrà essere praticata con vagli aventi fori di mm 0,18 e la parte trattenuta dal setaccio non dovrà superare l'1% nel caso del fiore di calce, e il 2% nella calce idrata da costruzione; se invece si utilizza un setaccio da mm 0,09 la parte trattenuta non dovrà essere superiore al 5% per il fiore di calce e del 15% per la calce idrata da costruzione.

Il materiale dovrà essere opportunamente confezionato, protetto dalle intemperie e conservato in locali asciutti. Sulle confezioni dovranno essere ben visibili le caratteristiche (peso e tipo di calce) oltre al nome del produttore e/o distributore.

3.3.4 Leganti idraulici

I cementi e le calce idrauliche dovranno avere i requisiti di cui alla legge 595 del 26 maggio 1965; le norme relative all'accettazione e le modalità d'esecuzione delle prove di idoneità e collaudo saranno regolate dal successivo D.M. 3 giugno 1968, dal D.M. 31 agosto 1972 e dal D.M. 20 novembre 1984.

I cementi potranno essere forniti sfusi e/o in sacchi sigillati. Dovranno essere conservati in locali coperti, asciutti, possibilmente sopra pallet in legno, coperti e protetto da appositi teli. Se sfusi i cementi dovranno essere trasportati con idonei mezzi, così pure il cantiere dovrà essere dotato di mezzi atti allo scarico ed all'immagazzinaggio in appositi silos; dovranno essere separati per tipi e classi identificandoli con appositi cartellini. Dovrà essere utilizzata una bilancia per il controllo e la formazione degli impasti.

I cementi forniti in sacchi dovranno avere riportato sugli stessi il nominativo del produttore, il peso, la qualità del prodotto, la quantità d'acqua per malte normali e la resistenza minima a compressione ed a trazione a 28 giorni di stagionatura.

L'introduzione in cantiere di ogni partita di cemento dovrà essere annotata sul giornale dei lavori e sul registro dei getti. Tutti i cementi che all'atto dell'utilizzo dovessero risultare alterati verranno rifiutati ed allontanati.

3.3.5 Pozzolane

Le pozzolane saranno ricavate da strati privi di cappellaccio ed esenti da sostanze eterogenee o da parti inerti; qualunque sia la loro provenienza dovranno rispondere a tutti i requisiti prescritti dal R.D. 16 novembre 1939, n. 2230.

3.3.6 Gessi

Dovranno essere di recente cottura, perfettamente asciutti, di fine macinazione in modo da non lasciare residui sullo staccio da 56 maglie a centimetro quadro, scevro da materie eterogenee e senza parti alterate per estinzione spontanea.

I gessi dovranno essere conservati in locali coperti e ben riparati dall'umidità, approvvigionati in sacchi sigillati con stampigliato il nominativo del produttore e la qualità del materiale contenuto.

Non andranno comunque mai usati in ambienti umidi né in ambienti con temperature superiori ai 110 °C. Non dovranno inoltre essere impiegati a contatto di leghe di ferro.

I gessi per l'edilizia vengono distinti in base alla loro destinazione (per muri, per intonaci, per pavimenti, per usi vari). Le loro caratteristiche fisiche (granulometria, resistenze, tempi di presa) e chimiche (tenore solfato di calcio, tenore di acqua di costituzione, contenuto di impurezze) vengono fissate dalla norma UNI 6782.

3.3.7 Cementi e agglomerati cementizi

I cementi dovranno rispondere ai limiti di accettazione contenuti nella legge 26 maggio 1965, n. 595 e nel D.M. 3 giugno 1968 ("Nuove norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova dei cementi") e successive modifiche.

Gli agglomerati cementizi dovranno rispondere ai limiti di accettazione contenuti nella legge 26 maggio 1965, n. 595 e nel D.M. 31 agosto 1972.

A norma di quanto previsto dal Decreto del Ministero dell'Industria del 9 marzo 1988, n. 126 ("regolamento del servizio del controllo e certificazione di qualità dei cementi"), i cementi di cui all'art. 1 lettera A) della legge 26 maggio 1965, n. 595 (e cioè i cementi normali e ad alta resistenza Portland, pozzolanico e d'altoforno), se utilizzati per confezionare il conglomerato cementizio normale, armato e precompresso, devono essere certificati presso i laboratori di cui all'art. 6 della legge 26 maggio 1965, n. 595 e all'art. 20 della legge 5 novembre 1971, n. 1086. Per i cementi di importazione, la procedura di controllo e di certificazione potrà essere svolta nei luoghi di produzione da analoghi laboratori esteri di analisi.

I cementi e gli agglomerati cementizi dovranno essere conservati in magazzini coperti, ben riparati dall'umidità e da altri agenti capaci di degradarli prima dell'impiego.

Cementi a lenta presa - cementi tipo Portland normale, pozzolanico, d'altoforno e alluminoso. L'inizio della presa deve avvenire almeno entro un'ora dall'impasto e terminare entro 6-12 ore

Cementi a rapida presa - miscele di cemento alluminoso e di cemento Portland con rapporto in peso fra i due leganti prossimi a uno da impastarsi con acqua. L'impiego dovrà essere riservato e limitato ad opere aventi carattere di urgenza o di provvisorietà e con scarse esigenze statiche.

3.3.8 Resine sintetiche

Ottenute con metodi di sintesi chimica, sono polimeri ottenuti partendo da molecole di composti organici semplici, per lo più derivati dal petrolio, dal carbon fossile o dai gas petroliferi.

Quali materiali organici, saranno da utilizzarsi sempre e solo in casi particolari e comunque puntuali, mai generalizzando il loro impiego, dietro esplicita indicazione di progetto e della D.L. la sorveglianza e l'autorizzazione degli organi preposti alla tutela del bene oggetto di intervento. In ogni caso in qualsiasi intervento di conservazione e restauro sarà assolutamente vietato utilizzare prodotti di sintesi chimica senza preventive analisi di laboratorio, prove applicative, schede tecniche e garanzie da parte delle ditte produttrici. Sarà vietato il loro utilizzo in mancanza di una comprovata compatibilità fisica, chimica e meccanica con i materiali direttamente interessati all'intervento o al loro contorno.

La loro applicazione dovrà sempre essere a cura di personale specializzato nel rispetto della normativa sulla sicurezza degli operatori/applicatori.

Le proprietà i metodi di prova su tali materiali sono stabiliti dall'UNI e dalla sua sezione chimica (UNICHIM), oltre a tutte le indicazioni fornite dalle raccomandazioni NORMAL.

3.3.9 Resine acriliche

Polimeri di addizione dell'estere acrilico o di suoi derivati. Termoplastiche, resistenti agli acidi, alle basi, agli alcoli in concentrazione sino al 40%, alla benzina, alla trementina. Resine di massima trasparenza, dovranno presentare buona durezza e stabilità dimensionale, buona idrorepellenza e resistenza alle intemperie. A basso peso molecolare presentano bassa viscosità e possono essere lavorate ad iniezione.

Potranno essere utilizzate quali consolidanti ed adesivi, eventualmente miscelati con siliconi, con siliconato di potassio ed acqua di calce. Anche come additivi per aumentare l'adesività (stucchi, malte fluide).

3.3.10 Resine epossidiche

Si ottengono per policondensazione tra eloridrina e bisfenolisopropano, potranno essere del tipo solido o liquido. Per successiva reazione dei gruppi epossidici con un indurente, che ne caratterizza il comportamento, (una diammina) si ha la formazione di strutture reticolate e termoindurenti. Data l'elevata resistenza chimica e meccanica possono essere impiegate per svariati usi. Come rivestimenti e vernici protettive, adesivi strutturali, laminati antifiamma. Caricate con materiali fibrosi (fibre di lana di vetro o di roccia) raggiungono proprietà meccaniche molto vicine a quelle dell'acciaio.

Si potranno pertanto miscelare (anche con cariche minerali, riempitivi, solventi ed addensanti), ma solo dietro esplicita richiesta ed approvazione della D.L.

3.3.11 Resine poliestere

Derivate dalla reazione di policondensazione dei glicoli con gli acidi bi basici insaturi o loro anidridi. Prima dell'indurimento potranno essere impastati con fibre di vetro, di cotone o sintetiche per aumentare la resistenza dei prodotti finali.

Come riempitivi possono essere usati calcari, gesso, cementi e sabbie.

Anche per le resine poliesteri valgono le stesse precauzioni, divieti e modalità d'uso enunciati a proposito delle resine epossidiche.

Le loro caratteristiche meccaniche, le modalità d'applicazione e gli accorgimenti antinfortunistici sono regolati dalle norme UNICHIM.

3.4 Laterizi

I laterizi da impiegare per i lavori di qualsiasi genere, dovranno corrispondere alle norme per l'accettazione di cui al R.D. 16 novembre 1939, n. 2233, e nell'allegato 1 del D.M. 30 maggio 1974, e alle norme UNI vigenti.

I mattoni pieni per uso corrente dovranno essere parallelepipedi, di lunghezza doppia della larghezza, di modello costante, e presentare, sia all'asciutto che dopo la prolungata immersione nell'acqua.

I mattoni pieni o semipieni di paramento dovranno essere di forma regolare, dovranno avere la superficie completamente integra e di colorazione uniforme per l'intera partita. Le liste in laterizio per rivestimenti murari (UNI 5632), a colorazione naturale o colorate con componenti inorganici, possono avere nel retro tipi di riquadri in grado di migliorare l'aderenza con le malte o possono anche essere foggiate con incastro a coda di rondine. Per tutti i laterizi è prescritto un comportamento non gelivo, una resistenza cioè ad almeno 20 cicli alternati di gelo e disgelo eseguiti tra i + 50 e -20 °C. Saranno da escludersi la presenza di noduli bianchi di carbonato di calcio come pure di noduli di ossido di ferro.

I mattoni forati, le volterrane ed i tavelloni dovranno pure presentare una resistenza alla compressione di almeno kg 16 per cm² di superficie totale premuta (UNI 5631-65; 2105-07). I blocchi in laterizio alveolato termo-acustico, per la costruzione di murature portanti, a fori verticali dovranno avere una percentuale massima di foratura pari al 45%, una resistenza meccanica di fbk > 150 kg/cmq.

Le tegole piane o curve, di qualunque tipo siano, dovranno essere esattamente adattabili le une sulle altre, senza sbavature e presentare tinta uniforme; appoggiate su due regoli posti a mm 20 dai bordi estremi dei due lati corti, dovranno sopportare, sia un carico concentrato nel mezzo gradualmente crescente fino a kg 120, sia l'urto di una palla di ghisa del peso di kg 1 cadente dall'altezza di cm 20. Sotto un carico di mm 50 d'acqua mantenuta per 24 ore le tegole dovranno risultare impermeabili (UNI 2619-20-21-22).

Le tegole piane infine non dovranno presentare difetto alcuno nel nasello.

3.5 Materiali ferrosi e metalli vari

3.5.1 Materiali ferrosi

I materiali ferrosi da impiegare nei lavori dovranno essere esenti da scorie, soffiature, brecciature, paglie o da qualsiasi altro difetto prescritto (UNI 2623- 29). Fusione, laminazione trafilatura, fucinatura e simili.

Essi dovranno rispondere a tutte le condizioni previste dal citato D.M. 30 maggio 1974 (allegati nn. 1, 3, 4) ed alle norme UNI vigenti e presentare inoltre, a seconda della loro qualità, i seguenti requisiti.

1. Ferro - Il ferro comune dovrà essere di prima qualità, eminentemente duttile e tenace e di marcatissima struttura fibrosa. Esso dovrà essere malleabile, liscio alla superficie esterna, privo di screpolature, senza saldature aperte, e senza altre soluzioni di continuità.

2. Acciaio trafilato o laminato - Tale acciaio, nella varietà dolce (cosiddetto ferro omogeneo), semiduro e duro, dovrà essere privo di difetti, di screpolature, di bruciature e di altre soluzioni di continuità. In particolare, per la prima varietà sono richieste perfette malleabilità e lavorabilità a fresco e a caldo, senza che ne derivino screpolature o altre ragioni; esso dovrà essere altresì saldabile e non suscettibile di prendere la temperatura; alla rottura dovrà presentare struttura lucente e finemente granulare.

3. Acciaio fuso in getti - L'acciaio fuso in getti per cuscinetti, cerniere, rulli o per qualsiasi altro lavoro, dovrà essere di prima qualità, esente da soffiature e da qualsiasi altro difetto.

4. Ghisa - La ghisa dovrà essere di prima qualità e di seconda fusione, dolce, tenace, leggermente malleabile, facilmente lavorabile con la lima e con lo scalpello; di fattura grigia finemente granosa e perfettamente omogenea, esente da screpolature, vene, bolle, sbavature, asperità ed altri difetti capaci di menomare la resistenza. Dovrà essere inoltre perfettamente modellata. È assolutamente escluso l'impiego di ghise fosforose.

3.5.2 Metalli vari

Il piombo, lo zinco, lo stagno, il rame e tutti gli altri metalli o leghe metalliche da impiegare nelle costruzioni devono essere delle migliori qualità, ben fusi o laminati a seconda della specie di lavori a cui sono destinati, e scevri da ogni impurità o difetto che ne vizi la forma, o ne alteri la resistenza o la durata.

3.6 Legnami

I legnami da impiegare in opere stabili o provvisorie, di qualunque essenze essi siano dovranno rispondere a tutte le prescrizioni di cui al D.M. 30 ottobre 1912 e alle norme UNI vigenti; saranno provveduti fra le più scelte qualità della categoria prescritta e non presenteranno difetti incompatibili con l'uso a cui sono destinati.

I legnami destinati alla costruzione degli infissi dovranno essere di prima scelta, di struttura e fibra compatta e resistente, non deteriorata, perfettamente sana, dritta e priva di spaccature sia in senso radicale che circolare. Essi dovranno essere perfettamente stagionati, a meno che non siano stati essiccati artificialmente, presentare colore e venatura uniforme, essere privi di alborno ed esenti da nodi, cipollature, buchi, od altri difetti.

Il tavolame dovrà essere ricavato dalle travi più dritte, affinché le fibre non riescano mozzate dalla sega e si ritirino nelle connessioni.

I legnami rotondi o pali dovranno provenire dal tronco dell'albero e non dai rami, dovranno essere sufficientemente diritti, in modo che la congiungente i centri delle due basi non debba uscire in alcun punto dal palo, dovranno essere scortecciati per tutta la lunghezza e conguagliati alla superficie; la differenza fra i diametri medi dalle estremità non dovrà oltrepassare i 15 millesimi della lunghezza né il quarto del maggiore dei 2 diametri.

Nei legnami grossolanamente squadrati ed a spigolo smussato, tutte le facce dovranno essere spianate e senza scarniture, tollerandosene l'alborno o lo smusso in misura non maggiore di un sesto del lato della sezione trasversale.

I legnami a spigolo vivo dovranno essere lavorati e squadrati a sega con le diverse facce esattamente spianate, senza rientranze o risalti, e con gli spigoli tirati a filo vivo, senza alborno né smussi di sorta.

In particolare per il legname usato nelle coperture le caratteristiche minime del legname dovranno essere:

- *stagionatura media di tre anni e comunque tassativamente non inferiore a due,*
- *tagli e lavorazioni effettuati nel senso delle fibre della pianta,*
- *ridotta presenza di nodosità o imperfezioni delle superfici in vista,*
- *andamento lineare e costante delle travi con ridotta tronco-conicità della sezione nel suo sviluppo.*

3.7 Materiali per pavimenti e rivestimenti

I materiali con i quali verranno eseguiti tutti i tipi di pavimento e rivestimento dovranno possedere i requisiti prescritti e, prima della messa in opera, l'appaltatore dovrà sottoporre alla approvazione del direttore dei lavori una campionatura completa.

Tutti i materiali per pavimentazioni quali mattonelle, lastre, etc. dovranno possedere le caratteristiche riportate dalla normativa vigente.

La resistenza all'urto dovrà essere, per le mattonelle comuni, non inferiore a 1.96 N/m. (0,20 Kg/m.) e la resistenza a flessione non inferiore a 2,9 N/mmq. (30 Kg./cmq.); per il coefficiente di usura saranno considerati valori diversi che oscillano dai 4 mm., per le mattonelle in gres, ai 12 mm. delle mattonelle in cemento o asfalto.

3.7.1 Pavimenti , rivestimenti e zoccolini in Gres

Sono classificati gres ordinari tutti i materiali ottenuti da argille plastiche naturali, ferruginose, cotti a temperature comprese tra i 1000 e 1400° C.

Dovranno essere di colore rosso bruno, avere struttura omogenea, compatta e non scalfibile; permeabilità nulla, le superfici dovranno essere esenti da screpolature, lesioni o deformazioni; la vetrificazione dovrà essere omogenea ed esente da opacità.

Gres rosso

Le piastrelle in gres, oltre alla corrispondenza con le norme citate, dovranno avere dimensioni 7,5 x 15 cm ,superficie liscia ,spessori tra gli 8 e 10 mm. tolleranze dimensionali, salvo altre prescrizioni, di +/- 0,4%, resistenza a flessione non inferiore a 24,5 N/mmq. (250 Kg./cmq.), assorbimento d'acqua non superiore al 4% della loro massa, buona resistenza al gelo, indice di resistenza all'abrasione non inferiore a 0,5, perdita di massa per attacco acido non superiore al 9% e per attacco basico non superiore al 16%.

Gres Fine porcellanato

Piastrelle in gres fine porcellanato a sezione piena ed omogenea greificata a tutto spessore composto da impasto finissimo di argille pregiate, con aggiunta di feldspati e caolini, ottenute per pressatura (450kg/cm2) di impasto atomizzato in formato 15 x 15 cm sp minimo 11 mm, assorbimento acqua inferiore allo 0,05% in riferimento alla norma ISO 10545-3 carico di rottura superiore a 3000N coefficiente di dilatazione termica lineare secondo la norma ISO 10545-8, resistenza alla abrasione profonda $\geq 140\text{mm}^3$ in riferimento alla ISO 10545-8

3.8 Colori e vernici

Pitture, idropitture, vernici e smalti dovranno essere di recente produzione, non dovranno presentare fenomeni di sedimentazione o di addensamento, peli, gelatinizzazioni. Verranno approvvigionati in cantiere in recipienti sigillati recanti l'indicazione della ditta produttrice, il tipo, la qualità, le modalità d'uso e di conservazione del prodotto, la data di scadenza. I recipienti andranno aperti solo al momento dell'impiego e in presenza della D.L. I prodotti dovranno essere pronti all'uso fatte salve le diluizioni previste dalle ditte produttrici nei rapporti indicati dalle stesse; dovranno conferire alle superfici l'aspetto previsto e mantenerlo nel tempo.

Per quanto riguarda i prodotti per la pitturazione di strutture murarie saranno da utilizzarsi prodotti non pellicolanti secondo le definizioni della norma UNI 8751 anche recepita dalla Raccomandazione NORMAL M 04/85.

Tutti i prodotti dovranno essere conformi alle norme UNI e UNICHIM vigenti ed in particolare. UNI 4715, UNI 8310 e 8360 (massa volumica), 8311 (PH) 8306 e 8309 (contenuto di resina, pigmenti e cariche), 8362 (tempo di essiccazione). Metodi UNICHIM per il controllo delle superfici da verniciare: MU 446, 456-58, 526, 564, 579, 585. Le prove tecnologiche da eseguirsi prima e dopo l'applicazione faranno riferimento alle norme UNICHIM, MU 156, 443, 444, 445, 466, 488, 525, 580, 561, 563, 566, 570, 582, 590, 592, 600, 609, 610, 611. Sono prove relative alle caratteristiche del materiale: campionamento, rapporto pigmenti-legante, finezza di macinazione, consumo, velocità di essiccazione, spessore; oltre che alla loro resistenza: agli agenti atmosferici, agli agenti chimici, ai cicli termici, ai raggi UV, all'umidità.

In ogni caso i prodotti da utilizzarsi dovranno avere ottima penetrabilità, compatibilità con il supporto, garantendogli buona traspirabilità. Tali caratteristiche risultano certamente prevalenti rispetto alla durabilità dei cromatismi.

Nel caso in cui si proceda alla pitturazione e/o verniciatura di edifici e/o manufatti di chiaro interesse storico, artistico, posti sotto tutela, o su manufatti sui quali si sono effettuati interventi di conservazione e restauro, si dovrà procedere dietro specifiche autorizzazioni della D.L. e degli organi competenti. In questi casi sarà assolutamente vietato utilizzare prodotti a base di resine sintetiche.

Olio di lino cotto

L'olio di lino cotto dovrà essere ben depurato, presentare un colore assai chiaro e perfettamente limpido, di odore forte ed amarissimo al gusto, scevro da alterazioni con olio minerale, olio di pesce ecc. Non dovrà lasciare alcun deposito né essere rancido, e disteso sopra una lastra di vetro o di metallo dovrà essiccare completamente nell'intervallo di 24 ore.

L'acidità massima sarà in misura del 7%, impurità non superiore al 1% ed alla temperatura di 15 °C presenterà una densità compresa fra 0,91 e 0,93.

Acquaragia (senza essenza di trementina)

Dovrà essere limpida, incolore, di odore gradevole e volatilissima. La sua densità a 15 °C sarà di 0,87.

Biacca

La biacca o cerussa (carbonato basico di piombo) deve essere pura, senza miscele di sorta, e priva di qualsiasi traccia di solfato di bario.

Bianco di zinco

Il bianco di zinco dovrà essere in polvere finissima, bianca, costituita da ossido di zinco e non dovrà contenere più del 4% di sali di piombo allo stato di solfato, né più del 1% di altre impurità; l'umidità non deve superare il 3%.

Minio

Sia di piombo (sequioossido di piombo) che di alluminio (ossido di alluminio) dovrà essere costituito da polvere finissima e non dovrà contenere colori derivati dall'anilina, né oltre il 10% di sostanze (solfato di bario, ecc.).

Latte di calce

Il latte di calce sarà preparato con calce grassa, perfettamente bianca, spenta per immersione. Vi si potrà aggiungere la quantità di nero fumo strettamente necessaria per evitare la tinta giallastra.

Colori all'acqua, a colla o ad olio

Le terre coloranti destinate alle tinte all'acqua, a colla o ad olio, saranno finemente macinate e prive di sostanze eterogenee e dovranno venire perfettamente incorporate nell'acqua, nelle colle e negli oli, ma non per infusione. Potranno essere richieste in qualunque tonalità esistente.

Vernici

Le vernici che s'impiegheranno per gli interni saranno a base di essenza di trementina e gomme pure di qualità scelte; disciolte nell'olio di lino dovranno presentare una superficie brillante. È fatto divieto l'impiego di gomme prodotte da distillazione.

Encaustici

Gli encaustici potranno essere all'acqua o all'essenza, secondo le disposizioni della D.L.

La cera gialla dovrà risultare perfettamente disciolta, a seconda dell'encaustico adottato, o nell'acqua calda alla quale sarà aggiunto del sale di tartaro, o nell'essenza di trementina.

Smalti

Potranno essere composti da resine naturali o sintetiche, oli, resine sintetiche, pigmenti cariche minerali ed ossidi vari. Dovranno possedere forte potere coprente, facilità di applicazione, luminosità e resistenza agli uri.

Pitture ad olio ed oleosintetiche

Potranno essere composte da oli, resine sintetiche, pigmenti e sostanze coloranti. Dovranno possedere un alto potere coprente, risultare resistenti all'azione degradante dell'atmosfera, delle piogge acide, dei raggi ultravioletti.

Pitture all'acqua (idropitture)

Sospensioni acquose di sostanza inorganiche, contenenti eventualmente delle colle o delle emulsioni di sostanza macromolecolari sintetiche.

- *Tempere* - Sono sospensioni acquose di pigmenti e cariche (calce, gesso, carbonato di calcio finemente polverizzati), contenenti come leganti colle naturali o sintetiche (caseina, vinavil, colla di pesce). Si utilizzeranno esclusivamente su pareti interne intonacate, preventivamente preparate con più mani di latte di calce, contenente in sospensione anche gessi il polvere fine. Le pareti al momento dell'applicazione dovranno essere perfettamente asciutte. Dovranno possedere buon potere coprente e sarà ritinteggiabile.
- *Tinte a calce* - Costituite da una emulsione di calce idrata o di grassello di calce in cui vengono stemperati pigmenti inorganici che non reagiscono con l'idrossido di calcio. L'aderenza alle malte viene migliorata con colle artificiali, animali e vegetali.

Si potranno applicare anche su pareti intonacate di fresco utilizzando come pigmenti terre naturali passate al setaccio. Per interventi conservativi potranno essere utilizzate velature di tinte a calce fortemente stemperate in acqua in modo da affievolire il potere coprente, rendendo la tinta trasparente.

- *Pitture ai silicati* - Sono ottenute sospendendo in una soluzione di vetro solubile (silicati di sodio e di potassio) pigmenti inorganici o polveri di caolino, talco o gesso. Dovranno assicurare uno stabile legame con il supporto che andrà opportunamente preparato eliminando completamente tracce di precedenti tinteggiature. Non si potranno applicare su superfici precedentemente tinteggiate con pitture a calce.
- *Pitture cementizie* - Sospensioni acquose di cementi colorati contenenti colle. Dovranno essere preparate in piccoli quantitativi a causa del velocissimo tempo di presa. L'applicazione dovrà concludersi entro 30 minuti dalla

preparazione, prima che avvenga la fase di indurimento. Terminata tale fase sarà fatto divieto diluirle in acqua per eventuali riutilizzi.

- *Pitture emulsionate* - Emulsioni o dispersioni acquose di resine sintetiche e pigmenti con eventuali aggiunte di prodotti plastificanti (solitamente dibutilftalato) per rendere le pellicole meno rigide. Poste in commercio come paste dense, da diluirsi in acqua al momento dell'impiego. Potranno essere utilizzate su superfici interne ed esterne. Dovranno essere applicate con ottima tecnica e possedere colorazione uniforme. Potranno essere applicate anche su calcestruzzi, legno, cartone ed altri materiali. Non dovranno mai essere applicate su strati preesistenti di tinteggiatura, pittura o vernice non perfettamente aderenti al supporto.

Pitture antiruggine e anticorrosive

Dovranno essere rapportate al tipo di materiale da proteggere ed alle condizioni ambientali.

Il tipo di pittura verrà indicato dalla D.L. e potrà essere del tipo oleosintetica, ad olio, al cromato di zinco.

Neutralizzatori, convertitori di ruggine

Soluzioni di acido fosforico contenenti fosfati metallici in grado di formare rivestimenti superficiali con azione anticorrosiva. Solitamente sono miscele di fosfati primari di ferro, manganese o zinco e acido fosforico. Quando è impossibile rimuovere tutta la ruggine è possibile impiegare convertitori di ruggine sempre a base di acido fosforico, in grado di trasformare la ruggine in fosfato di ferro.

Pitture e smalti di resine sintetiche

Ottenute per sospensioni dei pigmenti e delle cariche in soluzioni organiche di resine sintetiche, possono anche contenere oli siccativi (acriliche, alchidiche, oleoalchidiche, cloroviniliche, epossidiche, poliuretani, poliesteri, al ciorocaucchiù, siliconiche). Essiccano con grande rapidità formando pellicole molto dure.

Dovranno essere resistenti agli agenti atmosferici, alla luce, agli urti. Si utilizzeranno dietro precise indicazioni della D.L. che ne verificherà lo stato di conservazione una volta aperti i recipienti originali.

Pitture intumescenti

Sono in grado di formare pellicole che si gonfiano in caso di incendio, producendo uno strato isolante poroso in grado di proteggere dal fuoco e dal calore il supporto su cui sono applicate. Dovranno essere della migliore qualità, fornite nelle confezioni originali sigillate e di recente preparazione. Da utilizzarsi solo esclusivamente dietro precise indicazioni della D.L.

3.9 Materiali diversi

3.9.1 Vetri e cristalli

I vetri e i cristalli dovranno essere, per le richieste dimensioni, di un solo pezzo, di spessore uniforme, di prima qualità, perfettamente incolori molto trasparenti, prive di scorie, bolle, soffiature, ondulazioni, nodi, opacità lattiginose, macchie e di qualsiasi altro difetto.

I vetri per l'edilizia piani e trasparenti dovranno rispondere alle norme UNI 5832, 6123, 6486, 6487 con le seguenti denominazioni riguardo agli spessori espressi in mm:

- sottile (semplice) 2 (1,8-2,2);
- normale (semi-doppi) 3 (2,8-3,2);
- forte (doppio) 4 (3,7-4,3); - spesso (mezzo cristallo) 5-8; - ultraspeso (cristallo) 10-19.

Per quanto riguarda i vetri piani stratificati con prestazioni antivandalismo e anticrimine si seguiranno le norme UNI 9186-87, mentre se con prestazioni antiproiettile le UNI 9187-87. Per i vetri piani temperati si farà riferimento alle indicazioni di progetto ed alle norme UNI 7142. Per i vetri piani uniti al perimetro (vetrocamera) costituiti da due lastre di vetro unite tra loro lungo il perimetro a mezzo di adesivi, con interposizione di distanziatore, in modo da formare una o più intercapedini contenenti aria o gas disidratati, si farà riferimento (oltre che alle indicazioni di progetto) alla norma UNI 7171.

3.9.2 Additivi

Gli additivi per malte e calcestruzzi sono classificati in fluidificanti, aeranti, acceleranti, ritardanti, antigelo, ecc., dovranno migliorare, a seconda del tipo, le caratteristiche di lavorabilità, impermeabilità, resistenza, durabilità, adesione. Dovranno essere forniti in recipienti sigillati con indicati il nome del produttore, la data di produzione, le modalità di impiego. Dovranno essere conformi alle definizioni e classificazioni di cui alle norme UNI 7101-20, UNI 8145.

3.10 Prodotti per la pulizia dei materiali porosi

3.10.1 Generalità

La pulitura delle superfici esterne di un edificio è un'operazione complessa e delicata che necessita di un'attenta analisi del quadro patologico generale, di una approfondita conoscenza della specifica natura del degrado, dello stato di consistenza fisico materica dei manufatti. Un livello di conoscenza indispensabile per identificare la natura del supporto e dell'agente patogeno, per determinare il processo chimico che innesci il degrado e, di conseguenza la scelta dei prodotti e delle metodologie più appropriata di intervento (raccomandazioni NORMAL).

Sarà quindi vietato all'Appaltatore utilizzare prodotti senza la preventiva autorizzazione della D.L. e degli organi preposti alla tutela del bene in oggetto. Ogni prodotto potrà essere utilizzato previa esecuzione di idonee prove applicative eseguite in presenza della D.L. e dietro sua specifica indicazione.

In ogni caso ogni intervento di pulitura dovrà esclusivamente preoccuparsi di eliminare tutte quelle forme patologiche in grado di generare degrado al manufatto, senza pensare quindi all'aspetto estetico e cromatico postintervento. Qualsiasi operazione di pulitura infatti genera un'azione comunque abrasiva nei confronti dei materiali, andando sempre e in ogni modo ad intaccare (seppur minimamente) la loro pellicola naturale (pelle) che si dovrà cercare di conservare integralmente. I singoli prodotti andranno utilizzati puntualmente, mai generalizzandone l'applicazione, partendo sempre e comunque da operazioni più blande passando via a quelle più forti ed aggressive.

3.10.2 Pulitura con acqua nebulizzata

L'utilizzo di acqua per la pulitura dei materiali porosi richiederà la massima attenzione in primo luogo nei confronti dei materiali stessi che non devono risultare eccessivamente assorbenti.

L'acqua dovrà essere pura, scevra da sostanze inquinanti e sali, deionizzata e/o distillata. Le particelle d'acqua dovranno avere dimensioni medie comprese tra 5 e 10 micron. L'irrorazione utilizzerà una pressione di circa 3 atmosfere. L'operazione dovrà essere effettuata con temperatura esterna di almeno 14 °C ed effettuata ad intervalli regolari, in ogni caso il tempo di intervento non dovrà mai eccedere le 4 ore consecutive di apporto d'acqua per evitare l'eccessiva impregnazione da parte delle murature.

La produzione di acqua deionizzata si potrà effettuare in cantiere tramite utilizzo di specifica apparecchiatura con gruppo a resine scambioioniche di portata sufficiente a garantire una corretta continuità di lavoro, gruppo motopompa a rotore in PVC per la adduzione dell'acqua deionizzata di alimentazione ai nebulizzatori, la formazione di adatti circuiti idraulici con tubi in PVC per la distribuzione ad un sufficiente numero di ugelli nebulizzatori completi di rubinetti per la limitazione del flusso, tubi terminali flessibili per la regolazione fine della nebbia di uscita. In ogni caso l'adatto tempo di intervento sarà da determinarsi su zone campione a tempi crescenti concordati con la D.L.

3.10.3 Pulitura chimica

A causa della pericolosità e della difficoltà di controllo dell'azione corrosiva innescata dai prodotti per la pulitura chimica, si dovrà operare con la massima attenzione e cautela, nel pieno rispetto di leggi e regolamenti, in regime di massima sicurezza per l'operatore. Dovrà essere effettuata esclusivamente dietro specifica autorizzazione della D.L. e solo sulle zone dove altri tipi di pulitura meno aggressiva non sono state in grado di eliminare l'agente patogeno.

Si dovranno utilizzare formulati in pasta resi tixotropici da inerti di vario tipo quali la metil o carbosilmetilcellulosa, argille, amido, magnesite che verranno opportunamente diluiti, con i quantitativi d'acqua prescritti dalla D.L. Ad ogni intervento di tipo chimico dovrà seguire abbondante risciacquo con acqua deionizzata per eliminarne il più possibile le tracce.

I prodotti da utilizzarsi potranno essere basici o acidi o sostanze attive e detergenti, quali saponi liquidi neutri non schiumosi diluiti nell'acqua di lavaggio.

Gli acidi si potranno utilizzare per eliminare sali ed efflorescenze con scarsa solubilità in acqua, per i quali non sono risultate sufficienti le operazioni di lavaggio con l'acqua nebulizzata.

Si potrà inoltre utilizzare *acido cloridrico* per l'asportazione di solfato di calcio (rapporto con acqua 1/500); *acido ossalico* in soluzione per l'asportazione di solfato di ferro; *acido etil-diamminicotetracetico* (EDTA) per l'asportazione di consistenti depositi di sali di vanadio e macchie metalliche.

Impacchi basici potranno essere utilizzati per asportare croste dure contenenti materiali poco solubili.

3.10.4 Formulati

Per croste nere di piccolo spessore (1-2 mm) si potrà utilizzare un preparato così formulato:

- 50-100 g di EDTA (sale bisodico);
- 30 g di bicarbonato di sodio; - 50 g di carbosilmetilcellulosa; - 1000 g di acqua.

AB 57; formulato messo a punto dall'ICR, preferibilmente con un PH intorno a 7,5 (sarà comunque sufficiente che il pH non superi il valore 8 per evitare fenomeni di corrosione dei calcari e la eventuale formazione di sotto prodotti dannosi).

Il bicarbonato sviluppa anidride carbonica favorendo così il distacco delle croste nere, mentre l'EDTA complessa il calcio del gesso presente nella crosta, portando in soluzione questo minerale e sostituendolo con solfato sodico, molto più solubile. La seguente ricetta va usata con molta attenzione, solo esclusivamente in caso di effettivo bisogno, in quanto è in grado di generare sali solubili sempre dannosi per i materiali solubili:

- 1000 cc di acqua;

- 30 g di bicarbonato d'ammonio;
- 50 g di bicarbonato di sodio;
- 25 g di EDTA (sale bisodico);
- 10 cc di desogen (sale d'ammonio quaternario, tensioattivo, fungicida); - 60 g di carbossimetilcellulosa.

La quantità di EDTA potrà essere variata e portata, se ritenuto necessario, a g 100-125.

Alla miscela potranno essere aggiunte ammoniaca (NH_4OH) o trietanolammina ($\text{C}_3\text{H}_4\text{OH}_3\text{N}$) allo scopo di facilitare la dissoluzione di componenti "grassi" presenti nella crosta. Ad operazione avvenuta si rende indispensabile un lavaggio ripetuto con acqua deionizzata.

3.10.5 Argille assorbenti

Potranno essere utilizzate due tipi di argilla: la sepiolite e l'attapulgit. Sono fillosilicati idrati di magnesio appartenenti al gruppo strutturale della palygorskite, in grado, di impregnarsi di oli e grassi senza operare azioni aggressive sulla superficie oggetto di intervento. L'operazione di pulizia con argille dovrà essere preceduta da uno sgrassamento e dalla rimozione di eventuali incrostature con solventi opportuni (acetone, cloruro di metilene).

La granulometria dei due tipi di argilla dovrà essere di almeno 100-220 Mesh. Dovranno essere preparate diluendole esclusivamente con acqua distillata o deionizzata fino a raggiungere una consistenza pastosa che consenta la loro lavorazione in spessori di cm 2-3.

3.10.6 Impacchi biologici

Sono impasti argillosi a base di sepiolite o attapulgit, contenenti prodotti a base ureica ed avranno la seguente composizione:

- 1000 cc di acqua;
- 50 g di urea (NH_2CO);
- 20 cc di glicerina (CH_2OH) $_2\text{CHOH}$.

Il fango che si otterrà dovrà essere steso in spessori di almeno cm 2 da coprire con fogli di politene. I tempi di applicazione si stabiliranno in base a precedenti prove e campionature.

3.10.7 Biocidi

Prodotti da utilizzarsi per la eliminazione di muschi e licheni. La loro applicazione dovrà essere preceduta da una serie di operazioni di tipo meccanico per l'asportazione superficiale utilizzando spatole, pennelli a setole rigide, bisturi, ecc. attrezzi comunque da utilizzarsi con estrema cautela in modo da non esercitare un'azione troppo incisiva sul manufatto. I biocidi da impiegarsi potranno essere specifici su alcune specie, oppure a vasto raggio di azione.

Per muschi e licheni si possono utilizzare soluzioni acquose all'1/2% di ipoclorito di litio. Per i licheni soluzioni di sali di ammonio quaternario in acqua all'1/2% o di pentaclorofenolo di sodio all'1%. Per alghe verdi e muffe è possibile irrorare la superficie intaccata con formalina oppure con una soluzione di acqua ossigenata (25%) e ammoniaca.

Per alghe e microflora si potrà anche utilizzare un germicida disinfettante come il benzalconio cloruro da utilizzarsi in soluzione acquosa all'1/2% da applicare a spruzzo.

Molti di questi prodotti non esplicano un persistente controllo algale, sarà pertanto utile applicare sulle superfici interessate prodotti algicidi in solvente, in grado di esplicare un'azione preventiva e di controllo della microflora (alghe, licheni, muffe, microfunghi, ecc.)

Tutti i biocidi, pur non essendo in linea di massima tossici per l'uomo, saranno comunque da utilizzarsi con molta attenzione e cautela; alla loro applicazione dovrà sempre seguire un abbondante risciacquo con acqua deionizzata.

3.11 Prodotti impregnanti

Le sostanze da utilizzarsi dovranno svolgere le seguenti funzioni:

- svolgere un'azione consolidante al fine di accrescere o fornire quelle caratteristiche meccaniche di resistenza al degrado (fisico, chimico, materico, strutturale) che si sono indebolite col trascorrere del tempo, o che non hanno mai posseduto;
- svolgere un'azione protettiva, mediante l'idrofobizzazione dei supporti in modo da renderli adatti a limitare l'assorbimento delle acque meteoriche, l'adescamento dell'umidità per risalita o da condensa, la proliferazione da macro e microflora.

In ogni caso la scelta delle sostanze impregnanti sarà effettuata seguito di analisi, di prove e campionature condotte secondo quanto prescritto dalle raccomandazioni NORMAL e da quanto indicato dalla D.L. Ogni prodotto dovrà

comunque essere sempre preventivamente accompagnato da una scheda tecnica esplicativa fornita dalla casa produttrice, quale utile riferimento per le analisi che si andranno ad effettuare.

In particolare, le caratteristiche richieste in base al loro impiego, saranno le seguenti:

- atossicità;
- elevata capacità di penetrazione;
- resistenza ai raggi UV;
- buona inerzia chimica nei confronti dei più diffusi agenti inquinanti;
- assenza di sottoprodotti di reazione dannosi;
- comprovata inerzia cromatica (comunque da verificarsi in fase applicativa);
- traspirabilità al vapor d'acqua;
- assenza di impatto ambientale;
- sicurezza ecologica;
- soddisfacente compatibilità fisico-chimica con il materiale da impregnare;
- totale reversibilità della reazione di indurimento; - facilità di applicazione; - solubilizzazione dei leganti.

Art. 3.2.10.1 - Impregnanti per il consolidamento

I prodotti da utilizzarsi per il consolidamento dei manufatti oggetto di intervento, dovranno possedere le seguenti caratteristiche:

- elevata capacità di penetrazione nelle zone carenti di legante;
- resistenza chimica e fisica agli agenti inquinanti ed ambientali;
- spiccata capacità di ripristinare i leganti tipici del materiale oggetto di intervento senza la formazione di sottoprodotti di reazione pericolosi (sali);
- capacità di fare traspirare il materiale;
- penetrazione in profondità in modo da evitare la formazione di pellicole in superficie;
- ``pot-life'' sufficientemente lungo in modo da consentire l'indurimento solo ad impregnazione completata;
- perfetta trasparenza priva di effetti traslucidi;
- spiccata capacità a mantenere inalterato il colore del manufatto.

3.11.1 Composti organici

Possiedono una dilatazione termica diversa da quella dei materiali oggetto di intervento.

Sono tutti dei polimeri sintetici ed esplicano la loro azione grazie ad un'elevata adesività. Possono essere termoplastici o termoindurenti; se termoplastici assorbono bene urti e vibrazioni e soprattutto, non polimerizzando una volta penetrati nel materiale, mantengono una certa solubilità che ne consente la reversibilità; i prodotti termoindurenti hanno invece solubilità pressoché nulla, sono irreversibili, piuttosto fragili e sensibili all'azione dei raggi ultravioletti. Hanno un vasto spettro di impiego: i termoplastici sono impiegati per materiali lapidei, per le malte, per la muratura e per i legnami (nonché per la protezione degli stessi materiali e dei metalli), mentre i termoindurenti vengono impiegati soprattutto come adesivi strutturali.

Alcune resine organiche, diluite con solventi, possiedono la capacità di diffondersi in profondità all'interno dei materiali. L'utilizzo delle resine organiche sarà sempre condizionato dalle indicazioni fornite dal progetto di conservazione e alla specifica autorizzazione della D.L. e degli organi preposti alla tutela del bene oggetto di intervento.

3.11.2 Resine epossidiche

Prodotti termoindurenti, con buona resistenza chimica, ottime proprietà meccaniche, eccellente adesività, ma con difficoltà di penetrazione e tendenza ad ingiallire e a sfarinare alla luce solare. Sono impiegate soprattutto per la protezione di edifici industriali, di superfici in calcestruzzo e di manufatti sottoposti ad una forte aggressione chimica, per incollaggi e per consolidamenti strutturali di materiali lapidei, legname, murature.

Sono prodotti bicomponenti (un complesso propriamente epossidico ed una frazione amminica o acida), da preparare a piè d'opera e da applicare a pennello, a tampone, con iniettori o comunque sotto scrupoloso controllo dal momento che hanno un limitato tempo di applicazione.

Il loro impiego dovrà essere attentamente vagliato dall'Appaltatore, dietro espressa richiesta della D.L.

3.11.3 Resine poliuretaniche

Prodotti termoplastici o termoindurenti, a seconda dei monomeri che si impiegano in partenza, hanno buone proprietà meccaniche, buona adesività, ma bassa penetrabilità.

Mescolati con isocianati alifatici hanno migliore capacità di penetrazione nei materiali porosi (hanno bassa viscosità), sono resistenti ai raggi ultravioletti e agli inquinanti atmosferici. Sono spesso usati come alternativa alle resine epossidiche rispetto alle quali presentano una maggiore flessibilità ed una capacità di indurimento anche a 0 °C.

Applicati per iniezione una volta polimerizzati si trasformano in schiume rigide, utili alla stabilizzazione di terreni o all'isolamento delle strutture dai terreni.

Oltre che come consolidanti possono essere impiegati come protettivi e impermeabilizzanti. Infatti, utilizzando l'acqua come reagente, risultano particolarmente adatti per sbarramenti verticali extramurari contro infiltrazioni dando luogo alla formazione di schiume rigide. Si possono impiegare unitamente a gel di resine acriliche per il completamento della tenuta contro infiltrazioni d'acqua. Il prodotto dovrà possedere accentuata idrofilia per permettere la penetrazione per capillarità anche operando su murature umide.

3.11.4 Resine acriliche

Sono composti termoplastici ottenuti polimerizzando gli acidi acrilico, metacrilico e loro derivati. Le caratteristiche dei singoli prodotti variano entro limiti piuttosto ampi in funzione dei tipi di monomero e del peso molecolare del polimero. Per la maggior parte le resine acriliche sono solubili in opportuni solventi organici e hanno una buona resistenza all'invecchiamento, alla luce, agli agenti chimici. Hanno scarsa capacità di penetrazione e non possono essere impiegate come adesivi strutturali. Possiedono in genere buona idrorepellenza che tende a decadere se il contatto con l'acqua si protrae per tempi superiori alle 100 ore. Inoltre, sempre in presenza di acqua tendono a dilatarsi. Il prodotto si applica a spruzzo, a pennello o per impregnazione.

3.11.5 Metacrilati da iniezione

Le resine acriliche oltre che come consolidanti si possono impiegare come protettivi e impermeabilizzanti. I metacrilati da iniezione sono monomeri liquidi a base di esteri metacrilici che, opportunamente catalizzati ed iniettati con pompe per iniezione di bicomponenti si trasformano in gel polimerici elastici in grado di bloccare venute d'acqua dolce o salmastra. Sono infatti in grado di conferire la tenuta all'acqua di murature interrate o a contatto con terreni di varia natura. Si presentano come soluzioni acquose di monomeri la cui gelificazione viene ottenuta con l'aggiunta di un sistema catalitico in grado di modulare il tempo di polimerizzazione. I gel che si formano a processo avvenuto rigonfiano a contatto con l'acqua, garantendo tenuta permanente. Il prodotto impiegato deve possedere bassissima viscosità (simile a quella dell'acqua) non superiore a 10 mPa.s, essere assolutamente atossico, traspirante al vapore acqueo, non biodegradabile. Il pH della soluzione da iniettare e del polimero finale ottenuto deve essere maggiore o uguale a 7, onde evitare l'innesco di corrosione alle armature metalliche eventualmente presenti.

A complemento dell'operazione impermeabilizzante possono essere utilizzati poliuretani acquareattivi.

3.11.6 Perfluoropolietieri ed elastomeri fluororati

Collocazione fortemente anomala rispetto ai prodotti precedentemente illustrati. Sono in genere adatti al consolidamento e alla protezione di materiali lapidei e porosi. Sono prodotti che non polimerizzano dopo la loro messa in opera, non subiscono alterazioni nel corso dell'invecchiamento e di conseguenza non variano le loro proprietà. Non contengono catalizzatori o stabilizzanti, sono stabili ai raggi UV, posseggono buone doti aggreganti, ma anche protettive, risultano permeabili al vapore d'acqua, sono completamente reversibili (anche quelli dotati di gruppi funzionali deboli di tipo ammidico), posseggono scarsa penetrazione all'interno della struttura porosa. Vengono normalmente disciolti in solventi organici (acetone) al 2-3% in peso ed applicati a pennello o a spray in quantità variabili a seconda del tipo di materiale da trattare e della sua porosità.

3.11.7 Resine acril-siliconiche

Uniscono la resistenza e la capacità protettiva delle resine acriliche con l'adesività, l'elasticità, la capacità di penetrazione e la idrorepellenza delle resine siliconiche.

Disciolte in particolari solventi, risultano indicate per interventi di consolidamento di materiali lapidei specie quando si verifica un processo di degrado provocato dall'azione combinata di aggressivi chimici ed agenti atmosferici.

Sono particolarmente adatte per opere in pietra calcarea o arenaria.

Le resine acriliche e acril-siliconiche si dovranno impiegare con solvente aromatico, in modo da garantire una viscosità della soluzione non superiore a 10 cPs, il residuo secco garantito deve essere di almeno il 10%. L'essiccamento del solvente dovrà avvenire in maniera estremamente graduale in modo da consentire la diffusione del prodotto per capillarità anche dopo le 24 ore dalla sua applicazione.

Non dovranno presentare in fase di applicazione (durante la polimerizzazione e/o essiccamento del solvente), capacità reattiva con acqua, che può portare alla formazione di prodotti secondari dannosi; devono disporre di una elevata idrofilia in fase di impregnazione; essere in grado di aumentare la resistenza agli sbalzi termici eliminando i fenomeni di decoesione; non devono inoltre presentare ingiallimento nel tempo, ed essere in grado di resistere agli agenti atmosferici e ai raggi UV. Deve sempre essere possibile intervenire con adatto solvente per eliminare gli eccessi di resina.

3.11.8 Polietilenglicoli o poliessietilene

Sono prodotti termoplastici, molto solubili, usati soprattutto per piccole superfici e su legnami, in ambiente chiuso.

Composti a base di silicio

3.11.9 Estere etilico dell'acido silicico (silicati di etile)

Monocomponente fluido, incolore, si applica in solvente, in percentuali (in peso) comprese fra 60 e 80%. Precipita per idrolisi, dando alcool etilico come sottoprodotto. È una sostanza bassomolecolare a base inorganica in solvente organico. Viene impiegato soprattutto per arenarie e per pietre silicatiche, ma fornisce ottimi risultati anche su mattoni ed intonaci.

Ha una bassissima viscosità, per cui penetra profondamente anche in materiali poco porosi, va applicato preferibilmente con il sistema a compresse o per immersione; è tuttavia applicabile anche a pennello, a spruzzo con irroratori a bassa pressione, a percolazione. Il materiale da trattare va completamente saturato sino a rifiuto; si potrà ripetere il trattamento dopo 2 o 3 settimane. Il supporto dovrà essere perfettamente asciutto, pulito e con una temperatura tra i 15 e i 20 °C. Il consolidante completa la sua reazione a seconda del supporto dopo circa 4 settimane con temperatura ambiente di circa 20 °C e UR del 40-50%.

In caso di sovradosaggio sarà possibile asportare l'eccesso di materiale, prima dell'indurimento, con tamponi imbevuti di solventi organici minerali (benzine).

Alcuni esteri silicici, miscelati con silossani, conferiscono una buona idrorepellenza al materiale trattato; costituiscono anche un prodotto di base per realizzare sbarramenti chimici contro l'umidità di risalita.

È molto resistente agli agenti atmosferici e alle sostanze inquinanti, non viene alterato dai raggi ultravioletti.

Dovrà possedere i seguenti requisiti:

- prodotto monocomponente non tossico;
- penetrazione ottimale;
- essiccamento completo senza formazione di sostanze appiccicose;
- formazione di sottoprodotti di reazione non dannosi per il materiale trattato;
- formazione di un legante stabile ai raggi UV, non attaccabile dagli agenti atmosferici corrosivi;
- impregnazione completa con assenza di effetti filmogeni e con una buona permeabilità al vapor d'acqua;
- assenza di variazioni cromatiche del materiale trattato.

Composti inorganici

Sono certamente duraturi, compatibili con il materiale al quale si applicano, ma irreversibili e poco elastici. Possono inoltre generare prodotti di reazione quali sali solubili. Per questi motivi il loro utilizzo andrà sempre attentamente vagliato e finalizzato, fatte salve tutte le prove diagnostiche e di laboratorio da effettuarsi preventivamente.

3.11.10 Calce

Applicata alle malte aeree e alle pietre calcaree come latte di calce precipita entro i pori e ne riduce il volume.

Non ha però le proprietà cementanti del CaCO_3 che si forma nel lento processo di carbonatazione della calce, per cui l'analogia tra il processo naturale ed il trattamento di consolidamento con calce o bicarbonato di calcio è limitata ad una analogia chimica, poiché tutte le condizioni di carbonatazione (temperatura, pressione, forza ionica, potenziale elettrico) sono molto diverse. Ne consegue che il carbonato di calcio che precipita nei pori di un intonaco o di una pietra durante un trattamento di consolidamento non necessariamente eserciterà la stessa azione cementante di quello formatosi durante un lento processo di carbonatazione.

Il trattamento con prodotti a base di calce può lasciare depositi biancastri di carbonato di calce sulla superficie dei manufatti trattati, che vanno rimossi, a meno che non si preveda un successivo trattamento protettivo con prodotti a base di calce (grassello, scialbature).

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

Si impiega su pietre calcaree e per gli interventi su porzioni di intonaco affrescato di dimensioni ridotte laddove vi sia la necessità di neutralizzare prodotti gessosi di alterazione. L'idrossido di bario è molto affine al CaCO_3 , essendo, in partenza, carbonato di bario BaCO_3 ; reagisce con il gesso per dare BaSO_4 (solfato di bario), che è insolubile. Può dar luogo a patine biancastre superficiali, ha un potere consolidante piuttosto basso e richiede l'eliminazione preventiva degli eventuali sali presenti in soluzione nel materiale.

Non porta alla formazione di barriera al vapore, in quanto non satura completamente i pori del materiale; per lo stesso motivo non esplica un'efficace azione nei confronti della penetrazione di acqua dall'esterno.

Come nel caso del trattamento a base di calce la composizione chimica del materiale trattato cambia solo minimamente; il prodotto consolidante (carbonato di bario, BaCO_3) ha un coefficiente di dilatazione tecnica simile a quello della calcite, è molto stabile ed è praticamente insolubile; se esposto ad ambiente inquinato da anidride solforosa, può dare solfato di bario (BaSO_4), che è comunque un prodotto insolubile. Viceversa non deve essere applicato su materiali ricchi, oltre al gesso, di altri sali solubili, con i quali può combinarsi, dando prodotti patogeni.

3.11.12 Alluminato di potassio, $KAlO_2$

Può dare sottoprodotti dannosi. Fra questi si può infatti ottenere idrossido di potassio, che, se non viene eliminato in fase di trattamento, può trasformarsi in carbonato e solfato di potassio, sali solubili e quindi potenzialmente dannosi.

Impregnanti per la protezione e l'impermeabilizzazione

I prodotti da usare per l'impermeabilizzazione corticale e la protezione dei materiali dovranno possedere caratteristiche specifiche eventualmente confortate da prove ed analisi da effettuarsi in laboratorio o direttamente in cantiere.

Tali prodotti andranno applicati solo in caso di effettivo bisogno, su murature e manufatti eccessivamente porosi esposti agli agenti atmosferici, all'aggressione di umidità da condensa, di microrganismi animali e vegetali. Le operazioni andranno svolte su superfici perfettamente asciutte con una temperatura intorno ai 20 °C. Si potranno applicare a pennello, ad airless, per imbibizione completa e percolamento. Gli applicatori dovranno agire con la massima cautela, dotati di adeguata attrezzatura protettiva, nel rispetto delle norme antinfortunistiche e di prevenzione.

I prodotti da utilizzarsi dovranno possedere un basso peso molecolare ed un elevato potere di penetrazione; buona resistenza all'attacco fisico-chimico degli agenti atmosferici; buona resistenza chimica in ambiente alcalino; assenza di effetti collaterali e la formazione di sottoprodotti di reazione dannosi (produzione di sali); perfetta trasparenza ed inalterabilità dei colori; traspirazione tale da non ridurre, nel materiale trattato, la preesistente permeabilità ai vapori oltre il valore limite del 10%; atossicità.

Sarà sempre opportuno ad applicazione avvenuta provvedere ad un controllo (cadenzato nel tempo) sulla riuscita dell'intervento onde verificarne l'effettiva efficacia.

Composti organici

3.11.13 Polimeri acrilici e vinilici

Sono prodotti solidi ottenuti per polimerizzazione di un monomero liquido. Il monomero liquido può essere applicato ad una superficie per creare (a polimerizzazione completata) un film solido più o meno impermeabile ed aderente al supporto.

I polimeri con scarso grado di polimerizzazione dispersi in acqua o in solventi organici danno luogo a lattici o emulsioni. Polimeri con basso peso molecolare sempre disciolti in acqua o in solvente organico formano soluzioni trasparenti. Entrambi questi prodotti se applicati come rivestimento in strato sottile permangono come film superficiali dopo l'evaporazione del solvente dal lattice o dalla soluzione. Lattici e soluzioni polimeriche sono spesso combinati con altri componenti quali cariche, pigmenti, opacizzanti, addensanti, plastificanti.

I principali polimeri impiegati per questo tipo di applicazione sono i poliacrilati e le resine viniliche.

I poliacrilati possono essere utilizzati come impregnanti di materiali porosi riducendone consistentemente la permeabilità; sono pertanto impiegabili per situazioni limite quando si richiede l'impermeabilizzazione del materiale da forti infiltrazioni. Sotto forma di lattici vengono utilizzati per creare barriere protettive contro l'umidità oppure applicati come mani di fondo (primer) per migliorare l'adesione di pitture e intonaci.

Le *resine viniliche* sono solitamente copolimeri di cloruro di acetato di vinile sciolti in solventi. Presentano ottima adesione al supporto, stabilità sino a 60 °C, flessibilità, atossicità, buona resistenza agli agenti atmosferici. Sono però da impiegarsi con estrema cautela e solo in casi particolari in quanto riducono fortemente la permeabilità al vapore d'acqua, posseggono un bassissimo potere di penetrazione, risultano eccessivamente brillanti una volta applicati.

In ogni caso, avendo caratteristiche particolari ricche di controindicazioni (scarsa capacità di penetrazione, all'interno del manufatto, probabile alterazione cromatica dello stesso ad applicazione avvenuta, effetto traslucido), l'utilizzo dei polimeri organici sarà da limitarsi a casi particolari. La loro applicazione si potrà effettuare dietro esplicita richiesta della D.L. e/o degli organi preposti alla tutela del bene oggetto di intervento.

3.11.14 Resine poliuretaniche

Prodotti termoplastici o termoindurenti a seconda dei monomeri che si impiegano in partenza, hanno buone proprietà meccaniche, buona adesività, ma bassa penetrabilità.

Mescolate con isocianati alifatici hanno migliore capacità di penetrazione nei materiali porosi (hanno bassa viscosità), sono resistenti ai raggi ultravioletti e agli inquinanti atmosferici e garantiscono un'ottima permeabilità al vapore.

Oltre che come consolidanti possono essere impiegate come protettivi e impermeabilizzanti. Infatti utilizzando l'acqua come reagente risultano particolarmente adatte per sbarramenti verticali extramurari contro infiltrazioni dando luogo alla formazione di schiume rigide. Si possono impiegare unitamente a resine acriliche per il completamento della tenuta contro infiltrazioni d'acqua. Il prodotto dovrà possedere accentuata idrofilia per permettere la penetrazione per capillarità anche operando su murature umide.

3.11.15 Metacrilati da iniezione

Sono monomeri liquidi a base di esteri metacrilici che opportunamente catalizzati ed iniettati con pompe per iniezione di bicomponenti si trasformano in gel polimerici elastici in grado di bloccare venute d'acqua dolce o salmastra. Sono infatti in grado di conferire la tenuta all'acqua di murature interrato o a contatto con terreni di varia natura. Si presentano come soluzioni acquose di monomeri la cui gelificazione viene ottenuta con l'aggiunta di un sistema catalitico in grado di modulare il tempo di polimerizzazione. I gel che si formano a processo avvenuto rigonfiano a contatto con l'acqua garantendo tenuta permanente. Il prodotto impiegato deve possedere bassissima viscosità (simile a quella dell'acqua) non superiore a 10 mPa.s, essere assolutamente atossico, traspirante al vapore acqueo, non

biodegradabile. Il pH della soluzione da iniettare e del polimero finale ottenuto deve essere maggiore o uguale a 7 onde evitare l'innesco di corrosione alle armature metalliche eventualmente presenti.

A complemento dell'operazione impermeabilizzante possono essere utilizzati poliuretani acquareattivi.

3.11.16 Perfluoropolieterei ed elastomeri fluororati

Anch'essi prodotti a doppia funzionalità, adatti per la protezione i primi, per il consolidamento e alla protezione di materiali lapidei e porosi i secondi. Sono prodotti che non polimerizzano dopo la loro messa in opera in quanto già prepolimerizzati, non subiscono alterazioni nel corso dell'invecchiamento e di conseguenza non variano le loro proprietà. Non contengono catalizzatori o stabilizzanti, sono stabili ai raggi UV, hanno buone doti aggreganti, ma anche protettive, risultano permeabili al vapore d'acqua, sono completamente reversibili (anche quelli dotati di gruppi funzionali deboli di tipo ammidico), possiedono però scarsa penetrazione all'interno della struttura porosa, se non opportunamente funzionalizzati con gruppi polari (ammidi ed esteri) risultano eccessivamente mobili all'interno del manufatto. Vengono normalmente disciolti in solventi organici (acetone) al 2-3% in peso ed applicati a pennello o a spray in quantità variabili a seconda del tipo di materiale da trattare e della sua porosità.

3.11.17 Oli e cere naturali e sintetiche

Quali prodotti *naturali* sono stati usati molto spesso anche anticamente a volte in maniera impropria, ma in determinate condizioni e su specifici materiali ancora danno ottimi risultati per la loro protezione e conservazione con il grosso limite perché di una scarsa resistenza all'invecchiamento.

Inoltre l'iniziale idrorepellenza acquisita dall'oggetto trattato, sparisce col tempo.

L'*olio di lino* è un prodotto essiccativo formato da gliceridi di acidi grassi insaturi. Viene principalmente usato per l'impregnazione del legno, così pure di pavimenti e materiali in cotto. Gli olii essicativi si usano normalmente dopo essere stati sottoposti a una particolare cottura, per esaltarne il potere essiccativo. L'olio di lino dopo la cottura (250-300 °C) si presenta molto denso e vischioso, con colore giallo o tendente al bruno.

Le *cere naturali*, microcristalline o paraffiniche, vengono usate quali validi protettivi per legno e manufatti in cotto (molto usate sui cotti le cere steariche bollite in ragia vegetale in soluzione al 20%; sui legni la cera d'api in soluzione al 40% in toluene).

Questi tipi di prodotti prevedono comunque sempre l'applicazione in assenza di umidità, che andrà pertanto preventivamente eliminata. Per le strutture lignee si potrà ricorrere al glicol polietilenico (PEG) in grado di sostituirsi alle molecole d'acqua che vengono allontanate.

Le *cere sintetiche*, costituite da idrocarburi polimerizzati ed esteri idrocarburi ossidati, hanno composizione chimica, apparenza e caratteristiche fisiche ben diverse da quelle delle cere naturali. Le cere polietilene e polietilenglicoliche sono solubili in acqua e solventi organici, ma non si mischiano bene alle cere naturali ed alla paraffina. Sono comunque più stabili al calore, hanno maggior resistenza all'idrolisi ed alle reazioni chimiche.

Le cere possono essere usate in forma di soluzione o dispersione. ad esempio in trementina, toluolo, cicloesano o etere idrocarburo, oppure sotto forma di miscele a base di cera d'api, paraffina colofonia.

Tutte le cere trovano comunque impiego ristretto nel trattamento dei materiali lapidei e porosi in generale a causa dell'ingiallimento e dell'opacizzazione delle superfici trattate, danno inoltre luogo alla formazione di saponi che scoloriscono l'oggetto trattato se in presenza di umidità e carbonato di calcio, hanno scarsa capacità di penetrazione. Ancora, non vanno usate su manufatti in esterno, esposti alle intemperie ed all'atmosfera, possibili terreni di coltura per batteri ed altri parassiti. Oli e cere vengono normalmente applicati a pennello.

Composti a base di silicio Idrorepellenti protettivi siliconici

Costituiscono una numerosa ed importante famiglia di idrorepellenti derivati dalla chimica del silicio generalmente conosciuti come siliconi.

I protettivi siliconici sono caratterizzati da comportamenti e performance tipici delle sostanze organiche come l'idrorepellenza, e nel contempo la resistenza chimico-fisica delle sostanze inorganiche apportate dal gruppo siliconico presente.

I composti organici del silicio (impropriamente chiamati siliconi) agiscono annullando le polarità latenti sulle superfici macrocristalline dei pori senza occluderli, permettendo quindi il passaggio dei vapori, ma evitando migrazioni idriche; la loro azione consiste quindi nel variare la disponibilità delle superfici minerali ad attrarre l'acqua in un comportamento spiccatamente idrorepellente; ciò avviene depositando sulle pareti dei pori composti organici non polari.

Idrorepellenti

La pluralità del potere idrorepellente è direttamente proporzionale alla profondità di penetrazione all'interno dei materiali. Penetrazione e diffusione del fluido dipendono quindi dalla porosità del materiale, dalle dimensioni e dalla struttura molecolare della sostanza impregnante in relazione al corpo poroso (pesanti macromolecole ricche di legami incrociati non attraversano corpi molto compatti e si depositano in superficie), la velocità e catalisi della reazione di condensazione (prodotti fortemente catalizzati possono reagire in superficie senza penetrare nel supporto); dell'alcalinità del corpo poroso; delle modalità di applicazione.

In questo grande gruppo di protettivi esistono prodotti più o meno indicati per l'impiego nel settore edile. Le cattive informazioni e l'inopportuna applicazione dei protettivi ha causato notevoli danni al patrimonio monumentale ed è pertanto fondamentale la conoscenza delle caratteristiche dei prodotti da utilizzare. Essi dovranno comunque sempre garantire elevato potere penetrante, resistenza ai raggi ultravioletti ed infrarossi, resistenza agli agenti chimici alcalini,

assenza di effetti filmanti che causino una riduzione della permeabilità al vapore d'acqua superiore al 10% determinata secondo norme DIN 52615, assenza di variazioni cromatiche superficiali, assenza di effetto perlante (fenomeno prettamente superficiale ottenuto velocizzando la polimerizzazione del prodotto, che non rappresenta indizio di qualità e funzionalità dell'impregnazione).

Il loro utilizzo sarà sempre subordinato a specifica autorizzazione della D.L., degli organi preposti alla tutela del bene in oggetto, e comunque ad appropriata campagna diagnostica preventiva effettuata sul materiale da trattare.

3.11.18 Siliconati alcalini

Di potassio o di sodio, meglio conosciuti come metil-siliconati di potassio o di sodio ottenuti dalla neutralizzazione con soda potassica caustica dell'acido silicico. Sono solitamente commercializzati in soluzioni acquose al 20-30% di attivo silicico. Sono prodotti sconsigliati per l'idrofobizzazione ed il restauro di materiali lapidei a causa della formazione di sottoprodotti di reazione quali carbonati di sodio e di potassio: sali solubili.

La scarsa resistenza chimica agli alcali della resina metil-siliconica formatasi durante la reazione di polimerizzazione non offre sufficienti garanzie di durata nel tempo e rende i metil-siliconati non adatti alla protezione di materiali alcalini.

I siliconati di potassio possono trovare applicazione nella idrofobizzazione del gesso.

3.11.19 Resine silconiche

Generalmente vengono utilizzati silossani o polisilossani, resine metil-silconiche diluite con solventi organici quali idrocarburi, xilolo, ragie minerali. La concentrazione da utilizzare non deve essere inferiore al 5% in peso. Si possono impiegare prodotti già parzialmente polimerizzati che subiscono ulteriore polimerizzazione tramite idrolisi una volta penetrati come i metil-etossipolisilossani. Oppure impiegare sostanze già polimerizzate non più suscettibili di formare ulteriori legami chimici quali i metil-fenil-polisilossani. I polimeri silconici hanno una buona stabilità agli agenti chimici, bassa tensione superficiale (in grado quindi di bagnare la maggior parte delle superfici con le quali vengono a contatto), stabilità alla temperatura e resistenza agli stress termici, buona elasticità ed alta idrorepellenza.

Si prestano molto bene per l'impregnazione di manufatti ad alta porosità, mentre si incontrano difficoltà su substrati compatti e poco assorbenti a causa dell'elevato peso molecolare, comunque abbassabile. Inoltre le resine metil-silconiche a causa della bassa resistenza agli alcali sono da consigliarsi su materiali scarsamente alcalini.

In altri casi è possibile utilizzare le resine silconiche come leganti per malte da ripristino per giunti.

3.11.20 Silani

Più esattamente alchil-alcossi-silani, pur avendo struttura chimica simile alle resine silconiche differenziano da queste ultime per le ridotte dimensioni delle molecole del monomero (5-10 Å, uguali a quelle dell'acqua), la possibilità di solubilizzazione in solventi polari quali alcoli o acqua (con la possibilità quindi di trattare superfici umide), la capacità di reagire con i gruppi idrossilici presenti nei materiali contenenti silicati (calce) che porta alla formazione di un film ancorato chimicamente al supporto in grado di rendere il materiale altamente idrofobo.

Sono pertanto monomeri reattivi polimerizzati in situ ad elevatissima penetrazione (dovuta al basso peso molecolare), capaci quindi di idrofobizzare i capillari più piccoli e di combattere la penetrazione dei cloruri e dei sali solubili. Sempre grazie al basso peso molecolare gli alchilalcossi-silani sono utilizzati concentrati normalmente dal 20 al 40% in peso, in casi particolari si possono utilizzare anche al 10%; ciò permette di ottenere ottime impregnazioni su supporti particolarmente compatti e scarsamente assorbenti. Gli alchil-silani devono comunque essere impiegati su supporti alcalini e silicei, risultano pertanto adatti per laterizi in cotto, materiali lapidei e in tufo, intonaci con malta bastarda. Da non impiegarsi invece su marmi carbonatici e intonaci di calce. Danno inoltre ottimi risultati: alchil-silani modificati sul travertino Romano e Trachite; alchil-silani idrosolubili nelle barriere chimiche contro la risalita capillare. Non sono mai da impiegarsi su manufatti interessati da pressioni idrostatiche.

3.11.21 Oligo silossani

Polimeri reattivi a basso peso molecolare ottenuti dalla parziale condensazione di più molecole di silani. Sono generalmente alchil-silossani costituiti da 4 a 10 atomi di monomeri silanici condensati, prepolimeri reattivi che reagendo all'interno del materiale con l'umidità presente polimerizzano in situ, formando resine silconiche. Ne risulta un silano parzialmente condensato, solubile in solventi polari che si differenzia dal silano esclusivamente per le dimensioni molecolari da 2 a 6 volte superiori. Migliora così il potere di penetrazione rispetto alle resine silconiche, restando comunque inferiore nei confronti dei silani. I silossani oligomeri pertanto sono d'impiego generalmente universale e, a differenza delle resine silconiche, manifestando più alta penetrazione garantiscono una migliore protezione nel tempo di supporti compatti e scarsamente assorbenti. Gli alchilsilossani oligomeri grazie al gruppo alchilico, generalmente con medio o alto peso molecolare, offrono sufficienti garanzie contro l'aggressione delle soluzioni alcaline.

3.11.22 Organo siliconi

Gli idrorepellenti organosiliconici appartengono ad una categoria di protettivi idrorepellenti per l'edilizia costituiti da molecole di alchil-silani condensate con gruppi organici idrofili.

Questo permette di ottenere sostanze idrorepellenti solubili in acqua, con soluzioni stabili per 3-6 mesi, facilmente applicabili e trasportabili. Vista la completa assenza di solventi organici non comportano alcun rischio tossicologico per gli applicatori e per l'ambiente. Inoltre l'utilizzo di protettivi diluibili in acqua permette di trattare supporti leggermente umidi.

4 INDAGINI PRELIMINARI AL PROGETTO DI CONSERVAZIONE

4.1 Generalità. Tecniche e strumenti

Generalità

Le indagini da effettuarsi sull'esistente possono prevedere, per certa parte, il prelievo di porzioni del materiale da esaminare. Una prassi da adottarsi solo quando non sia possibile procedere in maniera differente pur di acquisire nozioni indispensabili al progetto di conservazione. Ad ogni buon conto non è ammissibile il ricorso sistematico a tecniche di tipo distruttivo.

Risulta quindi indispensabile impiegare preferibilmente le metodologie di indagine che possono essere definite *non distruttive, o minimamente distruttive*.

Le prove non distruttive si svolgeranno in situ, senza richiedere prelievi, mentre le prove cosiddette minimamente distruttive prevedono il prelievo di pochi grammi di materiale, che si possono recuperare a terra, a seguito di distacco, o in prossimità delle parti più degradate.

Non bisogna in ogni caso dimenticare che anche interventi apparentemente non distruttivi, agendo direttamente sul manufatto con stimoli di varia natura (elettromagnetica, acustica, radioattiva...), se non dosati opportunamente o se usati in maniera impropria possono risultare dannosi.

Ogni tipo di indagine andrà quindi preventivamente discussa con la Direzione Lavori relativamente al tipo di operazione da effettuarsi e alla zona del prelievo. Campagne ed analisi si potranno affidare ad istituti, ditte, laboratori specializzati che dovranno operare secondo specifica normativa e le più recenti indicazioni NORMAL. La scelta degli operatori dovrà sempre essere discussa ed approvata dal progettista, dalla D.L. e dagli organi preposti alla tutela del bene oggetto di intervento.

Tecnologie non distruttive

Ulteriormente suddivise in *indagini passive* (o non invasive) e *indagini attive* (o invasive).

Le *indagini passive* registrano e quantificano fenomeni fisici rilevabili senza interventi artificiali di stimolazione.

L'indagine passiva più comune è la ripresa con strumenti ottici, sia pure con pellicole speciali. Altre tecniche, come la magnetometria, analizzano dall'esterno, senza che siano necessarie ulteriori sollecitazioni, particolari aspetti fisici, nella fattispecie la ferromagneticità naturale, che permette di determinare presenza, dimensione, geometria e consistenza di materiali metallici.

Vengono invece definite *indagini attive* le tecniche che richiedono sollecitazioni artificiali diverse (meccaniche, elettriche, termiche, acustiche) a seconda dei fenomeni da rilevare. Alcuni strumenti hanno un campo di applicazione sia attivo che passivo, come la termovisione, che è comunque efficace anche senza sollecitazioni sull'oggetto, ma vede migliorata la qualità del rilevamento se la superficie da indagare viene preventivamente riscaldata. Tra le più comuni si potranno utilizzare:

- misurazione della temperatura e dell'umidità dell'aria e della superficie di un materiale;
- l'identificazione e la quantificazione dei parametri relativi alla presenza di sostanze chimiche inquinanti;
- la magnetometria;
- il rilevamento fotografico (o telerilevamento) che comprende l'applicazione di fotografia (normale, IR, parametrizzata [colorimetria]), fotogrammetria, termovisione, endoscopia.

Misurazione delle temperature e dell'umidità - Si avvale di una strumentazione piuttosto semplice e di facile impiego (termometri ed igrometri), in grado di fornire valori ambientali (quadro termo-igrometrico) e valori relativi alle superfici. Per la determinazione dei valori relativi alle parti interne dei singoli elementi tecnologici si ricorre a strumenti più sofisticati, come sonde e misuratori del coefficiente di trasmissione termica.

I risultati ottenibili sono comunque inferiori a quelli che si possono raggiungere con prove distruttive, in particolare con la pesatura di campioni, umidi e dopo essiccazione. La quantità di materiale da prelevare e la necessità di provvedere ad una campionatura piuttosto estesa rende comunque preferibili i metodi strumentali. In particolare l'umidità superficiale di un corpo può essere misurata con metodi elettronici e con l'umidimetro a carburo di calcio.

Controllo dei parametri e degli inquinanti atmosferici - Oltre alla temperatura e all'umidità i parametri atmosferici da indagare per valutare l'interazione con i materiali sono la radiazione solare, l'intensità e la direzione prevalente del vento, la qualità-frequenza-intensità delle precipitazioni e la pressione atmosferica. I principali inquinanti atmosferici da individuare e quantificare sono: anidride carbonica, anidride solforosa e solforica, ossidi di azoto, ozono ed ossidanti, acido cloridrico, acido fluoridrico, acido solfidrico, polveri totali, acidità del materiale particellare, solfati, cloruri, nitrati, nitriti, gli ioni calcio, sodio, potassio, magnesio, ferro, ammoniacale ed alcuni ioni metallici presenti in tracce nel materiale particellare.

La campagna di rilevamento, che dovrebbe protrarsi per mesi o addirittura per anni, si avvale di particolari stazioni rilevatrici, fisse o mobili, del tipo di quelle già ampiamente utilizzate per il rilevamento degli agenti inquinanti in aree urbane.

Telerilevamento - Con questo termine si raggruppano tutti i metodi ottici di osservazione e ripresa superficiale, fra i quali hanno grande diffusione la fotografia in b/n, a colori e all'infrarosso (IR), la fotogrammetria, la termografia e l'endoscopia.

La fotografia in B/N e a colori produce una documentazione che consente di verificare ed integrare il rilievo ed è molto utile per mettere in evidenza particolari delle soluzioni architettoniche e strutturali e degli effetti delle patologie di degrado. La fotografia a colori, corredata delle notazioni parametriche del sistema Munse e delle denominazioni con sistemi tipo ISCC.NBS, consente anche di disporre di dati oggettivi e confrontabili sulle caratteristiche cromatiche.

La fotografia all'infrarosso (IR) utilizza pellicole fotografiche sensibili anche alle emissioni di radiazioni elettromagnetiche infrarosse (infrarosso vicino, invisibile all'occhio umano). Consente di evidenziare le discontinuità che, per caratteristiche proprie o del sistema, assorbono e diffondono calore in maniera differente rispetto all'intorno. La sensibilità di queste pellicole ne impedisce l'impiego in ambito non strettamente professionale. Vanno impiegate con filtri rossi e non forniscono sempre un'immagine nitida, se le parti da rappresentare non sono state sottoposte preventivamente a riscaldamento uniforme (artificiale o solare).

Fotogrammetria - Consente la ripresa e la restituzione di immagini depurate dalle distorsioni causate dalle ottiche fotografiche. Nelle applicazioni più comuni prevede l'impiego di banchi ottici per il raddrizzamento di immagini, secondo un piano di coordinate cartesiane, o sul montaggio di un gran numero di riprese raddrizzate. Il risultato è una rappresentazione fotografica in scala e assonometrica su due dimensioni. Per realizzare la visione assonometrica su tre dimensioni, impiegata per le riprese aeree e la redazione di planimetrie territoriali quotate (aereofotogrammetrico) si ricorre alla lettura simultanea con obiettivi di diverso colore (magenta e ciano).

Termovisione - È la tecnologia di indagine non distruttiva che più di altre propone risultati interpretabili in tempo reale, con notevole economia e nel rispetto assoluto dei manufatti. È particolarmente utile nello studio del degrado dei rivestimenti perché evidenzia discontinuità distacchi, bollature, stratigrafie.

È particolarmente versatile ed utile nello studio del degrado di rivestimenti e murature consentendo di individuare la stratificazione delle fasi costruttive di un edificio individuando (sotto intonaco) elementi architettonici di materiali diversi, tamponamenti di porte e finestre, la tipologia della tessitura del paramento, cavità, discontinuità murarie, distacchi, vuoti e sbollature sotto lo strato corticale, andamento delle dispersioni termiche, andamento delle tubazioni e degli impianti esistenti, zone interessate dall'umidità. Indubbi i vantaggi di tale tipo di indagine che permette letture in tempo reale, a distanza e senza interventi distruttivi.

La termovisione permette la visualizzazione di immagini non comprese nella banda del visibile (radiazioni elettromagnetiche comprese tra 0,4 e 0,75 micron) ma estese nel campo dell'infrarosso ed in particolare alla regione spettrale compresa tra 2 e 5,6 micron (infrarosso medio e lontano). I migliori risultati oggi si ottengono utilizzando strumenti sensibili nel lontano infrarosso in quanto è il più lontano possibile dallo spettro della luce visibile e quindi il meno "disturbato". Il metodo si basa sul rilevamento delle radiazioni elettromagnetiche, emesse da tutti i corpi con temperatura superiore allo zero assoluto, consentendo di visualizzare su un monitor la distribuzione della temperatura superficiale (mappa termica o termogramma). Ad ogni materiale, caratterizzato da uno specifico comportamento termico, compete una altrettanto specifica emissione di calore consistente in radiazioni elettromagnetiche. Una telecamera registra tali emissioni, le rimanda ad un elemento ad alta sensibilità, un rivelatore IR in antimonio di indio o di tellurato di cadmio e mercurio che necessita di una temperatura d'esercizio stabile ed il più bassa possibile. I sistemi di raffreddamento in uso sono sistemi criogenici che impiegano azoto liquido (-196 °C) o argon (-186 °C), sistemi termoelettrici (-70 °C) o a cicli frigoriferi (-197 °C). Attualmente sono disponibili apparecchiature che non necessitano di raffreddamento utilizzando rilevatori IR microbolometrici, quindi molto più versatili, affidabili, silenziosi e con alimentazione propria (batteria interna). La mappa termica è ottenuta mediante l'utilizzazione del segnale elettrico generato dall'elemento sensibile e dipendente dall'intensità del profilo radioattivo della superficie sotto esame. Ne deriva sul monitor un'immagine in bianco e nero che utilizza una scala di tonalità di grigi (grey-step), normale (le tonalità scure indicano le zone fredde e quelle chiare le zone calde) o invertita. Un cursore, spostabile in qualsiasi punto dell'immagine, indica la temperatura assoluta del punto. Il termogramma può essere trasferito, mediante un'interfaccia, su monitor a falsi colori, con una scala di riferimento che riporta sia il campo di temperatura inquadrato per ogni colore sia le temperature assolute di ogni colore. Della medesima immagine è possibile avere una stampa fotografica tipo Polaroid, oppure una sua digitalizzazione per successive elaborazioni al computer.

La termografia permette quindi un rilevamento in tempo reale trasferibile immediatamente su supporto fotografico. Non comporta contatto diretto con il manufatto, se non per riscaldarne la superficie (con elementi radianti portatili) in modo da esaltare l'emissione termica superficiale. L'impiego della termovisione è particolarmente utile per individuare, in presenza di superfici intonacate, le discontinuità presenti nell'apparato murario.

È possibile leggere la tessitura degli elementi che compongono la muratura, identificando aperture tamponate, canne fumarie, elementi strutturali, quali pilastri, architravi, archi di scarico, canalizzazioni. Macchie di colore più scuro o più chiaro rivelano la presenza di umidità localizzata, in quanto le zone asciutte e quelle umide danno luogo a differenti flussi di emissione termica. Analogamente è possibile individuare, sugli intonaci e sulle pietre calcaree, le zone solfatate, dove la temperatura puntuale è differente rispetto a quella di zone carbonatiche. Anche le parti di intonaco distaccate dal supporto sono riconoscibili in base a diversi valori emissivi, così come ogni elemento con peso specifico diverso dal materiale circostante (pietre, zanche, travi in legno). La termografia permette quindi di arricchire il rilievo con mappe

tematiche: la mappa delle fughe termiche (ponti termici e zone di condensa), la mappa delle discontinuità strutturali, la mappa dell'umidità, il quadro fessurativo, la mappa delle aggressioni biologiche.

Endoscopia - Gli endoscopi sono strumenti ottici, elettronici o a fibre ottiche progettati per raggiungere cavità inaccessibili per l'osservazione diretta, appositamente realizzati con diametri molto piccoli, da qualche centimetro a pochi millimetri. Sono dotati di sistema di illuminazione dell'area e di sistemi fotografici o di registrazione applicabili all'oculare.

Nelle indagini di tipo non distruttivo si ricorre all'endoscopia per esaminare otticamente condotti o parti cave di piccole dimensioni quali condutture di impianti, intercapedini, strutture nascoste, cavità situate nella muratura, canne fumarie, appoggi di solai. Possono essere impiegati anche come mezzi di indagine minimamente distruttiva effettuando carotaggi di piccolissime dimensioni su manufatti di vario genere onde verificarne la consistenza fisico materica tramite osservazione diretta (murature, travi lignee, ecc.)

Magnetometria - Viene impiegata per l'individuazione di materiali ferrosi inglobati in altro materiale o, su scala territoriale, per individuare i punti di discontinuità del campo magnetico. Il principio su cui si basa è quello dell'induzione elettromagnetica, ovvero della capacità di un campo magnetico di indurre una corrente elettrica e viceversa. Lo strumento più diffuso basato sul rilevamento dei materiali ferrosi per inagnetometria è il *metal-detector*. È composto da un oscillatore che genera una corrente ad alta frequenza che passa in una bobina. In presenza di metalli si ha un forte assorbimento di corrente, proporzionale al quadrato della distanza. In altri modelli la bobina emette a frequenza costante e il campo magnetico che ne deriva è intercettato da una seconda bobina, con assetto perpendicolare alla prima. In presenza di metalli il campo si deforma e tale deformazione viene registrata dalla seconda bobina. Questo tipo di rilevatore individua metalli a distanze maggiori rispetto al primo tipo, ma non fornisce informazioni sulla geometria degli oggetti individuati. Esiste poi un altro tipo di rilevatore, che si basa sullo smorzamento di un circuito risonante in parallelo: una corrente alternata scorre in una bobina sonda e crea un campo allungato sull'asse della sonda stessa, nel piano in cui giace; gli oggetti metallici alterano il campo con un rapporto diametro-copertura dell'oggetto metallico.

Colorimetria - Utilizza in parte la fotografia parametrizzata e in parte le indagini effettuate in laboratorio. La fotografia parametrizzata consiste nel riprendere il manufatto con il corredo di colorimetri standardizzati secondo la scala Munse, come è stato specificato nel paragrafo dedicato alla fotografia a colori. Le prove di laboratorio (vedi oltre) permettono invece di giungere alla determinazione chimica delle cariche e dei pigmenti contenuti nel rivestimento.

Indagini non distruttive invasive

Indagini soniche mediante fonometri - I fonometri sono costituiti da una sorgente di emissione di onde, da un captatore dell'energia sonora (velocimetro, accelerometro, microfono) e da un apparecchio di rilevazione dei segnali, composto da un amplificatore, un analizzatore di segnali, un oscilloscopio ed un registratore. Il suo uso si basa sul rilevamento della deformazione delle onde elastiche in un corpo sollecitato a compressione e/o a taglio: la velocità di propagazione delle onde elastiche diminuisce infatti con la diffusione delle stesse in un corpo; la diminuzione è maggiore se vi è una diminuzione dell'omogeneità del mezzo. Le frequenze registrate sono quindi in funzione delle caratteristiche e delle condizioni di integrità della muratura. In particolare le lesioni e le condizioni di degrado tagliano le frequenze più alte del segnale acustico.

I fonometri possono essere impiegati per verificare le condizioni di integrità di una muratura e del suo rivestimento, anche se è problematico distinguere i dati relativi all'una e all'altro.

Indagini ultrasoniche - L'auscultazione dinamica consente di conoscere con buona approssimazione la qualità e l'eterogeneità dei materiali da costruzione (pietre, mattoni, intonaco), sia in opera che su campione.

Il metodo di misura si basa sulla determinazione della velocità di propagazione delle onde sonore attraverso il mezzo studiato e sulla registrazione del segnale ricevuto. Le misure si effettuano mediante strumentazioni elettroniche composte da un'emittente a frequenza fissa, piezoelettrica, da un cronometro di grandissima precisione (al decimo di milionesimo di secondo) e da un oscilloscopio che visualizza il segnale acustico che ha attraversato il materiale.

Sono possibili tre tipi di misure: le misure, della velocità del suono in superficie, le misure radiate e le misure in trasparenza. Le prime consentono di individuare le alterazioni superficiali del materiale; le seconde consentono di accertare l'omogeneità del materiale a diversa distanza dalla superficie e sono possibili quando sia la superficie interna sia quella esterna sono accessibili; infine, le misure in trasparenza consentono di esaminare il materiale in tutto il suo spessore.

Le frequenze utilizzate sono comprese generalmente fra 0,5 e 15 MHz: le onde a bassa frequenza penetrano maggiormente in profondità rispetto a quelle ad alta frequenza, che danno però una risoluzione migliore.

Con le indagini ultrasoniche è possibile determinare il grado di omogeneità di un materiale, la presenza di vuoti o fessure, la presenza ed il numero degli strati sovrapposti di materiale, il modulo elastico ed il rapporto dinamico di Poisson.

Rilievo della luminosità - Può essere effettuato con un luxmetro (misura l'illuminazione degli oggetti), con un ultraviometro (misura la radiazione ultravioletta), con termometri e termografi.

Unità di misura: –

Illuminazione

lux (lx): illuminazione prodotta dalla sorgente di 1 candela su una superficie normale ai raggi, alla distanza di 1 m.

– *Flusso luminoso*

lumen (lm): flusso che attraversa l'area di 1 mq illuminata da 1 lux, ossia è il prodotto dell'illuminazione unitaria della superficie moltiplicata per l'area (1 lumen = 1 lux x 1 mq).

– *Temperatura di colore*

temperatura alla quale si deve portare il corpo nero perché emetta una radiazione colorata. Luce calda: T bassa < 3000 K (emissione UV trascurabile). Luce fredda: T alta > 5000 K (emissione UV dannosa per gli oggetti - si usano dei filtri). Lampada a filamento di carbone: 2920 K. Lampada a filamento di tungsteno: 3220 K. Faro alogeno: 3400 K. Tubo fluorescente (neon): da 4200 K a 6500 K.

– *Parametri di riferimento standard*

illuminazione dell'ambiente max 300 lx (max 300 lx per pietre e metalli; 150-180 lx per dipinti, lacche, legno, cuoio); temperatura di colore sui 4000 K; umidità relativa 55-60%.

Tecnologie minimamente distruttive

Prove chimiche - La composizione di una malta deve essere determinata con analisi calcimetriche, che prevedono la dissoluzione del campione in acido cloridrico, a concentrazioni e a temperature variabili. Sono, quindi, da conteggiarsi il contenuto di Ca, Mg, Al, Fe (espressi in ossidi) e della silice; il dosaggio del gas carbonico legato ai carbonati; il dosaggio per perdita al fuoco dell'acqua d'assorbimento e di costituzione e delle sostanze organiche eventualmente presenti. Tale analisi può essere integrata da una determinazione per via stechiometrica della percentuale di carbonato di Ca; il residuo insolubile dà la percentuale dell'aggregato. Con questi metodi tradizionali di determinazione delle caratteristiche chimiche non è però possibile giungere ad identificare convenientemente il tipo di legante presente e l'interazione con altri elementi costitutivi, quali il coccio pesto e la silice.

All'indagine tradizionale è possibile affiancare tecniche che si basano sul riconoscimento e sul dosaggio dei vari elementi per via atomica. Tali tecniche uniscono alla grande precisione la caratteristica di poter utilizzare campioni minimi di materiale (bastano infatti generalmente mg 100/150 di sostanza per effettuare una serie completa di analisi).

Analisi per diffrazione con raggi X - Permette di identificare la struttura di una sostanza cristallina e di individuare i singoli componenti cristallini presenti in una miscela in fase solida. La possibilità di individuare un componente è legata al suo stato cristallino: una sostanza ben cristallizzata può essere individuata con uno scarto probabilistico dell'1-2%, mentre per una sostanza non perfettamente cristallizzata lo scarto può arrivare anche al 10%. Allo scarto probabilistico si dà il nome di *limite di rilevabilità*.

L'analisi diffrattometrica, se il contenuto di acqua del campione non è stato alterato, permette anche di rilevare sali a diverso grado di idratazione. Il campione essiccato o glicolato può anche dare indicazioni sulle percentuali di materiali argillosi presenti.

Microscopia ottica - Permette l'osservazione del colore delle componenti, del rilievo delle singole sostanze, dei caratteri morfologici, quali la forma, l'abito cristallino, la sfaldatura, le fratture e le deformazioni, le patologie da stress meccanico (NORMAL 14/83).

Microscopia elettronica a scansione (SEM) con microsonda X - Consente di individuare la distribuzione dei componenti e dei prodotti di alterazione. I risultati sono documentati con fotografie, mappe di distribuzione degli elementi e diagrammi.

Studio petrografico in sezione sottile - Consiste nel realizzare sezioni di materiale estremamente sottili, che vengono osservate al microscopio elettronico a scansione (SEM). Si procede quindi all'analisi modale tramite conta per punti. Con questa analisi si integrano e si verificano i dati delle indagini diffrattometriche e si discrimina la calcite, che può competere tanto all'inerte come al legante.

Fluorescenza ai raggi X (spettrometria da fluorescenza da raggi X - XRF) - Permette di ricavare dati qualitativi e quantitativi sulla presenza della maggior parte degli elementi atomici elementari, a secco o in soluzione.

Analisi conduttometriche - Consentono di valutare il contenuto globale di sali solubili in acqua presenti in un campione, senza fornire però indicazioni più precise sul tipo di sale.

Analisi spettrofotometriche - Si basano sulla proprietà dei corpi di assorbire ed emettere radiazioni di lunghezza d'onda peculiare nei campi del visibile, dell'ultravioletto e dell'infrarosso. Ogni elemento possiede uno spettro caratteristico.

Nel campo del visibile (0,4-0,8 micron) e dell'ultravioletto (0,000136-0,4 micron) la spettrofotometria permette l'identificazione ed il dosaggio dei singoli ioni presenti in una soluzione acquosa. Nel campo dell'infrarosso (0,8-400 Nm) vengono identificati i composti organici presenti nel materiale.

Prove fisiche

Analisi della distribuzione granulometrica - Su un'aliquota di campione, portata a peso costante, si effettua un attacco con EDTA a caldo fino alla totale disgregazione del campione stesso; si procede quindi alla setacciatura per via umida con un setaccio con luce netta tra le maglie intorno a 60 micrometri. La frazione maggiore viene successivamente vagliata a secco tramite una cascata di setacci con luce netta fra le maglie da 60 a 4000 micrometri. L'elaborazione statistica dei dati granulometrici permette di costruire istogrammi di distribuzione e di calcolare i più importanti parametri.

Determinazione della porosità - Per porosità si intende il rapporto fra volume dei pori aperti ed il volume apparente del campione. Si esprime generalmente in percentuale. Per determinare la porosità di un materiale si impiegano soprattutto porosimetri a mercurio e picnometri Beckman.

La porosità è un parametro molto importante nella valutazione dello stato di degrado di un rivestimento, in quanto riguarda direttamente la sua permeabilità all'acqua, che è il principale veicolo e causa di alterazioni nello stato di equilibrio (NORMAL 4/80).

Determinazione della curva di assorbimento di acqua e della capacità di imbibizione - Vengono ricavate per immersione totale del campione in acqua e per pesate successive, ma richiedono quantità di materiale-campione piuttosto elevate (NORMAL 7/81).

Determinazione della capacità di adescamento - Consiste nel misurare la quantità d'acqua assorbita per capillarità da un campione posto a contatto con una superficie liquida. Metodologia e inconvenienti sono i medesimi della prova di determinazione della curva di assorbimento e della capacità di imbibizione (NORMAL 11/82).

Prove meccaniche

Sono prove in grado di determinare le caratteristiche legate alla resistenza a compressione, a trazione, a flessione, della durezza e della resistenza all'abrasione del materiale, ma richiedono generalmente una quantità piuttosto elevata di materiale. Si possono così riassumere:

- prove di compressione monoassiale per la determinazione del modulo di elasticità e della resistenza a compressione monoassiale;
- prove di compressione triassiale (nel caso di strutture particolarmente complesse);
- prove di taglio (in modo particolare in corrispondenza dei corsi di malta);
- prove di carico puntiforme (poin-load) per la determinazione, in modo speditivo, dell'indice di resistenza di ciascun litotipo;
- prove di compressione a lunga durata per l'eventuale esame delle caratteristiche reologiche del materiale;
- prove di trazione diretta o indiretta.

I risultati delle prove di tipo meccanico devono essere correlate con i risultati di analisi di tipo fisico ed in modo particolare con la misura di velocità di propagazione delle onde elastiche lungo l'asse del campione.

Prove meccaniche in situ - Possono essere eseguite mediante l'impiego di appositi martinetti piatti che permettono di determinare in situ i parametri meccanici necessari per il progetto di consolidamento statico.

- *Misura dello stato tensionale.* La misura dello stato di sollecitazione viene effettuata mediante la tecnica del rilascio delle tensioni provocato da un taglio piano eseguito in corrispondenza di un corso di malta. Uno speciale martinetto piatto viene inserito all'interno del taglio e la pressione viene gradualmente aumentata sino a compensare la deformazione di chiusura rilevata al seguito del taglio. La pressione all'interno del martinetto moltiplicata per la costante caratteristica del martinetto, fornisce il valore della sollecitazione preesistente.
- *Determinazione delle caratteristiche di deformabilità e resistenza.* Dopo l'esecuzione della prima fase di prova sopra descritta viene inserito un secondo martinetto piatto parallelo al primo in modo da delimitare un campione di

muratura di dimensioni di circa cm 50\times50. I due martinetti, collegati ad una apparecchiatura oleodinamica, permettono di applicare al campione interposto uno stato di sollecitazione monoassiale. È così possibile determinare il modulo di deformabilità di un campione di grandi dimensioni, in condizioni indisturbate.

- *Determinazione della resistenza al taglio lungo i corsi di malta.* Dopo aver inserito i due martinetti piatti per l'applicazione della sollecitazione normale ai corsi di malta, viene estratto un mattone inserendo al suo posto un martinetto idraulico per l'applicazione della sollecitazione al taglio. A prova terminata il mattone può essere riposizionato.

Queste prove di tipo meccanico si potranno realizzare anche a consolidamento effettuato per verificarne l'effettiva riuscita.

4.2 Diagnosi e materiali

4.2.1 Generalità

Una campagna diagnostica effettuata su qualsiasi tipo di materiale deve permettere innanzitutto di individuare le caratteristiche fisico-chimiche oltre che del materiale specifico, anche dei prodotti derivati dai processi di alterazione, per redigere successivamente una mappatura del degrado sulla base degli elaborati di rilievo.

L'anamnesi storica può essere molto utile in quanto arriva sovente a documentare trattamenti protettivi o di finitura realizzati in passato, quando non si riescono addirittura a recuperare informazioni che testimoniano la provenienza ed il tipo di lavorazione del materiale.

4.2.2 Pietre, terrecotte, intonaci e malte: generalità

Si dovrà, in prima istanza, effettuare un'indagine morfologica macroscopica dell'oggetto e del suo deterioramento (campagna di rilevamento fotografico a vari livelli, analisi visiva, tattile), per giungere ad approfondite analisi chimico-fisiche-meccaniche in grado di determinare la composizione mineralogica e chimica di tipo qualitativo e quantitativo.

Lo stesso tipo di operazione dovrà essere effettuata sugli agenti patogeni in aggressione, su croste nere e depositi, su eventuali organismi infestanti vegetali o animali per identificarne compiutamente le caratteristiche fisiche, chimiche, biologiche e microbiologiche.

Si dovranno pertanto eseguire prove e/o saggi di tipo non distruttivo o minimamente distruttivo, da eseguirsi in situ o da condursi in prevalenza in laboratorio, tramite il prelievo di campioni secondo le modalità poste in essere dalle normative vigenti. Per le analisi di tipo non distruttivo si rimanda alle specifiche di cui all'Art. 3.1.

Per effettuare le analisi mineralogico-petrografiche e chimico-fisiche opportune sarà in generale necessario disporre di campionature (carotature) delle dimensioni minime di cm 2x3x1 per ogni tipo di materiale o per materiali identici che manifestino comunque peculiarità nello stato di degrado. Qualora fossero presenti croste nere o depositi consistenti sarà necessario rimuoverli parzialmente mediante grattamento con opportuni utensili, fino ad ottenere una quantità di 0,5/1 g per l'eventuale effettuazione di analisi chimiche e diffrattometriche. Analogamente sarà utile mettere a disposizione frammenti di materiale ricoperto dalla crosta nera per l'analisi di sezioni stratigrafiche lucide o sottili.

Saranno inoltre necessari frammenti di croste di polveri e di eventuali manifestazioni di origine biologica visibili ad occhio nudo per effettuare tutte quelle prove di laboratorio che si riterranno opportune.

Nelle operazioni di campionamento sopra descritte sarà necessario danneggiare il meno possibile i manufatti, si cercherà pertanto di sfruttare la morfologia del degrado per l'asportazione meno violenta possibile dei campioni (croste nere già sollevate, materiale già fessurato, staccato, ecc.).

Nel caso di macchie di natura organica sarà necessario ricorrere all'estrazione dei campioni mediante impacchi o campioni inerti (sepiolite, polpa di carta, ecc.) predisposti con opportuni solventi per effettuare le successive analisi sulle soluzioni da queste separate.

Sarà inoltre necessario porre una particolare cura nel prelevamento di campioni biologici che dovrà essere effettuato sterilmente, necessitando di strumenti campionatori, contenitori sterili e manipolazioni accurate, per la conservazione ed il trasporto sino a laboratorio specializzato, trasporto che dovrà avvenire il più sollecitamente possibile.

Potranno essere effettuati esami in situ atti a dare indicazioni sui materiali costituenti la fabbrica; questi esami andranno effettuati su superfici fresche di rottura od opportunamente pulite. In generale, però, sarà necessario prelevare provini per consentire l'esame petrografico in adatto laboratorio (mediante microscopio polarizzatore, impiegando metodologie tradizionali di analisi mineralogica in sezione sottile).

Questi studi porteranno alla identificazione di minerali principali ed accessori del materiale prelevato, della sua microstruttura e tessitura, delle eventuali microfaune fossili, ecc., e quindi permetteranno di stabilire la genesi del materiale e la eventuale provenienza determinando l'età del manufatto ed altre caratteristiche quali la granulometria intrinseca e la porosità.

In alcuni casi si dovranno predisporre provini per l'analisi diffrattometrica-X per la determinazione delle fasi cristalline presenti sia nel materiale sia nei depositi superficiali o sulle eventuali croste nere. Potrebbero inoltre essere necessarie analisi al microscopio stereoscopico o a quello elettronico a scansione, qualora si dovesse lasciare inalterato il campione prelevato che potrà quindi essere sfruttato per esami successivi.

4.2.3 Pietre

Le indagini da effettuarsi su elementi lapidei dovrebbero permettere di individuare le caratteristiche fisico-chimiche dei manufatti in modo da evidenziarne gli stati di alterazione identificando nel contempo le cause intrinseche ed estrinseche

di tipo diretto o indiretto generatrici del degrado. Per acquisire questi ultimi dati la ricerca deve partire dalla raccolta di informazioni relative alla storia del manufatto, al luogo di provenienza e di estrazione, alle modalità di posa e messa in opera, al tipo di trattamento che ha eventualmente subito col passare degli anni (tecniche di finitura, applicazione di prodotti protettivi, consolidanti, ecc.). Nel caso in cui il materiale venga impiegato con compiti strutturali diventa necessario individuare ed evidenziare il quadro fessurativo valutandone la staticità o la dinamicità per mezzo di opportuna strumentazione (fessurimetri, deformometri, crepemetri), indagando in parallelo sulle cause del dissesto. In seguito si potranno valutare ulteriori approfondimenti diagnostici di primo e secondo livello da effettuarsi in situ e tramite analisi di laboratorio.

Le procedure, la terminologia e la prassi da adottare per l'esecuzione di prove diagnostiche farà sempre riferimento alle raccomandazioni NORMAL relative ai materiali lapidei naturali e precisamente:

- descrizione delle alterazioni macroscopiche: Normal 1/88;
- campionamento e conservazione dei campioni: Normal 3/80, 2/80;
- caratterizzazione chimico-mineralogico-petrografico-morfologica: 16/84, 6/81, 8/81, 10/82, 14/83, 28/88, 13/83, 32/89, 34/91;
- caratterizzazione fisica: Normal 4/80, 7/81, 11/85, 21/85, 22/86, 29/88, 33/89, 40/93, 43/93, 44/93, 42/93;
- agenti biologici del degrado: Normal 19/85, 9/88, 25/87, 24/86.

Si forniscono in ogni caso indicazioni generali per una serie di analisi suscettibili di ulteriori approfondimenti, ed eseguibili a due livelli di acquisizione di dati.

Primo livello

Ispezione visiva - Utile per stabilire eventuali priorità di intervento e definire le successive indagini diagnostiche di secondo livello. Deve essere effettuata osservando direttamente la superficie esterna dei manufatti lapidei mettendo in evidenza tutte le particolarità che hanno importanza ai fini di una prima diagnosi di tipo macroscopico: colore, abito cristallino, piani di sfaldatura, piani di sedimentazione, patologie di degrado, tipo mineralogico. Si potrà successivamente ricorrere a prove ottiche non distruttive (processi termovisivi e fotografici, all'infrarosso, a luce radente) per individuare discontinuità, alterazioni superficiali, fessurazioni, identificazione di corpi estranei utilizzati per la fermatura, il consolidamento o il fissaggio dei manufatti, zone imbibite d'acqua distaccate o comunque alterate.

Secondo livello

Indagini di dettaglio - In base alle informazioni acquisite al primo livello di indagine si potranno effettuare analisi approfondite a carattere minimamente distruttivo utili a determinare con precisione le caratteristiche fisico-chimiche del materiale. Si dovrà così prevedere il prelievo di almeno un campione delle dimensioni di cm 2x3x1 (pochi grammi). La portata distruttiva potrà essere ulteriormente limitata avendo l'accortezza di prelevare anche parti di roccia degradata, magari in frammenti già distaccati dalla matrice (croste nere, esfoliazioni), eventuali talli o parti di organismi biologici presenti e, mediante impacchi di sostanze solventi, anche campioni delle sostanze presenti come macchie. I campioni così prelevati dovranno essere sottoposti alle seguenti analisi di laboratorio.

Analisi petrografica-mineralogica (Normal 10/82, 14/83): osservando al microscopio, in luce polarizzata o riflessa, sezioni sottili di materiale si è in grado di definirne la struttura mineralogica, la classificazione petrologica, la genesi e la provenienza, identificare i legami fra le diverse sostanze, osservare modificazioni provocate dal degrado. In particolare l'analisi diffrattometrica ai raggi X su preparati di polveri (Normal 24/91) sarà utile per definire la composizione mineralogica principale (feldspati, quarzo, calcite, dolomite, silicati, ecc.), la composizione cristallina delle croste nere, oltre ad identificare componenti argillose. Quest'ultima operazione sarà indispensabile per stabilire il tipo di pulitura da adottare. Vista la spiccata tendenza dell'argilla ad imbibirsi, aumentando il volume, saranno infatti da evitarsi puliture che impieghino l'acqua. L'indagine qualitativa degli elementi chimici può essere inoltre effettuata utilizzando la fluorescenza ai raggi X e la spettrofotometria all'infrarosso.

Analisi chimica: finalizzata a completare la caratterizzazione dei materiali lapidei, individuare la presenza di particolari elementi o prodotti applicati in passato, ricercare le cause ed i meccanismi di degrado, valutare l'efficacia degli interventi conservativi (Normal 28/88). Mediante la somministrazione di prodotti reagenti è possibile risalire alla composizione chimica di partenza. L'analisi calcimetrica permette, per esempio, di valutare il contenuto dei carbonati tramite un attacco acido (Normal 32/89), l'analisi cromatografica di determinare la presenza di sostanze saline. *Analisi fisica*: è utile per determinare i principali parametri fisici del materiale lapideo con prove quantitative e semiquantitative. Mediante misure dirette di peso e volume effettuate su campioni, è possibile determinare la massa volumica apparente e reale, la porosimetria (Normal 4/80), la capacità di assorbimento (per immersione totale e per capillarità: Normal 7/81, 11/85), di imbibizione e di saturazione del materiale. Si possono inoltre acquisire informazioni sulla permeabilità al vapor d'acqua (Normal 21/85), sulla misura e propagazione del suono mediante prove soniche ed ultrasoniche capaci di fornire indicazioni sulle discontinuità presenti nel materiale direttamente correlabili alla velocità di propagazione del suono (Normal 22/86). Ancora è possibile effettuare la caratterizzazione colorimetrica, parametrizzando la luce prodotta da una sorgente tarata e riflessa dal materiale tramite l'impiego di specifica apparecchiatura elettronica (Normal 43/93). L'indagine risulta utile per il controllo di variazioni cromatiche a seguito di trattamenti, lavorazioni, processi di invecchiamento artificiali.

Analisi meccanica: eseguibile nel caso in cui si riscontrino effettivi problemi legati alla staticità, alla resistenza e alla deformabilità del materiale. Sono normalmente analisi di tipo distruttivo o minimamente distruttivo. Si potranno eseguire prove in situ utilizzando essenzialmente apparecchiature sclerometriche capaci di determinare la durezza superficiale del materiale localizzando così aree di minor resistenza meccanica, da sottoporre eventualmente a successive prove di laboratorio. Altre analisi di tipo meccanico potranno effettuarsi in laboratorio su specifici provini carotati per determinare la resistenza a compressione (monoassiale e triassiale) e della resistenza a trazione (effettuabile anche in situ misurando puntualmente la forza necessaria ad estrarre tasselli ad espansione inseriti ad hoc).

Analisi biologica: indagine da eseguirsi sulla microflora autotrofa ed eterotrofa ed in grado di identificare le caratteristiche morfologiche degli organismi in aggressione. Si effettueranno tramite rilevazione visiva utilizzando la microscopia (stereomicroscopio, microscopio ottico, elettronico a scansione e a trasmissione: Normal 19/85) o ricorrendo a colture su terreni selettivi (Normal 9/88, 25/87).

4.2.4 Terrecotte

L'indagine diagnostica da effettuarsi sui materiali in cotto, pur risultando molto simile a quella sui materiali lapidei e sugli intonaci, risulta certamente più complessa. Nella maggior parte dei casi, infatti, i manufatti in laterizio fanno parte di un sistema murario integrato (letti di malta, murature miste, a sacco, strutture portanti o paramenti di tamponamento o rivestimento) che denuncia caratteristiche differenti relativamente alla tipologia impiegata. Lo studio preliminare deve in ogni caso permettere di individuare le caratteristiche fisico-chimiche dei manufatti in modo da evidenziarne gli stati di alterazione identificando nel contempo le cause intrinseche ed estrinseche di tipo diretto o indiretto generatrici del degrado.

Come per gli altri materiali risulta indispensabile conoscere la genesi storico-costruttiva del manufatto acquisendo informazioni relative alla provenienza, alle modalità di posa e messa in opera, al tipo di trattamento che ha eventualmente subito col passare degli anni (tecniche di finitura, applicazione di prodotti protettivi, consolidanti, ecc.). Nella maggior parte dei casi i laterizi vengono impiegati con compiti strutturali: diventa così per lo più necessario svolgere un'indagine di tipo statico onde individuare ed evidenziare l'eventuale quadro fessurativo valutandone la staticità o la dinamicità per mezzo di opportuna strumentazione (fessurimetri, deformometri, creepometri), conoscere e calcolare i carichi d'esercizio, indagare sulle cause del dissesto tramite approfondimenti diagnostici. Altro fattore determinante per il degrado dei manufatti in cotto è la presenza di umidità che andrà attentamente monitorata.

In seguito si potranno valutare ulteriori *approfondimenti diagnostici di primo e secondo livello* da effettuarsi in situ e tramite analisi di laboratorio.

Primo livello

Ispezione visiva - Indispensabile per stabilire eventuali priorità di intervento e definire le successive indagini diagnostiche di secondo livello. L'osservazione diretta della superficie esterna servirà per mettere in evidenza tutte le particolarità che hanno importanza ai fini di una prima diagnosi di tipo macroscopico: colore, piani di sfaldatura, piani di sedimentazione, sfarinamento, presenza di efflorescenze saline, presenza di patologie in genere (muschi, licheni, croste nere, macchie, depositi, degrado dei letti di malta). Si potrà successivamente ricorrere a prove ottiche non distruttive (apparecchi termovisivi e fotografici, all'infrarosso, a luce radente) per individuare discontinuità, alterazioni superficiali, fessurazioni, identificazione di corpi estranei utilizzati per la fermatura, il consolidamento o il fissaggio dei manufatti, zone imbibite d'acqua e distaccate o comunque alterate.

Secondo livello

Indagini di dettaglio - Analisi a carattere minimamente distruttivo da eseguirsi sulla base delle informazioni acquisite al primo livello, utili a determinare con precisione le caratteristiche fisico-chimiche del materiale e degli agenti patogeni in aggressione.

Indagini in situ - Utili a determinare la presenza di umidità e del contenuto d'acqua come meglio specificato all'Art. 3.3.3.1. (apparecchi a costante dielettrica, al carburo di calcio, rilevatori di condensazione, di temperature superficiali), di fornire indicazioni sulle discontinuità presenti nel materiale effettuando misurazioni di tipo sonico e ultrasonico direttamente correlabili alla velocità di propagazione del suono. Indagini endoscopiche onde verificare l'eventuale modalità di posa in opera di setti murari a sacco o da rivestimento.

Natura del materiale e determinazione del contenuto di sali - Nel caso si abbisognasse di conoscere la natura del materiale oggetto dell'intervento e se la crosta nera e le efflorescenze contengono o meno solfati o quali altri sali solubili si potrà effettuare direttamente in cantiere la seguente prova: si disporrà di bisturi per grattare il materiale in aggressione, di un mortaietto di porcellana per polverizzarla, di una serie di provette e di reagenti come segue:

- acqua distillata;
- acido cloridrico (HCl) al 10%;
- acido nitrico (HNO₃) al 10%;
- acido solforico (H₂SO₄) concentrato (96%);

- due sali solubili al 5% di cloruro di bario (BaCl_2) e nitrato di argento (AgNO_3): si preparano pesando g 5 dei due sali e sciogliendoli in due boccette in cui si versano circa cc 100 di acqua distillata;
- solfato ferroso (FeSO_4) solido in cristallini.

Si saggerà il materiale in oggetto direttamente in situ su una superficie fresca o in un punto dove non è coperto da patologie o su un campioncino polverizzato nel mortaio. Se aggiungendo poche gocce di acido cloridrico si avrà una rapida effervescenza si potrà concludere che il materiale è ricco di carbonato di calcio; se l'effervescenza è debole il materiale sarà di tipo dolomitico o marnoso, arenaria a cemento calcareo, malta di calce idraulica; nessuna effervescenza indicherà che il materiale sarà di natura silicatica, graniti, beole, laterizi senza residui carbonatici ecc.

Per esaminare le polveri di croste nere sarà necessario portare le stesse in provette addizionandole con qualche cc di acqua distillata e agitare a lungo. Per la ricerca di solfati si aggiungeranno due o tre gocce di acido cloridrico, si agiterà ancora lasciando poi riposare sino a decantazione del solido rimasto indissolto, si verseranno poche gocce di cloruro di bario: un precipitato bianco-grigio di solfato di bario indicherà la presenza di solfati, che saranno più abbondanti quanto più intorpidisce la soluzione.

Analogamente si opererà per i cloruri, utilizzando acido nitrico e poi nitrato di argento: anche in questo caso un precipitato bianco latte, voluminoso, di cloruro di argento attesterà la presenza di questi sali.

Per valutare la presenza di nitrati la prova si effettuerà nel mortaio, disponendo in questo pochi cristallini di solfato ferroso, poi una goccia della soluzione acquosa ottenuta dalla crosta ed una di acido solforico concentrato; se si formerà un anello bruno attorno ai cristalli di solfato ferroso sarà certa la presenza di nitrati.

Analisi di laboratorio - Si dovrà prevedere il prelievo di piccole carote di circa cm 2x3x1 (pochi grammi) per ogni tipo di materiale o per materiali identici che comunque manifestino peculiarità nello stato di degrado, avendo eventualmente l'accortezza di prelevare anche parti degradate, magari in frammenti già distaccati dalla matrice (croste nere, esfoliazioni). I campioni così prelevati dovranno essere sottoposti ad analisi petrografica-mineralogica per mezzo di osservazione in sezione sottile al microscopio, in grado di identificare i minerali principali ed accessori, la microstruttura e tessitura, la granulometria e la porosità. Anche qui si potrà ricorrere all'analisi diffrattometrica ai raggi X per la determinazione delle fasi cristalline presenti sia nel materiale che nelle croste nere.

Analisi chimica: sarà necessario effettuare analisi chimiche dei materiali che verificheranno il contenuto totale di Ca, Mg, Fe, Al, Si, Na, K, P, ed eventualmente Ti, Mn, Sr. I provini prelevati saranno tali da garantire la effettuabilità delle analisi opportune. Sarà inoltre necessario fare il prelevamento di campioni per analisi di croste nere e di efflorescenze saline che sappiano evidenziare la qualità e la quantità dei sali solubili, in particolare di solfati, cloruri e nitrati, per avere a disposizione una sostanziale idea del grado di pericolosità delle croste e delle efflorescenze e predisporre l'utilizzo degli agenti pulenti adatti alla loro rimozione.

Analisi fisica: è utile per determinare i principali parametri fisici delle murature in laterizio con prove quantitative e semiquantitative. Mediante misure dirette di peso e volume effettuate su campioni, è possibile determinare la massa volumica apparente e reale, la porosità, la capacità di assorbimento (per immersione totale e per capillarità), di imbibizione e di saturazione del materiale. Si possono inoltre acquisire informazioni sulla permeabilità al vapore d'acqua.

Analisi meccanica: eseguibile nel caso in cui si riscontrino effettivi problemi legati alla staticità, alla resistenza e alla deformabilità del materiale. Sono normalmente analisi di tipo distruttivo o minimamente distruttivo da effettuarsi direttamente sull'apparecchio murario e/o su campioni cubici di muratura di cm 4x4x4 (laterizio, malta-laterizio). Si potranno eseguire prove sulla durezza superficiale del materiale, che mettano in evidenza le proprietà fisico-meccaniche della superficie esposta e no, da effettuare prima delle operazioni di pulitura.

È infatti dimostrato che su alcuni tipi di materiale da costruzione, per effetto dell'esposizione agli agenti atmosferici, si ha un indurimento superficiale che può avere un effetto protettivo sul materiale o peggiorarne la conservazione (distacco o sfogliamento per disomogeneità di comportamento chimico-fisico con il materiale sottostante). Alcuni metodi di pulitura tendono a diminuire la durezza dello strato di superficie (spray di acqua, ecc.), altri a conservarla (impacchi di attapulgit, ecc.).

Sarà quindi necessario controllarne l'esistenza con successive misure di durezza superficiale, prima e dopo la pulitura, e verificare la preservazione dello strato indurito con test alternati di permeabilità all'acqua e al vapore (per esempio mediante misure di velocità di evaporazione dell'acqua).

Test e prove potranno essere effettuati in laboratori specializzati mediante il prelevamento di campioni ad hoc o sul monumento stesso. Lo strumento da utilizzarsi per la prova di durezza superficiale sarà lo sclerometro di Martens, costituito da una punta d'acciaio gravata da un peso variabile che, trascinata mediante una manopola righerà il manufatto; più il materiale è tenero e più la punta si affonda nello stesso tracciando un largo solco. Le dimensioni del solco saranno poi determinate mediante un tubo microscopico dotato di micrometro. Prove di questo tipo, mettendo in evidenza la presenza di uno strato indurito e l'eventuale diminuzione di durezza superficiale dovuta alla pulitura, consentiranno di valutare l'eventuale necessità di consolidamenti mediante resine opportune o di modificare il metodo di pulitura stesso.

Un'altra caratteristica tecnica che sarà necessario evidenziare mediante prove opportune è la resistenza all'usura sia del materiale incrostante (crosta nera, incrostazione calcarea, ecc.) sia di quello base sottostante.

Sarà inoltre necessaria l'eventuale valutazione di altre caratteristiche quali la porosità del materiale, che consentirà di giudicare la capacità di assorbimento d'acqua dello stesso in merito ad eventuale trattamento di pulizia mediante acqua nebulizzata.

Analisi biologica: indagine da eseguirsi sulla microflora autotrofa ed eterotrofa in grado di identificare le caratteristiche morfologiche degli organismi anche non visibili ad occhio nudo (solfobatteri, nitrobatteri, attinomiceti e funghi

microscopici). Si effettueranno tramite rilevazione visiva utilizzando la microscopia (stereomicroscopio, microscopio ottico, elettronico a scansione e a trasmissione) o ricorrendo a colture su terreni selettivi.

4.2.5 Intonaci e malte

La diagnostica per le malte e per gli intonaci sarà analoga a quella utilizzata per le pietre per quanto riguarda l'analisi chimico-fisica. Tuttavia una malta ha un livello funzionale, nell'ambito di un manufatto edilizio, molto più complesso di quello di un elemento lapideo. La malta interagisce direttamente con il supporto e con gli altri strati (se vi sono) di intonaco, rappresenta l'interfaccia fra elementi costruttivi e fra questi e l'ambiente, determinando i flussi di interscambio (igrotermici, atmosferici, idrici).

Per conoscere le caratteristiche e lo stato di conservazione di una malta non potrà essere sufficiente l'analisi delle singole componenti ma sarà necessario ricorrere alla valutazione dei vari livelli prestazionali.

Come per la pietra le procedure, la terminologia e la prassi da adottare per l'esecuzione di prove diagnostiche farà riferimento alle raccomandazioni NORMAL comuni ai materiali lapidei naturali e precisamente:

- descrizione delle alterazioni macroscopiche: Normal 1/88;
- campionamento e conservazione dei campioni: Normal 3/80;
- caratterizzazione chimico-mineralogico-petrografico-morfologica: 16/84, 8/81, 14/83, 13/83, 34/91;
- caratterizzazione fisica: Normal 4/80, 7/81, 11/85, 21/85, 22/86, 29/88, 33/89, 40/93, 43/93, 44/93, 42/93;
- agenti biologici del degrado: Normal 19/85, 9/88, 25/87, 24/86.

Tuttavia segnaliamo ulteriori raccomandazioni nate specificamente per i materiali lapidei artificiali:

- terminologia tecnica di definizione e descrizione delle malte: Normal 23/86, 23/87; - descrizione chimico-mineralogico-petrografico-morfologica: Normal 12/83, 15/84; - caratterizzazione: Normal 27/88, 26/87, 31/89, 32/89.

Si forniscono in ogni caso indicazioni generali per una serie di analisi suscettibili di ulteriori approfondimenti, ed eseguibili a tre livelli di acquisizione di dati.

- il primo livello dovrà indagare la funzionalità del sistema, con metodi prevalentemente ottici;
- il secondo sarà rivolto alla determinazione delle caratteristiche del materiale;
- il terzo dovrà studiare le interazioni interne alla malta e fra questa e l'intorno.

Primo livello

L'esame visivo e tattile consentirà, anche nel caso delle malte, di indirizzare la successiva campagna diagnostica e di ricavare i primi dati elementari: aspetto esterno, presenza di patologie di degrado (polverizzazione, alveolizzazione, distacchi, bollature, colonie di organismi biopatogeni).

Per approfondire l'analisi al livello dello stato funzionale del sistema ci si potrà avvalere in modo particolare di tecniche di telerilevamento, della termovisione e della fotogrammetria, per individuare le caratteristiche del supporto ed eventuali zone degradate non visibili a occhio nudo (parti distaccate o umide).

Secondo livello

Si potrà ricorrere ad una serie di prove non distruttive o minimamente distruttive per determinare parametri che descrivono le capacità prestazionali globali dell'intonaco. Pesando campioni di materiale si preciseranno:

Densità - Assoluta ρ_a e relativa ρ_r , ovvero massa volumica reale ed apparente, rapporti tra massa del materiale e volume reale o apparente, quest'ultimo comprensivo del volume fra pori aperti e chiusi. Variazioni nel valore della massa volumica reale indicano la formazione di nuovi composti o la perdita di materiale per azioni patologiche.

Peso specifico - Varia, per le malte, da 2,50 a 2,70, mentre non sempre è possibile determinare sperimentalmente quello delle singole componenti, per cui si usa ricorrere a valori standard in rapporto al tipo di materiale impiegato (*peso di volume e peso in mucchio*).

Setacciando gli stessi campioni è possibile determinare la granulometria degli aggregati, ossia la distribuzione percentuale delle frazioni di aggregato con diverso diametro. È uno dei parametri più importanti, perché influisce sulle più importanti caratteristiche prestazionali dei rivestimenti. L'elaborazione statistica dei dati granulometrici (che si sviluppano su scala semilogaritmica) porta a istogrammi di distribuzione e alla determinazione di importanti parametri (per esempio l'indice di dispersione, il grado di simmetria, l'indice di acutezza).

Negli intonaci la granulometria degli aggregati varia fra i 60 e i 4000 millimicron.

Porosità - È un altro parametro fondamentale, perché influenza notevolmente gli scambi igrotermici con l'ambiente. Si definisce come rapporto percentuale tra il volume dei pori aperti ed il volume apparente. Il volume reale si misura con picnometri (porosimetri) di tipo Beckman, mentre il volume apparente si ricava con picnometri a mercurio.

La porosità negli intonaci dipende dalla forma degli aggregati e dalla quantità di legante presente. Maggiore è la sfericità dei granuli e minore è la porosità della malta. La presenza di legante in grande quantità e la lavorazione a ferro o a spatola limitano notevolmente la porosità di un impasto, che normalmente è compreso fra 34% e 40%.

Dalla porosità dipendono anche la capacità di assorbimento, il coefficiente di assorbimento, la permeabilità all'aria, all'acqua e al vapore acqueo.

Capacità di assorbimento - È l'attitudine di un materiale ad assorbire acqua, che viene fissata nelle cavità interne. Come è noto l'altezza della risalita capillare è legata poi all'evaporazione della stessa acqua di risalita: il livello massimo sarà determinato dal raggiungimento di una superficie bagnata che garantisce evaporazione di una quantità di acqua pari a quella assorbita dal terreno.

Permeabilità - Si misura con strumenti denominati permeametri. I permeametri si distinguono in due categorie: a carico costante e a carico variabile.

La permeabilità di un rivestimento è determinante per le condizioni del sistema murario: una grande permeabilità consente alla muratura di *respirare* ma può portare all'imbibizione di acqua piovana; una permeabilità molto ridotta comporta l'instaurarsi di una *barriera al vapore*, che provoca tensioni superficiali dovute al gradiente di pressione fra interno ed esterno e può portare a distacchi superficiali, a condense interne e ad una alterazione generale delle condizioni di equilibrio.

Coefficiente di permeabilità "k" - Dipende anche dalla tessitura del mezzo poroso e dalla viscosità del fluido. In generale si riscontra una correlazione diretta con la granulometria del materiale e con la coesione delle singole particelle.

Una notevole importanza riveste anche la considerazione del parametro μ , che indica la resistenza alla diffusione del vapor d'acqua. Il valore μ di un intonaco tradizionale si aggira intorno a 15-17 (negli intonaci deumidificanti μ vale circa 12, mentre gli intonaci cementizi raggiungono il valore 20).

Con prove di laboratorio è possibile stabilire anche l'*igroscopicità* di una malta (fenomeno di assorbimento di vapore acqueo provocato dalla presenza di elementi solubili), la *conducibilità termica* e le proprietà meccaniche. I valori della resistenza meccanica sono però determinabili solo con prove a rottura di campione, che vanno quindi di norma evitate, a meno che il dato sperimentale non sia essenziale per la buona riuscita dell'intervento. Le proprietà meccaniche dipendono soprattutto dal grado di coesione dell'impasto, dalla presenza di umidità e dallo stato di alterazione, per cui spesso la conoscenza di queste caratteristiche è necessaria per orientare anche le prove di resistenza. Indicativamente la resistenza a compressione di una malta da rivestimento varia fra 2 e 3 N/mm², mentre la resistenza a flessione è compresa fra 0,5 e 1,2 N/mm².

Con prove interamente non distruttive (parametrizzazione Munsell) si può invece specificare il colore di un impasto, anche se queste prove si applicano per lo più ai rivestimenti pittorici.

La caratterizzazione delle proprietà fisiche e chimiche di un intonaco avviene su base petrografica. I parametri fisici di cui tenere conto sono: densità, peso specifico, granulometria.

L'analisi chimica permette invece di identificare e di quantificare le sostanze presenti. Viene svolta su campioni ridotti (pochi grammi) da analizzare con le stesse modalità precisate per i materiali lapidei.

Terzo livello

Prende in esame le interazioni con l'intorno e con le altre componenti tecnologiche; spesso ci si limita a determinare le caratteristiche fisico-chimiche del materiale riducendone artificiosamente la complessità, rinunciando a considerare i fenomeni interattivi. Col risultato che in molti cantieri di restauro si considera sufficiente, per avere buoni rappezzi e buone stuccature e stilature, riprendere e ripetere la composizione della malta esistente anche nei nuovi impasti. Senza considerare l'importanza che la lavorazione e l'applicazione può avere per il comportamento futuro di una malta. Alcune operazioni diagnostiche sulle malte sono comunque molto complesse: per esempio è particolarmente difficile determinare il comportamento e lo stato di interazione fisico fra i diversi strati di un intonaco. È possibile comunque realizzare dei modelli di studio che si avvicinano notevolmente alla realtà, pur mantenendo una certa approssimazione. Bisogna però ricordare come questi parametri non siano ottenibili con il solo impiego di tecniche diagnostiche non distruttive e di facile applicazione.

4.2.6 Legni

Le prove diagnostiche sui manufatti in legno saranno indirizzate alla determinazione delle caratteristiche dell'essenza, alla precisazione delle condizioni statiche, dello stato di conservazione e delle specifiche patologie di degrado.

Le indagini dovranno basarsi su un sopralluogo con attento esame visivo dei manufatti e delle condizioni al contorno, sulla misurazione delle caratteristiche igrotermiche dell'ambiente, sull'impiego di strumenti atti a determinare l'entità di eventuali dissesti, sul prelievo di materiale oggetto di biodeterioramento.

Per determinare il tipo di essenza e, conseguentemente, le condizioni adeguate al mantenimento di uno stato di equilibrio, si potrà fare ricorso a tecniche minimamente distruttive, che prevedono il prelievo di un ridotto quantitativo di materiale.

Le indagini da effettuarsi si possono dividere essenzialmente in due livelli utili all'acquisizione di dati speditivi di prima approssimazione ed in analisi di dettaglio utili alla puntuale valutazione dello stato di degrado di strutture e manufatti. Risulta ovvio che tutte le analisi richiedono che la struttura da valutare sia il più possibile accessibile e che la superficie del legname risulti pulita, senza strati di pitturazioni, verniciature e trattamenti che ne impediscano la visibilità.

Primo livello

Ispezione visiva - Risulta certamente utile per stabilire eventuali priorità di intervento e definire le successive indagini diagnostiche di approfondimento. Deve essere effettuata osservando direttamente la superficie esterna degli elementi e dei manufatti lignei mettendo in evidenza tutte le particolarità che hanno importanza ai fini di una prima diagnosi di tipo macroscopico. Si potranno pertanto identificare la specie legnosa, i caratteri morfologici, i difetti e le anomalie, il degrado apparente. Andranno valutate le alterazioni subite nel corso del tempo dal materiale, lo stato dei collegamenti tra i singoli elementi, andranno identificati i difetti in grado di condizionare le proprietà meccaniche del legno quali nodi, fessurazioni, deviazione della fibratura, dovrà essere rilevata la presenza di attacco biologico da parte di insetti xilofagi e dei funghi della carie.

Restituzione grafica - Questa prima indagine speditiva permette di registrare e di restituire sulle tavole di rilievo:

- la specie legnosa;
- distorsioni, inflessioni, curvature, fessurazioni;
- macchie di muffa, spore, zone polverizzate (l'odore di muffa potrà essere utile a localizzare gli ambienti dove queste patologie sono presenti);
- presenza di fori e/o di polvere di legno dovuti all'attività di insetti xilofagi;
- presenza di larve e/o insetti morti;
- sfaldamento degli strati superficiali di pitturazioni o verniciature;
- macchie di umidità;
- presenza di nodi, cipollature e altre alterazioni della continuità del materiale.

Secondo livello

Indagini di dettaglio - In base alle informazioni acquisite al primo livello di indagine si potranno effettuare analisi approfondite di tipo strumentale di tipo minimamente distruttivo.

Dendrocronologia - Permette di determinare l'età dell'elemento ligneo. Avviene attraverso il paragone della conformazione degli anelli annuali. A seconda degli anni più o meno fecondi si possono rilevare dati di crescita differenti. Attraverso analisi di tronchi diversi della stessa specie viene definita una curva standard per una precisa regione geografica. Dall'elemento ligneo vengono prelevati campioni di prova, contenenti un numero minimo di 30 anelli annuali che vengono misurati e paragonati alla curva standard. Quando la curva data dal campione e quella standard coincidono è possibile determinare l'età dell'elemento. Il campione migliore per un'analisi è costituito da una fetta di tronco. Per materiali in opera si dovrà ricorrere alla carotatura.

Misurazione della resistenza ad infissione - È un metodo penetrometrico in grado di definire la presenza di degrado e la resistenza massima del legno in situ.

Una punta metallica viene infissa nel legno con colpi ripetuti alla stessa intensità trasmessi da uno sclerometro. A seconda del numero dei colpi necessari a raggiungere la profondità di cm 1 è possibile identificare il degrado in atto. La correlazione tra i risultati ottenuti in situ e i risultati ottenuti dalle prove di laboratorio, a loro volta correlati a prove di resistenza a flessione degli stessi provini, possono portare a definire la resistenza massima del legno in situ. A causa dell'anisotropia del legno e dell'eventuale presenza di umidità i risultati possono essere molto diversi. Umidità superiore al 25% può fortemente influenzare i risultati dell'analisi.

Analisi resistografiche - Viene impiegato uno strumento capace di misurare la resistenza opposta dal legno alla penetrazione di una punta di piccolo diametro (1,3-3 mm). Un trapano speciale imprime un movimento combinato di rotazione ed avanzamento a velocità costante della punta. Tramite la misurazione della potenza assorbita dal motore dello strumento durante la perforazione vengono restituiti dei grafici, denominati "profili" che hanno andamento caratteristico dipendente dalla specie legnosa e dalla densità. Si possono così ricavare dati sulle caratteristiche del legno, specialmente nelle zone non visibili o non accessibili (teste delle travi), determinare la presenza di danni causati da insetti e/o funghi della carie (diminuzione della resistenza alla foratura). Con questa tecnica si è inoltre in grado di valutare l'altezza delle sezioni dove non vi siano altre possibilità di accertamento.

Metodo della resistenza ad estrazione - Il sistema, di tipo minimamente distruttivo, risulta utile per definire quale porzione di una sezione di elementi colpiti da degrado sia ancora portante. Lo strumento è composto da una vite da legno, un cilindro in ferro ed un comparatore a quadrante che misura la variazione del diametro in micron. La curva di variazione del diametro una volta effettuato l'avvitamento, determina una forza che corrisponde alla forza di estrazione della vite.

Dopo varie prove si paragona la dipendenza della forza di estrazione alla densità media calcolata precedentemente in base al peso del provino per un'umidità del 12%.

Analisi soniche/ultasoniche - Si basano sulla misurazione del tempo di propagazione delle onde attraverso il legno. Vengono impiegati generatori di impulsi che, a seconda della dimensione del corpo da analizzare e della direzione del suono, emettono frequenze tra i 20 kHz e 1 MHz. Gli impulsi vengono trasmessi al corpo da un trasmettitore e ricevuti ad una distanza predefinita da un ricevitore. Il tempo di percorrenza viene normalmente rilevato da oscillografi. La velocità di propagazione viene influenzata dal degrado presente, dall'umidità, da difetti e irregolarità, dalla direzione della fibra. Tramite la correlazione dei dati è pertanto possibile definire caratteristiche e proprietà del legno nonché la densità e le proprietà elastiche.

Analisi del contenuto d'acqua - Parametro molto importante in quanto da esso dipendono tutte le proprietà fisiche e meccaniche del legno e soprattutto la sua predisposizione agli attacchi da funghi della carie. Come umidità del legno si intende il rapporto tra la massa del legno secco e la quantità d'acqua data in percentuale presente al suo interno. I valori caratteristici dell'umidità del legno sono:

- 0% peso del legno essiccato, legno assolutamente secco;
- dall'8 al 12%, umidità degli elementi interni alla casa (mobili);
- dal 12 al 16% elementi all'esterno (finestre);
- dal 15 al 20%, legno da costruzione all'esterno, ma coperto;
- 20%, valore limite oltre il quale è favorita la proliferazione dei funghi;
- dal 28 al 32% valori per cui per quasi tutti i tipi di legno si ha la saturazione della fibra.

Le misurazioni dell'umidità di possono effettuare tramite:

- metodo dell'essiccazione (o ponderale): metodo minimamente distruttivo che prevede l'estrazione di alcuni provini di materiale che vengono immediatamente pesati, essiccati e successivamente ripesati. Tramite semplici equazioni si determina la percentuale di umidità presente nel provino prelevato rispetto al provino secco. Durante l'operazione bisogna fare in modo che il provino prelevato non subisca in alcun modo fenomeni di pre-essiccazione prima della pesatura, falsando così il dato finale.
- metodo a resistenza dielettrica: di sicuro meno preciso del precedente in quanto facilmente influenzabile dai sali o altri elementi chimici presenti nel legno. Il metodo si basa sulla misurazione della resistenza elettrica tra due elettrodi inseriti nel legno. Tale resistenza sarà tanto più bassa quanto più risulta elevata la presenza d'acqua all'interno dell'elemento.

Analisi del materiale - L'analisi di campioni di fibre degradate consentirà di determinare il tipo di attacco biologico in corso e di studiare un'adeguata risposta chimica.

La possibilità di procedere ad analisi minimamente distruttive permette di conoscere innanzi tutto il tipo di essenza e la variazione del contenuto di umidità rispetto ai limiti che caratterizzano una specifica essenza. Da queste informazioni deriva immediatamente la conoscenza di altri dati fisici sull'essenza studiata, quali il peso specifico apparente e assoluto, l'indice di porosità, il contenuto di umidità. Prove effettuate su campioni della medesima essenza, sottoposti a cicli di invecchiamento, possono essere impiegati per ricavare ulteriori informazioni circa la resistenza meccanica, i valori di dilatazione dovuta a sbalzi termici, la capacità di assorbimento d'acqua.

Valutazione delle condizioni statiche - Consisterà nella precisazione del modello statico del manufatto, nell'individuazione degli elementi deteriorati e nella verifica degli elementi maggiormente sollecitati.

La conoscenza del tipo di essenza e, quindi, del suo peso specifico e delle caratteristiche di resistenza, permette una verifica mirata alla luce dei valori limite previsti dalla scienza delle costruzioni e dei coefficienti di sicurezza individuati dalla legislazione vigente.

Dal momento che generalmente il legno è impiegato per strutture in grado di esercitare sui vincoli solo azioni verticali, l'indagine si incontrerà particolarmente sulla rilevazione dell'inflessione degli elementi longitudinali, sulla verifica dei nodi di collegamento e sulle condizioni degli appoggi e delle testate delle travi. In presenza di capriate devono essere analizzati con particolare cura anche le connessioni fra puntoni, monaco e catena e lo stato delle reggiature. In ogni caso per compiere le indispensabili verifiche statiche è necessario:

- riformulare i valori della resistenza della specifica essenza alla luce del contenuto di umidità rilevato;
- effettuare la stima della sezione resistente residua nei casi in cui si sia rilevato un danno di natura biotica (attacco da insetti, carie); oltre certi limiti l'apporto in termini di capacità portante della parte di legno interessata dal degrado viene considerato nullo; nei calcoli di verifica strutturale si dovrà tener conto della diminuzione della sezione originaria;
- identificare e localizzare le sezioni di minima resistenza; alcuni elementi possono presentare particolare concentrazione di difetti che unitamente concorrono ad una sensibile riduzione della resistenza; tali sezioni costituiscono punti di indebolimento strutturale;
- eseguire la stima dello stato e dell'efficienza dei collegamenti; capacità portante e stabilità di una struttura lignea dipendono anche dall'efficienza della trasmissione dei carichi da un elemento strutturale all'altro; la valutazione dello stato dei collegamenti di varia natura (incastrati di vario tipo, semplici appoggi, reggiature, staffature, imbullonature, tirantature, fasciature, chiodature) deve effettuarsi mediante accurata osservazione delle condizioni del legno e delle altre parti non legnose in modo da determinare le caratteristiche geometriche e dimensionali del collegamento, lo stato di conservazione dei materiali che lo costituiscono ed eventualmente il suo stato tensionale;
- effettuare la valutazione strumentale delle caratteristiche geometriche utilizzando estensimetri meccanici e/o elettronici, flessimetri e deformometri.

4.2.7 Metalli

I manufatti metallici potranno essere oggetto di due ordini di indagini conoscitive: indagini volte a determinare la natura del materiale e indagini volte a valutare la funzionalità strutturale del medesimo.

Nel caso dei metalli, a parte alcuni aspetti del degrado del cemento armato, l'esame visivo potrà essere già sufficiente all'individuazione delle patologie di degrado nella loro globalità. Per la determinazione degli aspetti chimici bisognerà invece ricorrere a prove strumentali.

Fra queste, le analisi chimiche e metallografiche minimamente distruttive servono a stabilire la composizione chimica del metallo e delle patine. Si effettuano su campioni di piccolissima dimensione, adatti alla realizzazione di sezioni microscopiche e metallografiche (pochi grammi). Le analisi non differiscono, pur avendo una propria specificità, da quelle mineralogiche; in particolare anche per i metalli è consigliabile l'indagine per diffrazione ai raggi X, o l'elettrografia per emissione, che sono in grado di stabilire la composizione dei materiali cristallini che si formano sulla superficie del manufatto a seguito delle reazioni patogene. La conoscenza della composizione chimica dei metalli e delle sostanze presenti sulla loro superficie può agevolare la scelta dei prodotti detergenti, che devono in molti casi essere selettivi.

Le indagini strutturali comprendono invece prove non distruttive, come la termografia, la gammagrafia, la radiografia a raggi X, la fotografia ad infrarosso e a luce radente e prove minimamente distruttive, come quelle per la determinazione della resistenza del metallo, che prevede una campionatura piuttosto consistente.

In particolare la termovisione permette di valutare le modalità di diffusione della temperatura in una struttura e lo scambio termico con l'intorno, che determinano movimenti anche di grande ampiezza, in rapporto alle dimensioni del manufatto e che possono essere all'origine di dissesti, soprattutto se i vincoli non sono in buono stato di conservazione.

Metal detector, magnetometria, termografia, ultrasuoni, radar e altre tecniche possono consentire di determinare la posizione dei ferri di armatura in strutture di cemento armato.

Complemento inscindibile delle indagini diagnostiche su strutture metalliche sarà la verifica statica: dovrà essere realizzata con elaborazioni di calcolo impostate sui principi della statica e della scienza delle costruzioni, prendendo in considerazione le caratteristiche del materiale (geometriche e chimiche), l'entità dei carichi d'esercizio, le tensioni ammissibili, i vincoli e le loro condizioni, lo schema strutturale e i possibili effetti di incendi e di eventi eccezionali (in particolare sismi e alluvioni). La verifica, per essere valida, si dovrà avvalere di rilievi adeguati e dei risultati delle prove diagnostiche e generalmente si avvale di prove di carico che possono anche avere valore di collaudo.

4.2.8 Rivestimenti

La colorazione di una malta viene generalmente distinta in due categorie: una detta idiocromatica, che è determinata dal colore proprio dei materiali che costituiscono la malta stessa o la sua finitura pittorica; l'altra è detta allocromatica, in quanto conseguenza della presenza di aggregati o di pigmenti che si distinguono da quelli predominanti. L'importanza di tale classificazione trova la sua ragione nella pratica per la determinazione della stabilità delle colorazioni: infatti le componenti allocromatiche sono molto spesso più instabili di quelle idiocromatiche.

La nomenclatura dei colori fa riferimento al sistema Munsell di classificazione (in due versioni) che si basa sulla considerazione di tre fattori denominati hue, chroma e value.

- Hue è la tonalità del colore (rosso, verde, giallo, blu, ecc.), definita in fisica cromaticità o croma.
- Chroma è il numero di granelli colorati in rapporto ai grigi.
- Value è la riflessività.

Munsell dispose su un cerchio cinque colori principali: rosso (R), giallo (Y), verde (G), blu (B), porpora (P).

Le combinazioni di queste tinte danno altre cinque tonalità intermedie: R-Y, G-Y, B-G, P-B, R-P.

Questi dieci colori possono combinarsi fra loro fino a formare 100 tipi di hue.

L'origine dei pigmenti impiegati nelle malte o nei rivestimenti riportati è suddivisibile in pigmenti naturali e artificiali, minerali od organici. I pigmenti naturali più usati sono i seguenti:

bianco: calce spenta (bianco-San Giovanni, bianco di Spagna, bianco Meudon, bianco di Champagne, bianco Bugival, Biancone); bianco animale (ricavato dalla calcinazione e macinazione di conchiglie, molluschi e gusci d'uovo).

nero: terra nera di Venezia (carbonato di calcio con ferro; manganese e argilla), pirolusite, manganite, manganomelano.

giallo: limonite (ocra gialla), argille (ocre), solfuri.

azzurro: argille, serpentino, idrossidi di Al.

rosso: ematite (ocra rossa), argille (ocre).

verde: clorite, talco, serpentino, sericite, scapolite.

4.3 Indagini preliminari

4.3.1 Indagini preliminari agli interventi di deumidificazione

Individuazione delle cause - L'individuazione e la classificazione delle cause scatenanti il fenomeno potranno avvenire utilizzando una serie di indagini, semplici e più complesse da impiegarsi a seconda dei casi.

Il fenomeno potrà essere facilmente individuato anche tramite una semplice indagine visiva tenendo presenti le seguenti indicazioni.

a) *Umidità di tipo ascendente*: è indipendente dalla stagione, sale sulle murature sino ad una altezza di circa m 2-3 impregnandole per tutto lo spessore. Scompare in un tempo piuttosto lungo, 3-4 anni, avendone chiaramente eliminata la causa.

Può essere alimentata da falda freatica o derivare da altre cause quali acque disperse e perdite occasionali.

Nel primo caso i valori di umidità risultano essenzialmente simili in tutte le membrature murarie costruite con materiali analoghi; l'altezza di risalita è costante nel tempo ed è chiaramente massima nelle esposizioni meno soleggiate (nord, nord-est) o ventilate e minima in quelle meglio esposte (sud); in linea di massima il fenomeno è facilmente verificabile su altri edifici realizzati con caratteristiche costruttive analoghe, edificati nella medesima zona.

Nel secondo caso il fenomeno si presenta concentrato solo in alcune murature o parti di muratura; l'altezza di risalita non è costante nel tempo (oscillazioni annue); il fenomeno si verifica esclusivamente in un singolo edificio o in edifici adiacenti o comunque molto prossimi.

Un dato da non dimenticare è che l'umidità tende chiaramente a risalire, cioè a divenire umidità ascendente, solo quando è sostenuta da una colonna capillare che ha la sua base nell'acqua sotterranea. In caso contrario l'invasione dell'umidità è di tipo gravitazionale, diretta cioè verso il basso; diviene ascendente solo se il muro nella parte inferiore è già saturo.

L'umidità ascendente avanza abbastanza veloce nei primi decimetri e in seguito sempre più lentamente poiché l'evaporazione superficiale la contrasta. Logicamente quanta più acqua evapora da un muro, tanto più si riduce l'altezza di risalita.

b) *Umidità di condensazione*: si ripresenta ogni anno alla stessa stagione e si trova sulla superficie dell'edificio a qualunque altezza. È facilmente eliminabile tramite il calore e la ventilazione, ma può ripresentarsi con facilità.

Difficile eseguire una diagnosi, le macchie al momento dell'osservazione possono infatti essere asciutte e l'umidità di condensazione può facilmente confondersi con altri tipi di umidità.

c) *Umidità di percolamento*: può essere dovuta a particolari condizioni atmosferiche (pioggia, neve, nebbia) o a pluviali, tetti, tubazioni poco funzionali o addirittura rotti.

- *Umidità da acqua piovana*: le cause delle infiltrazioni possono essere molteplici: fessurazioni dell'intonaco, distacco tra materiali di caratteristiche diverse (per esempio tra le strutture portanti e i tamponamenti), difetti degli intonaci (di composizione o di coesione tra intonaco e supporto), degrado della malta, difetti di connessione tra gli infissi e le murature.
- Se le infiltrazioni sono dovute a cause localizzate, anche le manifestazioni di umidità saranno localizzate. L'acqua a causa della sua mobilità e continua migrazione può comunque riapparire anche molto lontano dal punto di

penetrazione. Al contrario, nel caso in cui le infiltrazioni siano dovute a difetti complessivi dell'edificio, le manifestazioni appaiono su tutta la facciata, generalmente quella esposta alla pioggia battente.

- Le macchie di umidità legate alle precipitazioni atmosferiche sono molto accentuate in caso di pioggia, tendono normalmente a scomparire dopo un periodo di bel tempo. Le macchie sono prevalentemente esterne dato che è molto improbabile il passaggio della pioggia nelle murature se non quando si è in presenza di crepe o fessurazioni. Il grado di umidità è decrescente dall'esterno all'interno della muratura e dall'alto verso il basso: il rapporto è l'inverso di quello che si avrebbe nel caso di umidità ascensionale.
- *Umidità dovuta a perdite e rotture*: si può manifestare in varie parti dell'edificio con macchie localizzate interne ed esterne. Quando l'umidità è visibile in prossimità del punto di infiltrazione è più facile diagnosticare il guasto e porvi rimedio, ma è più frequente che la macchia compaia lontano dalla sua origine a causa della migrazione interna dell'acqua. In mancanza di dati ben visibili ed esaurienti (per esempio macchie localizzate, pluviali decisamente fuori uso) è necessario procedere ad una sistematica e puntuale ispezione del perimetro dell'edificio, verificando se pozzi, cisterne, fognature risultano in buone condizioni o perdano visibilmente; ispezionando gli impianti di raccolta ed allontanamento delle acque stradali e piovane, verificando con adatte strumentazioni le eventuali perdite delle tubazioni.

In edifici non di recente costruzione il più delle volte le cause vanno logicamente sommandosi: ascensione capillare, acque disperse, impianti tecnologici rotti o inadeguati, locali mal aerati sono una serie di effetti che concorrono in modo più o meno grave al danneggiamento della muratura.

4.3.2 Tecniche di misura dell'umidità

Sarà opportuno, prima di dare il via al progetto, di intervento volto alla eliminazione del fenomeno dell'umidità e/o delle cause determinanti la patologia, predisporre una campagna diagnostica di conoscenza volta a determinare con più precisione alcune caratteristiche e peculiarità del fenomeno in oggetto. Il progetto di diagnostica ha lo scopo di individuare le aree maggiormente colpite dal fenomeno dell'umidità e quindi di trovare delle possibili soluzioni da applicare per risolvere il problema. Può essere essenzialmente organizzato in tre differenti fasi.

- Sopralluogo e valutazione delle condizioni del manufatto dedicando particolare attenzione a tutte le condizioni al contorno che andranno particolarmente verificate: condizioni climatiche della zona (stagionali e dei periodi precedenti alla fase di rilievo), esposizione e soleggiamento, sistema idrico della zona, di approvvigionamento, di raccolta e smaltimento delle acque, morfologia e caratteristiche geologiche del terreno, identificazione della falda freatica, verifica dell'integrità del sistema delle coperture, verifica dell'esistenza di intercapedini e/o vespai, stato di conservazione delle superfici, stato di ventilazione dei locali da analizzare, accessibilità e condizioni di misura.
- Definizione delle operazioni di rilievo diagnostico sulla base delle informazioni acquisite nella prima fase ed acquisizione dei dati in campagna tenendo in considerazione: le condizioni climatiche al momento delle analisi, orario, condizioni barometriche, soleggiamento, eventuali errori accidentali e di sistema.
- Fase di elaborazione dei dati a tavolino e in laboratorio utili alla stesura della relazione finale indicante i risultati ottenuti correlando tutte le informazioni acquisite.

Seguendo un iter selettivo saranno in questo modo evitate indagini a tutto campo che il più delle volte restituiscono un quadro generale complesso, eterogeneo ed illeggibile, e pertanto inutilizzabile per la stesura di un corretto progetto di intervento.

La ricerca diagnostica svolta in cantiere, quale prima fase di conoscenza diretta dovrà dare garanzie di economicità, praticità e velocità, utilizzando apparecchiatura non eccessivamente complesse di facile utilizzo ed applicabilità. Apparecchiature in grado di fornirci indicazioni a carattere comparativo, in grado di determinare la differenza di comportamento tra una muratura sana ed una malata dello stesso edificio.

Sarà inoltre indispensabile conoscere il contenuto d'acqua presente in una struttura muraria; tale valore è legato non tanto alla capacità del materiale di assorbire acqua, quanto piuttosto alla sua attitudine a evaporarla più o meno velocemente.

Per una muratura in mattoni pieni il livello di guardia deve essere del 2,5-3,0% in peso; sotto questo limite, purché il locale sia aerato, non si producono danni igienici né alle persone né alle cose.

Una prima ricerca diagnostica dovrà riguardare:

- le misure igrometriche;
- le misure del contenuto d'acqua nelle strutture;
- i rilevatori di condensazione; - le misure della temperatura dell'aria; - le misure della temperatura superficiale.

I tipi di analisi diagnostiche potranno riguardare direttamente o indirettamente il manufatto oggetto di studio, in modo assolutamente non distruttivo, o relativamente distruttivo, tramite quindi il prelievo di campioni più o meno rilevanti.

Misure igrometriche o dell'umidità relativa - I valori di umidità relativa dovrebbero, di norma, essere compresi tra il 35% ed il 70%; l'umidità relativa esprime il rapporto percentuale fra l'umidità effettivamente contenuta nell'aria ad una data temperatura e l'umidità massima che potenzialmente potrebbe esservi contenuta, sempre alla stessa temperatura.

I principi fisici su cui si basano gli strumenti di rilevamento sono:

- la variazione dimensionale di elementi organici (capelli, membrane) con il variare dell'umidità;
- la variazione della resistenza elettrica di sensori realizzati con impasti di sali igroscopici in funzione dell'umidità relativa;
- la variazione dell'impedenza elettrica di semiconduttori in funzione dell'umidità relativa; - la formazione di condensazione su una superficie in funzione della sua temperatura.

-

Si potranno in genere utilizzare essenzialmente due strumenti:

l'igrografo a capello, derivato dall'igrometro a capello, dal quale differisce solo per la possibilità di registrare immediatamente i dati relativi all'umidità, tramite un apposito apparecchio a tamburo; è basato sulla proprietà dei capelli umani e di certe fibre organiche di aumentare o diminuire di lunghezza con il variare dell'umidità dell'aria. I movimenti dei capelli, opportunamente amplificati, vengono riportati su indice numerico.

La registrazione dei dati può essere giornaliera, settimanale o mensile. Accoppiato con un termometro a lamina bimetallica, può dare anche la rilevazione della temperatura dell'aria trasformandosi così in un termigrografo.

I limiti dello strumento stanno nella facile staratura a cui è soggetto, per cui se ne consiglia una taratura periodica circa ogni tre mesi. Risulta estremamente utile e pratico nell'utilizzo in cantiere. Lo *psicrometro* è uno strumento sufficientemente preciso, pratico e funzionale composto da due termometri uguali uno con bulbo libero e asciutto, l'altro avvolto in una pezzuola che deve essere mantenuta bagnata. Con una leggera ventilazione si accelera l'evaporazione della pezzuola provocando il raffreddamento del bulbo del termometro bagnato, mentre l'altro, asciutto, rimane insensibile al movimento dell'aria. La differenza di temperatura tra i due termometri sarà tanto maggiore quanto più forte è l'evaporazione dell'acqua, cioè quanto più l'aria è asciutta. Lo scarto termico tra i due termometri permette quindi di calcolare l'umidità relativa dell'aria con molta esattezza. Lo scarto risulterà uguale a zero quando l'umidità raggiunge il 100%. Lo strumento non è utilizzabile con temperature vicine a 0 gradi centigradi, in quanto il bulbo gelerebbe.

Con l'aiuto della *tabella psicrometrica* si può immediatamente stabilire il tenore igrometrico dell'aria. È possibile incorporare nello strumento un elaboratore elettronico in grado di fornire oltre all'umidità relativa, la temperatura dell'aria, l'umidità assoluta, la temperatura di rugiada.

Misure del contenuto d'acqua

Metodi indiretti - Prevedono l'utilizzo di strumentazioni assolutamente non distruttive, completamente rispettose della materia, da impiegarsi per la totalità in cantiere quale prima, indispensabile, ma spesso non esauriente, indagine conoscitiva.

- *Misuratori a lettura di resistenza elettrica*: forniscono la lettura delle variazioni di resistenza elettrica fra elettrodi posti sulla muratura. Tale resistenza è influenzata dall'umidità: maggiore è il contenuto d'acqua e maggiore è la conducibilità elettrica. La misura può essere effettuata solo superficialmente ed è poco precisa, dipende dai materiali ed è molto influenzata dalla eventuale presenza di sali. Sono strumenti pratici, agili e veloci sicuramente utili per realizzare una prima fase esplorativa, tralasciando l'affidabilità dell'esatta misurazione, valutando i valori estremi della scala di riferimento presente sullo strumento.
- *Misuratori a lettura di costante dielettrica*: si basano sulla lettura della costante dielettrica tra due elettrodi standard appoggiati alla muratura. Avendo l'acqua costante dielettrica 30-40 volte più elevata degli altri materiali, sarà facile per lo strumento rilevare anche piccole quantità di acqua presenti nei materiali edili. La misurazione risulta meno influenzata dalla presenza di sali, ma si tratta sempre di un tipo di misurazione superficiale, difficilmente impiegabile su superfici scabre.
- *Misuratori del contenuto d'acqua a neutroni*: può essere impiegato solo per studi limitati a piccole estensioni. Se si fa attraversare il materiale in oggetto da un fascio di neutroni, o meglio microonde, si avrà una attenuazione della loro energia iniziale a causa dell'acqua contenuta nel materiale stesso. Per fare tale tipo di rilevazione basta porre un ricevitore o di fronte alla sorgente, dalla parte opposta della struttura in esame (misura per trasparenza), oppure dalla stessa parte (misura per riflessione).

Metodi diretti - Prevedono, ovviamente, analisi di laboratorio da effettuarsi su campioni di muratura estratti mediante carotaggi o perforazioni. Certamente utili là dove è necessario dare precise risposte di tipo quantitativo, sempre che i prelievi siano indirizzati in funzione di risposte quantitative già raccolte mediante indagini non distruttive, al fine di ridurre al massimo il rischio di effettuare sondaggi localizzati in punti che risultano in seguito non rappresentativi.

- Metodo ponderale: certamente il sistema più preciso attualmente a disposizione del tecnicooperatore.

- Il contenuto d'acqua in un materiale viene determinato calcolando la differenza tra il peso dello stato umido ed il peso dello stato secco. Il metodo fornisce dati esatti sul singolo campione, ma non è consigliabile risalire ad un valore di riferimento per l'intera muratura. Per ottenere risultati attendibili si devono eseguire numerosi prelievi tramite carotaggio con trapani a basso numero di giri (150 giri/min) e, per carote profonde (oltre cm 100), con carotatrici al widia. I prelievi andranno effettuati a differenti altezze e sezioni verticali della muratura (primo campione in superficie, secondo campione a cm 15-20 di profondità). I campioni vengono immediatamente pesati con bilancia di precisione, successivamente essiccati, avendo l'accortezza di non superare la temperatura di 110 °C e quindi ripesati valutando la quantità d'acqua contenuta nel materiale. Tale quantità andrà quindi riferita percentualmente al peso o al volume del campione in esame.
- Metodo del carburo di calcio: se un campione prelevato dalla muratura viene mescolato con del carburo di calcio (CaC_2), si sviluppa dell'acetilene (C_2H_2) in quantità strettamente legata all'acqua presente nel campione. Forzando la reazione in ambiente chiuso sarà possibile misurare la pressione esercitata tramite manometro. Lo sviluppo di acetilene è direttamente proporzionale alla quantità d'acqua, al valore della quale è possibile risalire ammasso di conoscere la quantità standard del materiale esaminato e del carburo di calcio.

Rilevatori di condensazione - Di norma le condizioni favorevoli al verificarsi della condensazione sono stagionali, ma possono anche essere di breve durata. È un fenomeno difficile da cogliere in atto. Esistono quindi dei rilevatori che, collegati ad un registratore, permettono di conoscere la frequenza e la durata del fenomeno.

- Rilevatori di condensazione a variazione di resistenza: il funzionamento è basato sul principio che la resistenza elettrica che passa tra due elettrodi, molto vicini tra loro e collegati da una basetta isolante a bassa inerzia termica, fissata al muro, tende a precipitare con il fenomeno della condensazione dell'acqua sulla basetta. In pratica, se la resistenza fra i due elettrodi è elevata, la basetta è asciutta e quindi non siamo in presenza di condensazione. Bisogna fare attenzione che la basetta sia pulita e priva di sali, poiché si verrebbero a segnalare fenomeni di igroscopicità e non di condensazione.
- Rilevatori di condensazione ed appannamento: permettono di misurare l'attenuazione che subisce un fascio di luce ad infrarossi dopo aver colpito una piastrina metallica fissata sulla superficie in esame; infatti se c'è condensazione, l'acqua depositata sulla piastrina assorbe parte del fascio di infrarossi che la colpisce e il rilevatore segnalerà una riduzione di intensità del fascio riflesso.

Misure di temperatura dell'aria

Termometri a mercurio o ad alcool: strumenti universalmente conosciuti, basati sul principio della dilatazione termica degli elementi. Normalmente utilizzati in laboratorio per la taratura ed il controllo degli altri tipi di strumenti.

Termometri a lamina bimetallica: il principio di funzionamento si basa sulla deformazione che subisce una lamina bimetallica al variare della temperatura. La lamina è composta da due strisce metalliche sovrapposte e saldate fra loro, con diverso coefficiente di dilatazione termica. Strumento robusto di modesta precisione.

Termometri a termocoppia: ottimi strumenti nel caso di registrazioni di temperatura prolungate nel tempo.

Due giunzioni di due metalli diversi vengono mantenute a temperature differenti, cosicché tra di esse si viene a stabilire una differenza di potenziale. Se una delle due giunzioni viene mantenuta ad una temperatura nota, si potrà risalire alla temperatura dell'altra, misurando la differenza di potenziale. È uno strumento stabile nel tempo, non soggetto ad invecchiamento, in grado di rilevare anche misure puntiformi, in quanto l'elemento sensibile è la giunzione di due fili sottilissimi. Lo svantaggio risiede principalmente nella difficoltà a mantenere costante la temperatura di riferimento.

Termometri a termistori o a semi conduttori: si rileva la temperatura attraverso un sensore costituito da un elemento che varia la sua resistenza al variare della temperatura. Conoscendo quindi la resistenza elettrica si potrà risalire alla temperatura dell'aria. È attualmente uno degli strumenti più utili e pratici data la facilità e la precisione con la quale oggi si può misurare una variazione di resistenza elettrica.

Misure di temperature superficiali - Qualsiasi strumento che misura la temperatura dell'aria può misurare anche la temperatura superficiale, a patto di stabilire un contatto perfetto tra elemento sensibile e struttura, senza che il termometro venga influenzato dalla temperatura dell'aria. Si possono pertanto utilizzare i termometri a termocoppia, a termistori o a semiconduttori. Per limitare l'influenza della temperatura dell'aria, l'elemento sensibile viene inserito in un cono di argilla precedentemente applicato sulla superficie muraria.

Per misurare la temperatura interna di una struttura muraria basta inserire l'elemento sensibile all'interno di un foro di opportune dimensioni, avendo cura di riempire il foro, per tutta la sua lunghezza, con del materiale compatto in modo che la misurazione non possa venire influenzata dalla temperatura interna dell'aria.

Strumenti specifici per misurare la temperatura superficiale dei materiali risultano essere i termometri a raggi infrarossi. Ogni corpo infatti emette raggi infrarossi. Se tali raggi si convogliano con un sistema ottico su un termometro a termocoppia ad alta amplificazione, si può conoscere istantaneamente la temperatura di quel corpo.

Misure contemporanee di differenti variabili e relativa registrazione - Si potranno utilizzare essenzialmente tre strumenti che ovviamente non restituiscono dati in tempo reale e che devono essere posizionati in situ per periodi prestabiliti.

- *Termoigrografo*: strumento che legge e trascrive l'umidità relativa e le temperature, è costituito da un'unità di acquisizione e da un'unità di registrazione. Quest'ultima è formata da un cilindro sul quale viene adagiato un apposito tabulato in carta sul quale un ago traccia l'andamento giornaliero dell'umidità relativa e della temperatura. La velocità di rotazione del cilindro è inversamente proporzionale alla precisione che si vuole ottenere in fase di registrazione.
- *Termoigrometro*: apparecchio capace di registrare mediante apposite sonde l'umidità assoluta (da 0,1 a 150 g di acqua per kg di aria), il punto di rugiada (da -40 a +60 °C), l'umidità relativa (dal 15 al 90%) e la temperatura dell'aria (da -40 a +120 °C). Lo strumento può essere dotato di un dispositivo di memorizzazione dei valori massimi e minimi registrati durante la rilevazione.
- *Hygrotest*: strumento che misura l'umidità relativa e la temperatura ambiente reagendo molto rapidamente alle variazioni di umidità. Il sensore dell'umidità relativa è del tipo a condensatore a film sottile, il che permette una reazione molto rapida alle variazioni di umidità, unita ad una precisione piuttosto elevata. Sul mercato esistono vari modelli di termoigrometri digitali con caratteristiche pressoché equivalenti.

4.3.3 Indagini preliminari all'intervento di conservazione

La diagnosi delle alterazioni dovrà basarsi essenzialmente su misure di una serie di caratteristiche del materiale e sulla analisi dei prodotti di alterazione, associate ad analisi petrografiche e indagini ambientali.

Le analisi di laboratorio saranno effettuate su campioni prelevati dal monumento in zone scelte di volta in volta tra quelle che presentano un certo tipo di alterazione. Ne segue la necessità che questi prelievi siano effettuati con cognizione di causa dopo un attento esame visivo e una precisa localizzazione del prelievo stesso sulle tavole del rilievo. Analoga esigenza di correttezza operativa esiste per quanto riguarda i criteri di prelievo.

In ogni caso i prelievi dovranno:

- essere effettuati solo previa autorizzazione dell'ente che soprintende al manufatto, concordando tempi e modalità;
- essere eseguiti da chi realizzerà le analisi o in sua presenza;
- avere copia del piano di lavoro depositata presso l'ente che soprintende al manufatto;
- essere effettuati in maniera estremamente contenuta, in rapporto sempre a ciò che si vuole conoscere;
- evitare di deturpare esteticamente il manufatto;
- essere realizzati in superficie o in profondità, possibilmente entrambi e nella stessa posizione.

Quelli in superficie si effettueranno tramite l'uso di bisturi o scalpelli, pennelli a seta morbida, trattandosi generalmente di materiale polverulento, incoerente e coerente.

Quelli in profondità mediante carotatrice a secco e a basso numero di giri, onde evitare il surriscaldamento; mediante carotaggio umido, invece, in casi estremi, ricordandosi di citarlo per non alterare i risultati delle indagini successive causati dall'uso dell'acqua di raffreddamento. Dopo il prelievo, i campioni dovranno essere chiusi ermeticamente in appositi contenitori di materiale inerte avendo cura, precedentemente, di pesarli e contrassegnarli. È necessario misurare immediatamente il contenuto d'acqua libera nel campione possibilmente a piè d'opera.

Premesso che i prelievi da analizzare saranno effettuati non solo sulle zone nelle quali l'alterazione si manifesta con diversa morfologia, ma anche a quote e a livelli diversi in modo da avere informazioni anche sull'estensione e sull'entità di materiale alterato, si elencano di seguito, i tipi di analisi che più comunemente vengono effettuate.

Il microscopio mineralogico per trasparenza in sezione sottile ed in sezione lucida potrà permettere studi sulla natura dei minerali e di diversi prodotti di alterazione, i costituenti, il modo con il quale essi sono interconnessi, la dimensione media dei cristalli, gli spazi vuoti tra di essi, la presenza di fratture inter e intracristalline. Si utilizza come strumento il microscopio in luce polarizzata, con il quale si studiano sezioni di materiale ridotte meccanicamente in lamine di mm 0,03 di spessore; mentre per le lucide viene inteso del materiale preparato allo stesso modo, ma con una faccia lucidata meccanicamente a specchio.

Informazioni sulla morfologia e sulla struttura del materiale potranno anche essere fornite dal *microscopio elettronico a scansione* (SEM). Accanto a questo tipo di indagini morfologicostrutturali, effettuate con l'ausilio della microscopia ottica ed elettronica, un'altra tecnica sarà utilizzata per conoscere sia la natura dei materiali sia quella dei loro prodotti di alterazione. Si tratta della *diffrazione dei raggi X* che permetterà di individuare le differenti fasi cristalline presenti nei diversi materiali. È necessaria una quantità minima di materiale (da 100 sino a 0,1 mg), che non abbia perduto la benché minima quantità di acqua, poiché con questa analisi è possibile riconoscere sali a diverso grado di idratazione.

Si sottolinea quale importanza abbiano i sali idrati, con i loro fenomeni ciclici di dissoluzione/cristallizzazione e disidratazione/idratazione, nel processo di alterazione di molti materiali.

Poiché, inoltre, l'alterazione dei materiali costituenti la fabbrica è sempre legata alle caratteristiche ambientali in cui questa è immersa, tutte le indagini sul materiale dovranno essere corredate da quelle sull'ambiente, con particolari riferimenti ai controlli meteorologici ed a quelli relativi all'inquinamento atmosferico.

4.3.4 Studio dei materiali in situ

Lo studio in situ sarà particolarmente necessario per dare le indicazioni sui criteri operativi da seguire in fase di eventuale consolidamento; lo studio dovrà rispondere ad alcuni essenziali requisiti:

- comparazione dei valori delle proprietà chimico-fisiche della muratura (magari entro parti apparentemente sane, ma in effetti alterate);
- comparazione e valutazione della evoluzione temporale delle caratteristiche chimico-fisiche dei materiali in relazione al parametro tempo;
- determinazione delle sopracitate caratteristiche sia all'esterno sia all'interno delle strutture murarie in relazione soprattutto alle differenze climatiche.

Le misurazioni possibili per l'intervento in situ saranno:

- velocità di propagazione del suono;
- misurazione della coesione e dell'aderenza della malta e dei paramenti;
- determinazione della distribuzione del tenore di umidità;
- prove di permeabilità;
- studio della stabilità della struttura.

Misurazione con ultrasuoni - Prima di procedere a qualsiasi operazione di tipo consolidante su una struttura muraria sarà necessario conoscerne la resistenza e lo stato di coesione malta-mattone.

A tale scopo sarà possibile eseguire una prova mediante l'utilizzo di ultrasuoni, i cui risultati serviranno alla valutazione delle caratteristiche meccaniche di detta struttura muraria. Il metodo si basa sul principio che il suono passa più rapidamente in materiali compatti e resistenti; viceversa in materiali poco compatti, porosi o fessurati la velocità del suono risulterà più bassa. L'impiego degli ultrasuoni è in grado di consentire la classificazione di vari materiali in base alla densità e al loro grado di omogeneità; inoltre permettono di individuare le fessure, di riconoscere differenze nell'apparecchiatura di murature intonacate, di effettuare controlli dei giunti di malta, di adesione degli intonaci ecc.

Il procedimento non altera assolutamente la struttura in analisi, anche se sarà sempre importante la giusta scelta delle bande di frequenza (da 20 kHz ad oltre 1000 kHz), in particolar modo in presenza di superfici affrescate o bronzi di grande valore.

Misure di coesione - La preparazione della provetta consisterà nel realizzare sul materiale in analisi, una impronta con una corona diamantata. Un disco del diametro di cm 5 sarà collocato nella zona delimitata dall'impronta. Ciascuna pastiglia cilindrica così ottenuta (aderente al restante materiale attraverso la superficie di base) sarà collegata ad un apparecchio di trazione dotato di vite con testa snodata.

La prova si protrarrà fino a che, con l'aumento lento della forza di trazione, la pastiglia precedentemente realizzata non si staccherà.

Essendo predeterminata la forza di trazione esercitata dalla vite e l'area di base della pastiglia, si potrà facilmente determinare il valore (in kg/cm²) di aderenza del provino al suo substrato.

Determinazione della distribuzione del tenore di umidità - Per la determinazione del valore di umidità superficiale si procederà banalmente con un lettore di umidità digitale o amperometrico, purché lo strumento sia affidabile e comunque tarato. Se si volesse misurare il contenuto di umidità all'interno della muratura si procederà eseguendo un foro tramite carotatrice nel quale introdurre apposite sonde di misurazione.

Prove di permeabilità - Prove di questo tipo saranno effettuate con la cosiddetta gabbia di permeabilità, strumento piatto da appoggiarsi al muro. Dopo l'installazione la gabbia viene riempita d'acqua attraverso il foro che si trova alla sua sommità. Il livello dell'acqua viene mantenuto costante da un tubo graduato che permette di compensare il flusso d'acqua che si perde attraverso il muro. La misura d'acqua percolante attraverso il muro e la valutazione dei vari intervalli temporali permetteranno la valutazione della permeabilità all'acqua della muratura.

Studio della stabilità della struttura - Lo studio delle variazioni dimensionali delle fessure andrà effettuato con appositi apparecchi di misurazione, purché in grado di determinare variazioni di lunghezza dell'ordine del millesimo di millimetro. Si potranno a tale scopo utilizzare: biffe, micrometri ottici, estensimetri, flessimetri, clinometri, ecc.

Ciò permetterà le seguenti valutazioni:

- la stabilità della struttura;
- la relazione tra i movimenti relativi di parti di strutture e fenomeni di degrado.

Partendo da questi dati si potrà stabilire quanto segue:

- se le variazioni dimensionali delle fessure mostrano alternativamente contrazioni e dilatazioni, l'origine può essere dovuta a migrazioni d'acqua per capillarità o evaporazione;
- se la larghezza delle fessure cresce nel tempo, la causa è in linea di massima di natura statica.

Si potranno condurre in situ anche altri tipi di indagini atte a determinare le caratteristiche fisicomeccaniche delle murature. Tra queste abbiamo già precedentemente citato lo sclerometro al quale può aggiungersi un'altra indagine solo parzialmente distruttiva.

Questa indagine si basa sull'utilizzo di martinetti piatti, al fine di determinare le caratteristiche di deformabilità di campioni di muratura di dimensioni notevoli, lo stato di sollecitazioni e originariamente presente nella muratura ed inoltre di determinarne le caratteristiche di deformabilità giungendo, in alcuni casi, a definire il limite di resistenza a compressione della muratura stessa in base al superamento di un limite di deformabilità precedentemente prestabilito (vedi Art. 3.1 - Prove meccaniche).

4.3.5 Prove preliminari all'intervento di consolidamento dei materiali

Allo scopo di verificare la possibilità di un corretto intervento di conservazione sui materiali in cotto e a pasta porosa in genere, sarà opportuno eseguire una serie di prove atte ad approfondire la natura fisico-chimica del materiale. L'insieme minimo di prove che dovranno essere seguite sono le seguenti: assorbimento d'acqua, porosità, carico di rottura a compressione prima e dopo il trattamento con materiali o resine consolidanti.

Assorbimento d'acqua - La prova sarà effettuata mediante l'immersione di campioni in acqua per 24 ore, per poi valutarne l'aumento in peso, corrispondente all'aumento d'acqua. In linea di massima i valori di assorbimento più elevati (per uno stesso materiale) si riferiranno a materiale che ha già subito un certo grado di alterazione.

Misure di porosità - Le misure di porosità saranno eseguite con porosimetro a mercurio.

Prove con resine - Su provini di materiale si effettueranno prove di assorbimento di resina consolidante prima della scelta definitiva di questa per la valutazione sia della sua capacità consolidante sia della penetrabilità per assorbimento capillare. I provini saranno immersi parzialmente in una soluzione opportuna della resina da esaminare; questa, per capillarità, imbeverà il materiale. Dopo un periodo di tempo definito si valuterà la differenza di peso dovuta all'impregnazione da parte della resina. Poiché la resina sarà utilizzata in adatto solvente, per garantire una buona penetrabilità, prima della valutazione della quantità assorbita, sarà necessario attendere che il solvente sia completamente evaporato (valutazione del residuo secco).

Prove su campioni trattati - Per valutare l'efficacia del trattamento di consolidamento e l'opportunità della scelta del tipo di resina nonché la sua corretta modalità di applicazione sarà opportuno ripetere le prove di cui sopra, su campioni preventivamente trattati.

Si potranno effettuare ulteriori prove per meglio valutare la correttezza dell'intervento. Sinteticamente vengono qui elencate:

- invecchiamenti artificiali mediante cicli di gelo e disgelo e cicli di cristallizzazione dei sali solubili;
- attacchi acidi mediante spray di soluzioni di acido solforico e/o cloridrico, in diverse condizioni termogravimetriche;
- esposizione alla radiazione ultravioletta; - misure di assorbimento d'acqua in fase di vapore; - misure di assorbimento d'acqua per capillarità.

Tutte le problematiche riscontrate nelle fasi di indagine ricognitiva andranno raccolte ed organizzate tramite schede, grafici e relazioni, rappresentate graficamente per mezzo di una mappatura dedicata, pensata e restituita caso per caso, edificio per edificio, manufatto per manufatto.

5 MODI DI ESECUZIONE DI OGNI CATEGORIA DI LAVORO

5.1 Lavori preliminari

5.1.1 Demolizioni, rimozioni e smontaggi

Le demolizioni di murature e di calcestruzzi, di fondazioni o sottofondazioni, sia in rottura che parziali; la eliminazione di stati pericolosi in fase critica di crollo anche in presenza di manufatti di pregevole valore storico architettonico, andranno effettuate con la massima cura e con le necessarie precauzioni. Dovranno pertanto essere eseguite con ordine in modo da non danneggiare le residue murature, da prevenire qualsiasi infortunio agli addetti al lavoro e da evitare incomodi, danni collaterali e disturbi. Le demolizioni riguarderanno esclusivamente le parti e le cubature descritte. Sarà vietato gettare i materiali dall'alto, che dovranno essere trasportati in basso con idonei mezzi in modo da non provocare danni e sollevamento di polveri.

Tutta la zona operativa (interna ed esterna al cantiere) dovrà essere opportunamente delimitata, i passaggi saranno opportunamente individuati e protetti. L'Appaltatore dovrà provvedere al puntellamento ed alla messa in sicurezza provvisoria, tramite opportune opere provvisorie, di tutte quelle porzioni di fabbrica ancora integre e/o pericolanti per le quali non siano previste opere di demolizione.

Particolare attenzione si dovrà porre in modo da evitare che si creino zone di instabilità strutturale.

Tutti i materiali riutilizzabili provenienti dalle demolizioni, ove non diversamente specificato, a giudizio insindacabile della D.L. resteranno di proprietà dell'ente appaltante. Dovranno essere scalcinati, puliti, trasportati ed immagazzinati nei luoghi di deposito che verranno indicati dalla D.L. mettendo in atto tutte quelle cautele atte ad evitare danneggiamenti sia nelle fasi di pulitura che di trasporto.

Ad ogni modo tutti i materiali di scarto provenienti dalle demolizioni dovranno sempre essere trasportati dall'Appaltatore fuori dal cantiere, nei punti indicati o alle pubbliche discariche.

Dovranno essere altresì osservate tutte le norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro nelle costruzioni.

E fatto assoluto divieto di impiego anche di piccoli mezzi gommati quali bobcat o similari per gli interventi di demolizione al piano terra anche in presenza di sistemi di puntellatura delle volte sottostanti

Sono riferite a interventi da realizzare sia all'interno che all'esterno dell'edificio, a livello del piano interrato e terreno, in ambienti che sono stati negli ultimi tempi usati per depositi per alimenti o trasformati in locali tecnici con carattere di provvisorietà. Si riferiscono anche a superfetazioni non compatibili e a limitate aperture in murature del piano terreno (cfr. tavv. RS1, RS2, RS3, RS4, RS5, RS6).

Tutti gli interventi di demolizione dovranno essere preventivamente concordati mediante sopralluogo con la D.L. e la competente Soprintendenza, essendo sempre inseriti in contesto storico, tutelato e di complessa stratificazione.

Qualora la D.L. lo ritenga opportuno, saranno eseguiti ulteriori saggi stratigrafici e chimico-fisici sugli intonaci, sulle murature da demolire e sulle murature adiacenti, per orientare la correttezza operativa e filologica dell'intervento.

Ogni intervento sarà inoltre verificato preventivamente dalla D.L. e si darà inizio alle opere solo dopo specifica autorizzazione.

Si concorderanno con la D.L. le zone dove le demolizioni dovranno essere realizzate soltanto a mano e, se necessario, con la sorveglianza di un restauratore. Sarà pertanto cura dell'impresa verificare i tracciati e segnalarli preventivamente. In prossimità di eventuali ancoraggi da lasciare in situ si raccomanda particolare attenzione affinché non vengano alterate le caratteristiche prestazionali.

Durante la rimozione della zoccolatura in lastre di pietra perimetrale dell'edificio si prevede di lasciare in sito alcune lastre come riferimento per la posa delle lastre di sostituzione.

In caso di lesioni sarà cura della D.L., tempestivamente avvertita, procedere all'eventuale puntellamento, che, sempre, dovrà essere concordato nelle modalità esecutive con l'ingegnere strutturale.

Gli smontaggi, oltre agli infissi da restaurare, sono riferiti alle roste in ferro con decorazioni in ghisa e sono da eseguire con particolare cura al fine di non danneggiare la muratura limitrofa.

Contemporaneamente si dovranno rimuovere gli infissi in ferro e vetro o in legno non congruenti.

Particolare cura sarà rivolta alla cauta rimozione manuale delle strutture provvisorie in ferro e vetro addossate al fabbricato: la rimozione delle staffe e degli ancoraggi dovrà avvenire in profondità nella muratura.

Quando richiesto dalla D.L. il materiale di risulta dovrà essere stoccato in cantiere o portato in depositi indicati dalla Committenza.

A seguito di demolizioni e rimozioni l'Appaltatore dovrà immediatamente provvedere agli opportuni ripristini dei vuoti determinati dagli interventi.

5.1.2 Opere provvisorie e di protezione

Si renderà opportuno, prima di qualsiasi opera di intervento predisporre uno studio preventivo e razionale dell'impianto di cantiere. Comprenderà la distribuzione di tutti i servizi inerenti la costruzione e tendenti a rendere il lavoro più sicuro e spedito.

Ponteggi a sbalzo

Dovranno essere limitati a casi eccezionali e rispondere alle seguenti norme:

- 1) il tavolato non dovrà presentare alcun interstizio e non dovrà sporgere dalla facciata per più di m 1,20;
- 2) i traversi di sostegno dovranno prolungarsi all'interno ed essere collegati rigidamente tra di loro con robusti correnti, dei quali almeno uno dovrà essere applicato subito dietro la muratura;
- 3) le sollecitazioni date dalle sbadacchiature andranno ripartite almeno su una tavola;
- 4) i ponteggi a sbalzo contrappesi saranno limitati al solo caso in cui non sia possibile altro accorgimento tecnico per sostenere il ponteggio.

Ponteggi metallici a struttura scomponibile

Andranno montati da personale pratico e fornito di attrezzi appropriati. Si impiegheranno strutture munite dell'apposita autorizzazione ministeriale che dovranno comunque rispondere ai seguenti requisiti:

- 1) gli elementi metallici (aste, tubi, giunti, basi) dovranno portare impressi a rilievo o ad incisione il nome o marchio del fabbricante;
- 2) le aste di sostegno dovranno essere in profilati o in tubi senza saldatura;

- 3) l'estremità inferiore del montante dovrà essere sostenuta da una piastra di base a superficie piatta e di area 18 volte maggiore dell'area del poligono circoscritto alla sezione di base del montante;
- 4) i ponteggi dovranno essere controventati sia in senso longitudinale che trasversale, e ogni controventatura dovrà resistere sia a compressione che a trazione;
- 5) i montanti di ogni fila dovranno essere posti ad interassi maggiori o uguali a m 1,80;
- 6) piani metallici che costituiscono l'impalcato andranno fissate, in modo che non scivolino sui travi metallici;
- 7) i ponteggi metallici di altezza superiore a m 20 o di notevole importanza andranno eretti in base ad un progetto redatto da un ingegnere o architetto abilitato.

Le principali opere di ponteggio previste consistono essenzialmente in:

- *all'interno dell'edificio in corrispondenza delle pareti sulle quali si interviene ed anche sull'intera proiezione orizzontale delle superfici al piano terra (ali e corpo centrale).*
- *all'esterno dell'edificio (ponteggi su tutte le facciate funzionali al restauro delle stesse).*

Onde prevenire ogni rischio d'incendio, vista la rilevanza e l'esposizione dei luoghi in cui si opera, i ponteggi che la ditta appaltatrice dovrà realizzare saranno tassativamente in struttura tubolare di acciaio, , disposti perimetralmente alle zone di intervento, facendo, ove necessario, uso di piani orizzontali.

Sarà previsto su tutto il perimet o ed alla varie altezze un numero adeguato di piani di calpestio con elementi fermapiede e parapetto, serviti da botole per i passaggi dei vani scala, tutto in struttura di acciaio.

In molte aree il ponteggio si dovrà adeguare all'architettura dell'edificio, in particolare dove si restaureranno murature e intonaci e comunque dove saranno realizzati interventi in elevato, in specie in corrispondenza di serramenti e cornici. Inoltre in tutti gli ambienti in cui si opererà su sistemi voltati il ponteggio si dovrà adeguare al tracciato delle volte. Ove necessario sarà fatto uso di un castello leggero in alluminio su ruote.

Puntelli: interventi provvisori

Usati per assorbire le azioni causanti il fenomeno di dissesto dell'elemento strutturale, sostituendosi, sia pure in via provvisoria, a questo. Potranno essere realizzati in legno, profilati o tubolari di acciaio o in cemento armato, unici ad un solo elemento, o multipli, a più elementi, formati, anche dalle strutture articolate.

L'impiego dei puntelli è agevole e immediato per qualsiasi intervento coadiuvante: permetterà infatti di sostenere provvisoriamente, anche per lungo periodo, qualsiasi parte della costruzione gravante su elementi strutturali pericolanti.

I puntelli sono sollecitati assialmente, in generale a compressione e, se snelli, al carico di punta. Pertanto dovranno essere proporzionati al carico agente e ben vincolati: alla base, su appoggi capaci di assorbire l'azione che i puntelli stessi trasmettono; in testa, all'elemento strutturale da sostenere in un suo punto ancora valido, ma non lontano dal dissesto e con elementi ripartitori (dormiente, tavole). Il vincolo al piede andrà realizzato su parti estranee al dissesto e spesso alla costruzione. I vincoli dovranno realizzare il contrasto con l'applicazione di spessori, cunei, in legno di essenza forte o in metallo.

5.2 Pulitura dei materiali

5.2.1 Generalità

La pulitura consiste in una serie di operazioni per rimuovere dalla superficie di un materiale le sostanze estranee, patogene generatrici di degrado e si avvale di metodi fisici e/o chimici da impiegare con gradualità e intensità diversa in rapporto al tipo di sostanza che si intende eliminare.

All'Appaltatore sarà vietato effettuare qualsiasi tipo di operazione e l'utilizzo di prodotti, anche prescritti, senza la preventiva esecuzione di prove applicative o esplicita autorizzazione della D.L. In ogni caso ciascun intervento di pulitura dovrà esclusivamente preoccuparsi di eliminare tutte quelle forme patologiche in grado di generare degrado al manufatto, senza pensare quindi all'aspetto estetico e cromatico postintervento. Qualsiasi operazione di pulitura infatti genera un'azione comunque abrasiva nei confronti dei materiali, andando sempre e in ogni modo ad intaccare (seppur minimamente) la loro pellicola naturale (pelle) che si dovrà cercare di conservare integralmente. I singoli interventi vanno realizzati puntualmente, mai in modo generalizzato, partendo sempre e comunque da operazioni più blande passando via via a quelle più forti ed aggressive.

La pulitura dei materiali porosi deve in primo luogo rimuovere dalla loro superficie le sostanze patogene, rispettando la patina naturale, quando esista ancora, ed allontanando i prodotti di reazione (croste nere, efflorescenze, macchie) che possono proseguire l'azione di deterioramento. Inoltre, dal momento che nella maggior parte dei casi si interviene su materiale già profondamente degradato, il trattamento di pulitura deve essere attentamente calibrato: non deve provocare un ulteriore indebolimento, a livello micro o macroscopico, esercitando un'azione troppo incisiva; non deve asportare frammenti indeboliti, decoesionati o esfoliati; non deve attivare sostanze che possono risultare dannose; deve arrestarsi, per proseguire con altre tecniche, qualora l'asportazione dei depositi possa compromettere l'integrità del materiale.

5.2.2 Sistemi di pulitura

Un primo livello di pulitura tende a rimuovere essenzialmente i depositi incoerenti (generalmente formati da particellato atmosferico, carbonioso o terroso) che si accumulano per gravità o dopo essere state veicolate da acqua atmosferica o

di risalita (efflorescenze saline) e che non realizzano alcun tipo di coesione o di reazione con il materiale sottostante. Questo tipo di deposito possiede una debole potenzialità patogena, che varia moltissimo in rapporto alla composizione delle sostanze e al materiale su cui si sedimentano. Anche i tempi di aggressione possono essere differenti, e dipendono dalla presenza o meno di sostanze attivatrici (per lo più l'acqua, che entra in quasi tutte le reazioni patologiche) o catalizzatrici.

Un secondo livello di pulitura prevede la rimozione di depositi composti esclusivamente o prevalentemente da sostanze allo gene che tendono a solidarizzarsi alla superficie del manufatto con un legame essenzialmente meccanico, senza intaccare (o intaccando in minima parte) la natura chimica del materiale. L'entità e la coesione di questi depositi dipendono dalla porosità del materiale. Le sostanze da rimuovere possono essere ancora particellato atmosferico, penetrato in profondità, magari veicolato da acqua, oppure sali (carbonati) depositati per esempio da acqua di dilavamento, o presenti come macchie.

Un terzo livello di pulitura prevede invece la rimozione dello strato superficiale che si forma sul materiale allorché le sostanze esterne, volatili o solide, si combinano con il materiale di finitura, mutandone la composizione chimica e dando origine a prodotti secondari, di reazione: è il caso dell'ossido di ferro (ruggine) che si forma sulle superfici metalliche, o dei prodotti gessosi, che vengono definiti croste in ragione del loro aspetto, i quali si formano sui materiali lapidei. Perdurando l'apporto delle sostanze patologiche dall'esterno, si ha un progresso continuo dell'attacco in profondità, con distacco e caduta delle parti esterne degradate.

Per rimuovere i materiali incoerenti sono sufficienti blandi sistemi meccanici: aspiratori, stracci, scope e spazzole in fibra vegetale -- saggina -- (meno incisive di quelle in materiale sintetico), aria compressa. Questi metodi possono venire integrati dall'impiego puntuale di bisturi, spatole, piccole spazzole in nailon o metalliche.

Per rimuovere i depositi fortemente coesi e solidarizzati i metodi sopra elencati possono essere integrati da cicli di pulitura più incisivi, che trovano larga applicazione soprattutto nel trattamento dei materiali di rivestimento e, in generale, di pietre, murature, malte e, in molti casi (ad esclusione dei sistemi che impiegano acqua), anche di legno e metalli.

Spray di acqua - A bassa pressione (3-4 atmosfere). Uno dei metodi meno abrasivi; i risultati migliori si ottengono nebulizzando o, meglio, atomizzando l'acqua, utilizzando appositi ugelli, in numero adeguato alla superficie da pulire: le goccioline d'acqua rimuovono i composti solubili e, data la piccola dimensione, raggiungono capillarmente la superficie da trattare. Non si potranno trattare materiali che possono essere danneggiati dall'acqua (molti tipi di rivestimenti, oltre, naturalmente, a legno e metalli) o che sono formati da sostanze solubili o comunque poco resistenti all'azione solvente dell'acqua (come molte pietre, malte e pitturazioni). Dato che il sistema, per essere efficace, richiede tempi di esercizio piuttosto ampi (1-2 giorni), è opportuno provvedere alla raccolta dell'acqua impiegata in grande quantità, effettuando il trattamento in periodi caldi. È fondamentale impiegare acqua deionizzata, priva di impurità e di sali in soluzione, che si depositerebbero sulla superficie trattata. Le particelle d'acqua dovranno avere dimensioni medie comprese tra 5 e 10 micron. L'irrorazione utilizzerà una pressione di circa 3 atmosfere. L'operazione dovrà essere effettuata con temperatura esterna di almeno 14 gradi centigradi ed effettuata ad intervalli regolari, in ogni caso il tempo di intervento non dovrà mai eccedere le 4 ore consecutive di apporto d'acqua per evitare l'eccessiva impregnazione da parte delle murature. La produzione di acqua deionizzata si potrà effettuare in cantiere tramite utilizzo di specifica apparecchiatura con gruppo a resine scambioioniche di portata sufficiente a garantire una corretta continuità di lavoro, gruppo motopompa a rotore in PVC per l'adduzione dell'acqua deionizzata di alimentazione ai nebulizzatori, la formazione di adatti circuiti idraulici con tubi in PVC per la distribuzione ad un sufficiente numero di ugelli nebulizzatori completi di rubinetti per la limitazione del flusso, tubi terminali flessibili con ugelli conici per la regolazione fine della nebbia di uscita. In ogni caso l'adatto tempo di intervento sarà da determinarsi su zone campione a tempi crescenti concordati con la D.L.

Argille assorbenti - Se vi sono problemi di esercizio legati all'acqua dispersa, si può applicare sul materiale di superficie un impacco di speciali argille (attapulgit e sepiolite, due silicati idrati di magnesio, oppure bentonite) imbibite di acqua, dopo aver bagnato anche il materiale con acqua distillata. In un primo momento l'acqua solubilizza i composti gessosi delle croste e gli eventuali sali presenti; l'argilla agisce poi da spugna, cedendo vapore acqueo all'atmosfera e assorbendo acqua dal materiale cui è applicata, con tutte le sostanze in soluzione, che vengono asportate con l'impasto, una volta che si sia essiccato. La granulometria dei due tipi di argilla dovrà essere di almeno 100-220 mesh. Dovranno essere preparate diluendole esclusivamente con acqua distillata o deionizzata fino a raggiungere una consistenza pastosa che consenta la loro lavorazione in spessori di cm 2-3. Per rallentare il processo di evaporazione dell'acqua potranno essere sigillate con fogli di polietilene. Potranno inoltre essere caricate con resine scambiatrici di ioni o additivate con tensioattivi.

Apparecchiatura laser - L'apparecchiatura selettiva laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), ad alta precisione, è in grado di rimuovere depositi carbogessosi da marmi e da materiali di colore chiaro, oltre che depositi e patine superficiali da legno, bronzo, terrecotte e intonaci. Sottoposti ad impulsi successivi (spot) di raggio laser, i depositi superficiali li assorbono selettivamente, con una conseguente evaporazione di sostanze con la rottura dei legami chimici e con un effetto fotomeccanico. Inoltre, l'onda d'urto collegata alla rapida espansione dei gas emessi durante la fase appena descritta, provoca un effetto di "spallazione", per il quale le particelle di deposito debolmente aderenti alla superficie vengono rimosse. Lo strato interessato viene colpito dalla radiazione per spessori di qualche micron. Non viene quindi intaccato lo strato sottostante, che normalmente dimostra un coefficiente di assorbimento inferiore (specialmente se di colore chiaro). Il laser permette di rispettare integralmente la patina di materiali sui quali siano presenti croste e depositi scuri.

Il raggio può attualmente essere condotto sulla superficie da pulire utilizzando un braccio snodato meccanico della lunghezza di circa m 2 (all'interno degli snodi sono posizionati degli specchi e il braccio termina con un utensile che l'operatore utilizza manualmente), o un sistema a fibre ottiche che conducono le radiazioni sino ad una pistola che viene utilizzata direttamente dall'operatore (la distanza tra apparecchio e superficie si aggira intorno a m 10-12). L'apparecchio deve possedere buone doti di maneggevolezza, avere la possibilità di regolare l'emissione di energia per impulso, la modulazione delle frequenze di emissione, la focalizzazione del raggio sulla superficie dell'oggetto da pulire.

Andranno attentamente verificati in fase operativa i tempi, la lunghezza d'onda e l'energia di impulso dell'apparecchiatura che verrà utilizzata; risulta pertanto importante effettuare un'appropriata selezione delle condizioni di lavoro anche in riferimento al substrato. Dovranno quindi essere eseguite analisi conoscitive preliminari oltre che del supporto anche del deposito, oltre ad una serie di saggi di pulitura identificando eventuali porzioni pigmentate. Si potrà quindi operare in modi diversi e in maniera selettiva adottando essenzialmente due sistemi. A) sistema diretto: Free Running o Q-Switching atto alla rimozione diretta del deposito; B) sistema indiretto: Free Running con energie incidenti controllate, atte semplicemente a staccare il deposito dal substrato, da rimuovere successivamente con altre tecniche (bisturi). L'apparecchiatura sarà sempre utilizzata da personale altamente specializzato in grado di valutare attentamente i risultati ottenuti, eventualmente variando di volta in volta i parametri esecutivi ed applicativi (lunghezza d'onda, durata, ripetizione degli impulsi, energia del flusso, sezione trasversale, convergenza del fascio). In questo modo il laser potrà essere "messo a punto" in modo da ottenere risultati specifici (autolimitazione, selettività, discriminazione).

Microaeroabrasivo - La microsabbatura di precisione tramite microaeroabrasivo utilizza aria compressa disidratata e ugelli in grado di proiettare inerti di vario tipo sulle superfici da pulire. Si possono utilizzare ugelli di vario diametro (0,4 - 3 mm) da scegliere in rapporto alla pressione d'esercizio (0,5 - 4 atm), alla granulometria dell'inerte, al tipo di supporto da pulire. Gli inerti potranno essere microsfere di vetro o di allumina, corindone bianco, silice micronizzata, del diametro di qualche decina di micron (coefficiente di durezza della scala mosh=9; dimensioni sfere 100-150-180-200 mesh), carbonato di calcio o bicarbonato di sodio che hanno durezza di poco superiore alla superficie da pulire (durezza=3mosh).

Aeroabrasivo ad umido a bassa pressione - Si impiegheranno sistemi ad aria compressa a bassa pressione (1-5 bar) e ugelli di vario diametro (mm 1-8). La superficie interessata verrà irrorata da un aerosol di acqua deionizzata nebulizzata mista ad inerti selezionati come quelli impiegati per il microaeroabrasivo (silice micronizzata; ossidi di alluminio, microsfere di vetro).

Sabbatura - Assolutamente da non impiegarsi su manufatti porosi e degradati può diventare utile su superfici molto compatte, utilizzando abrasivi sintetici o naturali a pressioni piuttosto basse (500-2000 g/m²). La sabbatura è ottimale per la pulitura a metallo bianco di parti in ferro ossidate (in questo caso le pressioni sono maggiori e gli abrasivi possono anche essere, metallici) e anche per la rimozione di vernici e pitture da parti in legno, sempre e comunque utilizzando abrasivi ben calibrati a pressioni controllate dietro esplicita richiesta della D.L. e sua autorizzazione.

Altri sistemi di pulitura meccanici sono assolutamente da non impiegarsi in quanto possono comportare la distruzione sistematica della superficie del materiale sottoposto a trattamento e quindi inaccettabili dal punto di vista conservativo.

Sistemi di tipo chimico - Da impiegarsi su superfici ridotte ed in maniera puntuale come specificato. Per pulire murature e paramenti da croste, da macchie o da strati sedimentati di particellato, cere, film protettivi.

Si basano sull'applicazione di reagenti che intaccano le sostanze leganti dei depositi; sono per lo più sali (carbonati) di ammonio e di sodio, da applicare con supporti di carta giapponese o compressa di cellulosa, per tempi che variano da pochi secondi a qualche decina di minuti, a seconda del materiale da trattare e dello spessore delle croste. Fra i prodotti più usati l'AB57, utilizzato per i materiali lapidei.

Altre tecniche di pulitura di tipo chimico prevedono l'aspersione delle superfici dei materiali con:

- *acidi* - cloridrico, fosforico, fluoridrico (possono creare sottoprodotti quali sali insolubili, oltre che corrodere il carbonato di calcio);
- *alcali* - a pH 7-8, come il bicarbonato di ammonio e o di sodio, da non impiegarsi per calcari e marmi porosi (possono portare alla formazione di sali);
- *carbonato di ammonio* - diluito al 20% in acqua, utile ad eliminare sali di rame; -
- *solventi basici* - per la eliminazione degli oli (butilammina, trietanolammina); -
- *solventi clorurati* - per la eliminazione di cere.
- Questi prodotti estendono quasi sempre la loro azione anche al materiale sano e portano alla comparsa di macchie, vanno quindi attentamente calibrati, testati e finalizzati in relazione al supporto;
- *solventi alifatici o sverniciatori* - per rimuovere anche notevoli spessori di vernice da legno e metallo senza intaccare il materiale sottostante (toluene, metanolo e ammoniaci per vernici e bitume);
- *impacchi biologici* - per la pulitura dei materiali lapidei da croste nere, che consistono nell'applicazione di prodotti a base ureica in impasti argillosi, da coprire con fogli di polietilene e da lasciare agire per diverse decine di giorni, prima di rimuovere il tutto e disinfettare la superficie trattata. L'efficacia dell'impacco biologico è legata allo sviluppo di colonie di batteri che intaccano i leganti gessosi delle croste.

Nella scelta di uno dei sistemi di pulitura presentati o di più sistemi da impiegare sinergicamente, bisogna considerare che l'azione di rimozione del materiale di deposito può comunque intaccare irreversibilmente anche la superficie da pulire. Spesso è impossibile rimuovere completamente i depositi dalla superficie dei materiali senza distruggerla: è il

caso in cui le sostanze esterne siano penetrate troppo in profondità, o siano fissate così solidamente da essere raggiunte dai sistemi di pulitura. In questi casi è conveniente rinunciare ad un intervento approfondito, a meno che ciò non sia pregiudizio per la durata del materiale stesso.

Inoltre, non è infrequente il caso in cui il materiale da pulire (generalmente pietra, intonaco, legno, pitture) sia già profondamente degradato, al punto che ogni azione meccanica, compresa l'applicazione degli impacchi, comporterebbe la caduta di parti esfoliate o rese incoerenti. È allora consigliabile procedere ad un'operazione di preconsolidamento, applicando sulla superficie da trattare, o nelle zone maggiormente compromesse, dei preparati consolidanti. Così fissato, il materiale può essere pulito, ma può darsi il caso (quando il preconsolidamento è richiesto dalla mancanza di coesione delle parti superficiali) che ulteriori operazioni di pulitura siano impossibili. Spesso il preconsolidamento è richiesto non tanto dal forte decoesione del materiale, quanto dall'impiego di tecniche di pulitura piuttosto energiche in presenza di lesioni o distacchi anche lievi; in questi casi, dopo la pulitura, il consolidante impiegato preventivamente può anche essere rimosso, a condizione che si tratti di sostanze reversibili.

Sistemi di tipo meccanico - Si potranno impiegare utensili di vario tipo quali spazzole di saggina, bisturi, spatole metalliche, microscalpelli, microtrapani, vibroincisori elettrici o ad aria compressa. Questi ultimi saranno da utilizzarsi per rimuovere puntualmente depositi consistenti di materiali di varia natura quali croste nere, depositi calcarei, stuccature cementizie, materiali incompatibili con il supporto.

Bonifica da macro e microflora - Un particolare tipo di pulitura è quello che riguarda la bonifica dell'ambiente circostante al materiale, o la sua stessa superficie, da vegetazione inferiore o superiore: muschi, licheni, alghe, apparati radicali di piante infestanti. Questi trattamenti possono essere effettuati in maniera meccanica e/o spargendo disinfestanti liquidi (da applicare a pennello o con apparecchiatura a spruzzo), in gel o in polvere, ripetendo il trattamento periodicamente. È necessario impiegare prodotti la cui capacità tossica decada rapidamente, in modo da non accumularsi nel terreno, e la cui efficacia sia il più possibile limitata alle specie invasive da eliminare.

Questi tipi di trattamenti andranno sempre effettuati con la massima cura ed in piena sicurezza per gli operatori, sempre e comunque autorizzati dalle autorità competenti alla tutela del bene, dietro specifica autorizzazione e controllo della D.L.

Mai da effettuarsi in maniera generalizzata, ma puntuale e finalizzata previa l'acquisizione di tutti i dati necessari per la conoscenza precisa del materiale sottostante (consistenza fisico-materica, composizione chimica), del tipo di infestante presente e del tipo di prodotto da utilizzarsi.

Eliminazione di piante superiori La eliminazione della vegetazione infestante dovrà avere inizio con una estirpazione frenata, cioè una estirpazione meccanica che assolutamente non alteri i materiali componenti la muratura.

Vanno quindi ovviamente scartati i mezzi che a prima vista potrebbero apparire risolutivi (come per esempio il fuoco), ma che potrebbero alterare profondamente il substrato del muro.

Tutte le specie arboree ed erbacee dovranno essere estirpate nel periodo invernale, tagliandole a raso con mezzi adatti, a basso spreading di vibrazioni.

In ogni caso sempre si dovranno tenere presenti i seguenti fattori: la resistenza allo strappo opposta dalle radici; l'impossibilità di raggiungere con mezzi meccanici le radici ed i semi penetrati in profondità, senza recare danni ulteriori alla struttura muraria da salvaguardare; le modalità operative che si incontrano nel raggiungere, tutte le parti infestate.

Eliminazione di alghe, muschi e licheni Muschi, alghe e licheni crescono requentemente su murature di edifici in aree fortemente umide, in ombra, non soggette a soleggiamento, o, ancora, perchè alimentate da acque da risalita, meteoriche, disperse, da umidità di condensazione.

Nei limiti del possibile quindi, prima di operare qualsiasi intervento a carattere diretto, sarà necessario eliminare tutte quelle cause riscontrate al contorno generanti le patologie, per evitare che l'operazione di disinfestazione perda chiaramente efficacia.

La disinfestazione contro la presenza di alghe cianoficee e cloroficee sarà effettuata mediante appropriati sali di ammonio quaternario (cloruri di alchilidimetilbenzilammonio) si potrebbero utilizzare altri prodotti come il formolo ed il fenolo, pur essendo meno efficaci del precedente.

Sempre per l'operazione di disinfestazione contro le alghe potranno essere utilizzati composti di rame quali il solfato di cupitetramina ($(\text{NH}_3)_4 \text{CuSO}_4$) e i complessi solfato di rame idrazina $\text{CuSO}_4 \cdot (\text{N}_2 \text{H}_5)_2 \text{SO}_4$, o anche i sali sodici dell'acido dimetiltiocarbammico e del mercaptobenzotriazolo. I biocidi di cui al presente paragrafo sono generalmente solubili in acqua e saranno utilizzati per l'operazione di disinfestazione in soluzioni all'1-3%.

I trattamenti potranno essere ripetuti qualora si ritenesse necessario, e andranno sempre conclusi con abbondanti lavaggi con acqua per eliminare ogni residuo di biocida. Nei casi più ostinati e difficili, potranno essere utilizzate soluzioni più concentrate, eventualmente sospese in fanghi o paste opportune (mediante argilla, metilcellulosa) e lasciate agire per tempi sufficientemente lunghi (1 o 2 giorni).

Per evitare l'uso di sostanza velenose per l'uomo e pericolose per i materiali costituenti le murature, contro alghe cianoficee e cianobatteri, si potrà operare una sterilizzazione mediante l'applicazione di radiazioni ultraviolette di lunghezza d'onda da definirsi, ottenute con lampade da 40W poste a circa cm 10-20 dal muro e lasciate agire ininterrottamente per una settimana.

Sarà necessario prendere precauzioni particolari nella protezione da danni agli occhi degli operatori. Poichè i muschi crescono su substrati argillosi depositati sulle murature e formano sulla superficie di queste escrescenze ed anche tappeti uniformi piuttosto aderenti, sarà necessario far precedere alla disinfestazione vera e propria una loro rimozione

meccanica a mezzo di spatole e altri strumenti (pennelli a setole rigide, ecc.) onde evitare di grattare sulle superfici dei manufatti. L'operazione successiva consisterà nell'applicazione del biocida che potrà essere specifico per certe specie oppure a vasto raggio di azione.

Si potrà ancora agire contro muschi e licheni mediante la applicazione di una soluzione acquosa all'1-2% di ipoclorito di litio, oppure di benzalconio cloruro sempre in soluzione acquosa all'1-2%. Il benzalconio cloruro è di fatto un disinfettante germicida con spettro d'azione che coinvolge batteri, lieviti, microflora e alghe. L'effetto nel controllo algale e della microflora non risulta però persistente. Può essere utilizzato su varie superfici (vetro, metallo, pietra, marmo, ceramica, carta). Tutti i biocidi menzionati, pur non essendo in linea di massima tossici per l'uomo, saranno comunque da utilizzarsi con molta attenzione e cautela, in quanto possono risultare irritanti, specie in soggetti sensibili, o creare allergie, o essere pericolosi per gli occhi e le mucose.

Si dovranno quindi sempre impiegare, nella loro manipolazione, guanti ed eventuali occhiali, osservando le norme generali di prevenzione degli infortuni relativi all'uso di prodotti chimici velenosi.

5.3 Consolidamento dei materiali

5.3.1 Generalità

All'Appaltatore sarà vietato effettuare qualsiasi tipo di operazione e l'utilizzo di prodotti, anche prescritti, senza la preventiva esecuzione di prove applicative o esplicita autorizzazione della D.L. In ogni caso ogni intervento di consolidamento dovrà essere di carattere puntuale, mai generalizzato. Ad operazione effettuata sarà sempre opportuno verificarne l'efficacia, tramite prove e successive analisi, anche con controlli periodici cadenzati nel tempo (operazioni comunque da inserire nei programmi di manutenzione periodica postintervento).

Il consolidamento di un materiale consiste in un intervento atto a migliorarne le caratteristiche meccaniche, in particolare la resistenza agli sforzi e la coesione, senza alterare patologicamente le prestazioni igrotermiche. È possibile effettuare vari tipi di consolidamento.

Consolidamento chimico - L'intervento può consistere in un trattamento di somministrazione in profondità di sostanze in soluzione che siano in grado, evaporato il solvente, di fissarsi al materiale elevandone i parametri di resistenza.

Consolidamento corticale - Le stesse sostanze possono essere applicate localmente o in modo generalizzato sulla superficie del materiale per ristabilire la coesione di frazioni degradate con gli strati sani sottostanti.

Il trattamento chimico di consolidamento si applica evidentemente a materiali sufficientemente porosi (pietra, malte, laterizi, legname), in grado di assorbire composti leganti compatibili in soluzione.

Le sostanze consolidanti possono essere leganti dello stesso tipo di quelli contenuti naturalmente nel materiale (per esempio il latte di calce o i silicati), oppure sostanze naturali o sintetiche estranee alla composizione originaria del materiale ma comunque in grado di migliorarne le caratteristiche fisiche.

Per i materiali non porosi o scarsamente porosi (metalli, elementi lapidei ad alta densità, vetro, cemento armato), data l'impossibilità di realizzare una diffusa e sicura penetrazione in profondità di sostanze in soluzione, il consolidamento consiste invece nella ricomposizione di fratture, nella solidarizzazione di parti distaccate o nel ripristino delle sezioni reagenti.

Consolidamento strutturale - Il consolidamento può consistere nella messa in opera di elementi rigidi (mediante il calcolo e la realizzazione di nuovi elementi da affiancare a quelli degradati) che sollevano in parte o del tutto il materiale dalla sua funzione statica, compromessa dal degrado o inadatta a mutate condizioni di esercizio.

Le nuove strutture possono essere solidarizzate con quelle esistenti e divenire collaboranti, oppure sostituirle interamente nella funzione portante.

5.3.2 Applicazione dei principali consolidanti

Il consolidamento chimico si avvale di diverse categorie di prodotti, classificati in base alla composizione e alle modalità di impiego.

Nella scelta del prodotto è fondamentale conoscere in modo approfondito il materiale da trattare, le patologie rilevate o da prevenire e, nel caso di adeguamento funzionale a nuovi carichi e a nuovi standard di sicurezza, le nuove prestazioni funzionali che si richiedono.

Poiché il recupero della coesione e della capacità resistente del materiale è il primo obiettivo del consolidamento, può sembrare opportuno ricorrere a prodotti che saturino quanto più possibile il volume dei pori del materiale. È invece consigliabile usare sostanze che occupano solo parzialmente i pori, in modo da mantenere un'alta permeabilità al vapore. Un altro parametro da non sottovalutare è la profondità di penetrazione e di diffusione della soluzione consolidante, che deve essere più alta possibile, in modo da evitare la formazione di uno strato solamente superficiale ad elevata resistenza o una diffusione disomogenea del prodotto.

La reversibilità è un altro requisito necessario ad un prodotto consolidante: è utile però soprattutto per migliorare la penetrazione del prodotto, somministrando ulteriore solvente e per rimuovere sbavature all'esterno. In pratica è pressoché impossibile estrarre sostanze penetrate e solidificate all'interno di un materiale poroso.

In base alla composizione chimica possiamo individuare due categorie principali di consolidanti: i consolidanti *inorganici* e quelli *organici*.

Consolidanti inorganici - Hanno generalmente una grande affinità con i materiali da trattare; si possono impiegare sostanze che possiedono la stessa struttura chimica del materiale da consolidare, come l'idrossido di bario, impiegato sulle malte; in altri casi si impiegano le stesse componenti principali del materiale: così, su malte e su pietre calcaree viene usato il latte di calce, mentre su murature, malte e pietre vengono usati prodotti a base silicatica.

Consolidanti organici - Sono per lo più polimeri sintetici in soluzioni viscosi, che possono provocare difficoltà di penetrazione; capita anche che il solvente, evaporando, riporti il consolidante in superficie. Hanno una buona idrorepellenza, ma invecchiano facilmente per effetto dell'ossigeno atmosferico, dell'acqua, dei raggi ultravioletti, dell'alta temperatura e degli agenti biologici, per cui infragiliscono e cambiano colore, modificando anche sensibilmente la propria struttura chimica.

I consolidanti inorganici, rispetto a quelli organici, sono piuttosto fragili e poco elastici; saldano solo fratture di lieve entità e possono avere scarsa penetrazione; per contro hanno una durata superiore.

I principali consolidanti organici oggi impiegabili potranno essere:

- *resine poliuretaniche*: applicate per iniezione una volta polimerizzate si trasformano in schiume rigide, flessibili o in gel utili alla stabilizzazione di terreni o all'isolamento delle strutture dai terreni;
- *resine acriliche*: applicate a spruzzo, a pennello o per iniezione; eventualmente additivate ad inerti e/o leganti di vario tipo; spesso usate per il consolidamento corticale delicato e puntuale di intonaci e superfici affrescate; da applicarsi da parte di personale altamente specializzato;
- *estere etilico dell'acido silicico*: applicato a spruzzo, airless, a pennello; eventualmente additivato con protettivi siliconici; utilizzato per il consolidamento corticale di arenarie, pietre silicatiche, paramenti murari in cotto e intonaci in malta di calce.

5.3.3 Metodi applicativi

I metodi di applicazione dei prodotti consolidanti fluidi prevedono l'impiego di strumentazione elementare (pennelli, rulli, apparecchi a spruzzo airless) o, qualora sia necessaria una penetrazione più profonda e capillare, richiedono un impianto di cantiere più complesso: nei casi più semplici bisognerà delimitare e proteggere le zone non interessate dall'intervento in modo da raccogliere e riciclare la soluzione consolidante che non viene assorbita e provvedere a cicli continui di imbibizione. In particolare si possono applicare batterie di nebulizzatori che proiettano il prodotto sulla superficie da trattare, oppure si possono realizzare impacchi di cotone, di cellulosa o di carta giapponese, che vengono tenuti costantemente imbevuti di sostanza consolidante.

Qualora le parti da trattare siano smontabili (statue, elementi decorativi, balaustre estremamente degradate) o distaccate, il trattamento in laboratorio è quello che garantisce la massima efficacia. I manufatti saranno impregnati in contenitori di resina, per immersione parziale o totale o per impregnazione sotto vuoto. Anche su materiali in situ è comunque possibile ottimizzare l'impregnazione ricoprendo le parti da trattare con fogli di polietilene e sigillandone i bordi con lattice di gomma e nastri adesivi, in modo da poter creare il vuoto fra superficie della pietra e fogli di protezione, dove può essere iniettata la resina. In alternativa si possono realizzare, con lo stesso principio e gli stessi materiali, delle tasche di dimensioni ridotte per impregnare a fondo zone articolate e particolarmente degradate.

I tempi di applicazione cambiano in rapporto al prodotto, al sistema scelto, alla porosità del materiale e possono variare da poche ore a diversi giorni. In generale i prodotti consolidanti potranno essere applicati:

- ad *airless*, tramite l'utilizzo di apposite apparecchiature in grado di vaporizzare il liquido messo in pressione da pompa oleo-pneumatica;
- tramite *applicazione a pennello* morbido sino a rifiuto, utilizzando i prodotti in soluzione particolarmente diluita, aumentando gradualmente la concentrazione sino ad oltrepassare lo standard nelle ultime mani. Sarà utile alternare mani di soluzione delle resine (se in solvente) a mani di solo solvente per ridurre al minimo l'effetto di bagnato;
- tramite *applicazione a tasca*, da utilizzarsi per impregnazioni particolari di decori, aggetti, formelle finemente lavorate e fortemente decoesionate. Si tratta di applicare intorno alla zona da consolidare una sorta di tasca, collocando nella parte inferiore una specie di gronda impermeabilizzata (per esempio di cartone imbevuto di resina epossidica), con lo scopo di recuperare il prodotto consolidante in eccesso. La zona da consolidare potrà essere ricoperta da uno strato di cotone idrofilo ed eventualmente chiusa da politene; nella parte alta, viceversa, si collocherà un tubo con tanti piccoli fori con la funzione di distributore. Il prodotto consolidante sarà spinto da una pompa nel distributore e da qui attraverso il cotone idrofilo penetrerà nella zona da consolidare: l'eccesso di resina si raccoglierà nella grondaia verrà recuperato e rimesso in circolo; sarà necessario assicurarsi che il cotone idrofilo sia sempre perfettamente in contatto con la superficie interessata;
- *applicazione per percolazione*: si tratta di una semplificazione del metodo precedente; un opportuno distributore verrà collocato nella parte superiore della superficie da trattare, il prodotto, distribuito lungo un segmento, per gravità tenderà a scendere impregnando la superficie da trattare per capillarità. La quantità di prodotto in uscita dal distributore dovrà essere calibrata in modo tale da garantire un graduale e continuo assorbimento evitando eccessi di formulato tali da coinvolgere aree non interessate. Il distributore potrà essere costituito da un tubo o da un canaletto forato con, nella sua parte inferiore, un pettine o una spazzola con funzione di distributore.

5.4 Protezione dei materiali

5.4.1 Generalità

Operazione da effettuarsi nella maggior parte dei casi al termine degli interventi prettamente conservativi. La scelta delle operazioni di protezione da effettuarsi e/o degli specifici prodotti da utilizzarsi andrà sempre concordata con gli organi preposti alla tutela del bene oggetto di intervento, così pure dietro autorizzazione e indicazione della D.L. L'utilizzo di specifici prodotti sarà sempre preceduto da test di laboratorio in grado di verificarne l'effettiva efficacia in base al materiale da preservare. L'applicazione di prodotti protettivi rientra comunque nelle operazioni da inserire nei programmi di manutenzione periodica postintervento.

Gran parte delle patologie di degrado dei materiali da costruzione dipende da alterazioni provocate da agenti esterni (infiltrazioni d'acqua, depositi superficiali di sostanze nocive...). Ogni intervento di conservazione, per essere tale, non deve avere come obiettivo solamente il risanamento del materiale, ma anche la sua ulteriore difesa dalle cause che hanno determinato l'insorgere dello stato patologico.

In certi casi è possibile un'azione radicale di eliminazione totale della causa patologica, quando questa è facilmente individuabile e circoscritta e dipende da fattori accidentali o comunque strettamente legati alle caratteristiche del manufatto. Al contrario, in un gran numero di situazioni le patologie sono generate da cause non direttamente affrontabili e risolubili nell'ambito dell'intervento: presenza di sostanze inquinanti nell'atmosfera, piogge acide, fenomeni di tipo sismico o di subsidenza del terreno.

In genere queste due tipologie di cause degradanti si sovrappongono, per cui l'intervento, per quanto preciso, potrà prevenirne o eliminarne solo una parte.

5.4.2 Interventi

Possono essere effettuati con sostanze chimiche analoghe a quelle impiegate per il consolidamento, applicate a formare una barriera superficiale trasparente e idrorepellente che impedisca o limiti considerevolmente il contatto con sostanze patogene esterne. È sconsigliabile l'impiego, a protezione di intonaci e materiali lapidei, di scialbi di malta di calce, da utilizzare come strato di sacrificio; il risultato è l'occultamento della superficie del manufatto e l'esibizione del progressivo degrado che intacca la nuova superficie fino a richiederne il rinnovo. Da qui il rigetto che nasce spontaneo di fronte a forme di intervento irreversibili o che nascondono la superficie del manufatto sotto uno strato di sacrificio che rende difficile valutare l'eventuale avanzamento e propagarsi del degrado oltre lo strato protettivo.

Anche i protettivi chimici hanno una durata limitata, valutabile intorno alla decina di anni, ma, oltre che per le caratteristiche di trasparenza, sono preferibili agli scialbi in quanto realizzano un ampio filtro contro la penetrazione dell'acqua e delle sostanze che questa veicola.

In alcuni casi sono le stesse sostanze impiegate nel ciclo di consolidamento che esercitano anche un'azione protettiva, se sono in grado di diminuire la porosità del materiale rendendolo impermeabile all'acqua.

Le principali caratteristiche di base richieste ad un protettivo chimico sono la reversibilità e l'inalterabilità, mentre il principale requisito prestazionale è l'idrorepellenza, insieme con la permeabilità al vapore acqueo.

La durata e l'inalterabilità del prodotto dipendono innanzi tutto dalla stabilità chimica e dal comportamento in rapporto alle condizioni igrotermiche e all'azione dei raggi ultravioletti. L'alterazione dei composti, oltre ad influire sulle prestazioni, può portare alla formazione di sostanze secondarie, dannose o insolubili, che inficiano la reversibilità del prodotto.

I protettivi più efficaci per materiali *lapidei naturali ed artificiali, intonaci e cotti* appartengono essenzialmente alla classe dei composti organici e dei composti a base di silicio. Secondo le problematiche riscontrate potranno essere impiegati composti organici o composti a base di silicio.

Composti organici

- Polimeri acrilici e vinilici: poliacrilati, impermeabilizzanti per materiali porosi da utilizzare in situazioni limite in quanto riducono fortemente la permeabilità; sotto forma di lattici possono essere impiegati per creare barriere protettive contro l'umidità oppure applicati come mani di fondo per migliorare l'adesività di malte ed intonaci (*primer*);
- resine poliuretatiche: oltre che come consolidanti, utilizzando l'acqua come reagente si possono impiegare come impermeabilizzanti e sono in grado di creare barriere verticali extramurarie contro infiltrazioni trasformandosi in schiume rigide; è possibile impiegarle insieme a resine acriliche per il completamento della tenuta contro le infiltrazioni d'acqua;
- metacrilati da iniezione: catalizzati ed iniettati si trasformano in gel polimerici elastici capaci di bloccare venute d'acqua dolce o salmastra; sono in grado di conferire tenuta all'acqua a murature interrato o a contatto con terreni;
- perfluoropolietere ed elastomeri fluororati: adatti al consolidamento ed alla protezione di materiali lapidei; ottime le doti di stabilità, reversibilità e permeabilità; scarsa la penetrabilità; il loro impiego dovrà essere attentamente valutato quando in presenza di manufatti fortemente degradati che richiedano particolari prestazioni ai prodotti protettivi.

Composti a base di silicio

- Resine siliconiche: silossani, polisilossani, resine metilsiliconiche diluite con solventi organici; si prestano molto bene per l'impregnazione di manufatti ad alta porosità; da applicarsi su manufatti scarsamente alcalini; saranno da evitare

prodotti ad effetto perlante che in genere possiedono scarsa penetrabilità, possono causare l'effetto lucido, sono spesso causa di eccessivo e concentrato ruscigliamento superficiale (veicolo di particellato atmosferico);

- silani: esattamente alchil-alcossi-silani, per le ridotte dimensioni delle molecole del monomero (uguali a quelle dell'acqua) hanno ottima penetrabilità e capacità di trattare superfici umide; devono essere impiegati su supporti alcalini e silicei, risultano pertanto adatti su manufatti in cotto, materiali lapidei e in tufo, intonaci in malta bastarda; da non impiegarsi su marmi carbonatici, intonaci di calce; ottimo l'impiego di alchil-silani idrosolubili per le barriere contro la risalita capillare;
- oligo silani: polimeri reattivi a basso peso molecolare, generalmente alchil-silossani; migliore la penetrazione rispetto alle resine siliconiche, peggiore rispetto alle silaniche; buono l'utilizzo su supporti compatti e scarsamente assorbenti, offrono sufficienti garanzie contro l'aggressione delle soluzioni alcaline;
- organo siliconi: costituiti da molecole di alchil-silani condensate con gruppi idrofili sono solubili in acqua; in assenza di solventi organici risultano atossici; permettono trattamenti di supporti umidi.

I protettivi da utilizzarsi per i *legnami* saranno di vario tipo e verranno impiegati in base alla tipologia, esposizione ed esercizio del manufatto da proteggere. Saranno da evitare applicazioni di forti spessori di prodotto, in quanto il legno va protetto e non isolato dall'ambiente come qualsiasi altro materiale. Si potranno impiegare vernici a base di resine naturali (vernici a spirito o lacche all'alcool), vernici alla copale (soluzioni della resina in essenza di trementina, eventualmente addizionate con piccole quantità di olio siccativo), vernici a base di resine sintetiche monocomponenti (le cosiddette flatting a base di oleo-resine) che possono essere trasparenti o pigmentate (queste ultime risultano più resistenti). I prodotti vernicianti devono possedere elevata plasticità, basso coefficiente di dilatazione termica, resistenza ai raggi UV, penetrabilità, idrorepellenza, permeabilità al vapor d'acqua, facilità di manutenzione. Si potranno utilizzare in alternativa prodotti impregnanti non pellicolanti. Gli impregnanti sono normalmente a base di oli o resine in solvente miscelati con adatti biocidi, sono applicabili a pennello, a rullo o per immersione, hanno un'ottima resistenza e penetrazione, consentono inoltre una facile manutenzione.

Ancora si possono impiegare in special modo su superfici piuttosto degradate, materiali naturali quali olio di lino o cere naturali (normalmente cera d'api in soluzione al 40% in toluene).

I protettivi da utilizzarsi per i *manufatti in ferro* andranno scelti in base alla tipologia del materiale, al suo stato di degrado, alle sue condizioni di esercizio (ambientali, fisico-chimiche), all'effetto che si vorrà ottenere, al tempo di essiccazione dei prodotti, al tipo di esposizione. Si potranno pertanto impiegare sistemi all'olio di lino, al cloro-caucciù, fenolici, epossidici, vinilici, poliuretanici, per l'impiego e l'utilizzo dei quali si rimanda alle specifiche.

5.4.3 Sistemi applicativi

La fase applicativa dei prodotti protettivi richiederà una certa cautela ed attenzione, sia nei confronti del materiale sia per l'operatore che dovrà essere munito di apposita attrezzatura di protezione secondo normativa.

In generale i prodotti dovranno essere applicati su supporti puliti, asciutti e privi di umidità a temperature non eccessive (possibilmente su paramenti non esposti ai raggi solari) onde evitare un'evaporazione repentina dei solventi utilizzati.

L'applicazione si effettuerà irrorando le superfici dall'alto verso il basso, in maniera uniforme, sino a rifiuto.

In generale i prodotti potranno essere applicati:

- *ad airless*, tramite l'utilizzo di apposite apparecchiature in grado di vaporizzare il liquido messo in pressione da pompa oleo-pneumatica;
- tramite *applicazione a pennello* morbido sino a rifiuto, utilizzando i prodotti in soluzione particolarmente diluita, aumentando gradualmente la concentrazione sino ad oltrepassare lo standard nelle ultime mani. Sarà utile alternare mani di soluzione delle resine (se in solvente) a mani di solo solvente per ridurre al minimo l'effetto di bagnato.

5.5 Malte e conglomerati

5.5.1 Generalità

Le malte da utilizzarsi per le opere di conservazione dovranno essere confezionate in maniera analoga a quelle esistenti. Per questo motivo si dovrà effettuare una serie di analisi fisico-chimico, quantitative e qualitative sulle malte esistenti, in modo da calibrare in maniera ideale le composizioni dei nuovi agglomerati. Tali analisi saranno a carico dell'Appaltatore dietro espressa richiesta della D.L.

Ad ogni modo, la composizione delle malte, l'uso particolare di ognuna di esse nelle varie fasi del lavoro, l'eventuale integrazione con additivi, inerti, resine, polveri di marmo, cocchio pesto, particolari prodotti di sintesi chimica, ecc., saranno indicati dalla D.L. dietro autorizzazione degli organi preposti alla tutela dell'edificio oggetto di intervento.

Nella preparazione delle malte si dovranno usare sabbie di granulometria e natura chimica appropriate. Saranno, in ogni caso, preferite le sabbie di tipo siliceo o calcareo, mentre andranno escluse quelle provenienti da rocce friabili o gassose; non dovranno contenere alcuna traccia di cloruri, solfati, materie argillose, terrose, limacciose e polverose. I componenti di tutti i tipi di malte dovranno essere mescolati a secco.

L'impasto delle malte dovrà effettuarsi manualmente o con appositi mezzi meccanici e dovrà risultare omogeneo e di tinta uniforme. I vari componenti, con l'esclusione di quelli forniti in sacchi di peso determinato, dovranno ad ogni impasto essere misurati sia a peso sia a volume. La calce spenta in pasta dovrà essere accuratamente rimescolata in modo che la sua misurazione riesca semplice ed esatta.

Tutti gli impasti dovranno essere preparati nella quantità necessaria per l'impiego immediato e possibilmente in prossimità del lavoro. I residui di impasto non utilizzati immediatamente dovranno essere gettati a rifiuto, fatta eccezione per quelli formati con calce comune che, il giorno stesso della loro miscelazione, potranno essere riutilizzati. Tutte le prescrizioni relative alle malte faranno riferimento alle indicazioni fornite nella parte seconda Art. 3.2.3 del presente Capitolato.

Le modalità per la determinazione della resistenza a compressione delle malte sono riportate nel D.M. 13 settembre 1993.

I tipi di malta e le loro classi sono definite in rapporto alla composizione in volume secondo la tabella seguente (D.M. 9 gennaio 1987):

Classe	Tipo	Composizione				
		Cemento	Calce aerea	Calce idraulica	Sabbia	Pozzolana
M4	Idraulica	-	-	1	3	-
M4	Pozzolonica	-	1	-	-	3
M4	Bastarda	1	-	2	9	-
M3	Bastarda	1	-	1	5	-
M2	Cementizia	1	-	0,5	4	-
M1	Cementizia	1	-	-	3	-

Alla malta cementizia si può aggiungere una piccola quantità di calce aerea con funzione plastificante.

Malte di diverse proporzioni nella composizione confezionate anche con additivi, preventivamente sperimentate, possono essere ritenute equivalenti a quelle indicate qualora la loro resistenza media a compressione risulti non inferiore ai valori seguenti: 12 N/mm² (120 Kg/cm²) per l'equivalenza alla malta M1

8 N/mm² (80 Kg/cm²) per l'equivalenza alla malta M2

5 N/mm² (50 Kg/cm²) per l'equivalenza alla malta M3

2,5 N/mm² (25 Kg/cm²) per l'equivalenza alla malta M4

5.5.2 Art. 3.4.6.2 - Malte e conglomerati

I quantitativi dei diversi materiali da impiegare per la composizione delle malte e dei conglomerati, secondo le particolari indicazioni che potranno essere imposte dalla D.L. o stabilite nell'elenco prezzi, dovranno corrispondere alle seguenti proporzioni: a) Malta comune

Calce spenta in pasta mc 0,25 - 0,40

Sabbia mc 0,85 - 1,00

b) Malta comune per intonaco rustico (rinzafo)

Calce spenta in pasta mc 0,20 - 0,40

Sabbia mc 0,90 - 1,00

c) Malta comune per intonaco civile (stabilitura)

Calce spenta in pasta mc 0,35 - 0,45

Sabbia vagliata mc 0,800

d) Malta grassa di pozzolana

Calce spenta in pasta mc 0,22

Pozzolana grezza mc 1,10

e) Malta mezzana di pozzolana

Calce spenta in pasta mc 0,25

Pozzolana vagliata mc 1,10

f) Malta fina di pozzolana

Calce spenta in pasta mc 0,28

Pozzolana vagliata mc 1,05

g) Malta idraulica

Calce idraulica q.li (1)

Sabbia, mc 0,90

h) Malta bastarda

<i>Malta di cui alle lettere a), e), g)</i>	mc		1,00
<i>Agglomerante cementizio a lenta presa i) Malta cementizia forte</i>	q.li		1,50
<i>Cemento idraulico normale</i>	q.li		(2)
<i>Sabbia</i>	mc		1,00
<i>l) Malta cementizia debole</i>			
<i>Agglomerato cementizio a lenta presa</i>	q.li		(3)
<i>Sabbia</i> m) Malta	mc		1,00
<i>cementizia per intonaci</i>			
<i>Agglomerante cementizio a lenta presa</i>	q.li		6,00
<i>Sabbia</i>	mc		1,00
<i>n) Malta fina per intonaci</i>			
<i>Malta di cui alle lettere c), f), g) vagliata allo staccio fino</i>			
<i>o) Malta per stucchi</i>			
<i>Calce spenta in pasta</i>	mc		0,45
<i>Polvere di marmo</i>	mc		0,90
<i>p) Calcestruzzo idraulico di pozzolana</i>			
<i>Calce comune</i>	mc		0,15
<i>Pozzolana</i>		mc	0,40
<i>Pietrisco o ghiaia</i>	mc		0,80
<i>q) Calcestruzzo in malta idraulica</i>			
<i>Calce idraulica</i>		q.li	(4)
<i>Sabbia</i>	mc		0,40
<i>Pietrisco o ghiaia</i>	mc		0,80
<i>r) Conglomerato cementizio per muri, fondazioni, sottofondazioni, ecc.</i>			
<i>Cemento</i>		q.li	(5)
<i>Sabbia</i>	mc		0,40
<i>Pietrisco o ghiaia</i>	mc		0,80
<i>s) Conglomerato cementizio per strutture sottili</i>			
<i>Cemento</i>		q.li	(6)
<i>Sabbia</i>	mc		0,40
<i>Pietrisco o ghiaia</i>	mc		0,80

(1) Da 3 a 5, secondo l'impiego che si dovrà fare della malta.

(2) Da 3 a 6, secondo l'impiego.

(3) Da 2,5 a 4, secondo l'impiego che dovrà farsi della malta, intendendo per malta cementizia magra quella dosata a 2,5 q.li di cemento e per malta cementizia normale quella dosata a q.li 4 di cemento.

(4) Da 1,5 a 3 secondo l'impiego che dovrà farsi del calcestruzzo.

(5) Da 1,5 a 2,5 secondo l'impiego.

(6) Da 3 a 3,5.

Quando la D.L. ritenesse di variare tali proporzioni, l'Appaltatore sarà obbligato ad uniformarsi alle prescrizioni della medesima, salvo le conseguenti variazioni di prezzo in base alle nuove proporzioni previste. I materiali, le malte ed i conglomerati, esclusi quelli forniti in sacchi di peso determinato, dovranno ad ogni impasto essere misurati con apposite casse della capacità prescritta dalla D.L., che l'Appaltatore sarà in obbligo di provvedere e mantenere a sue spese costantemente su tutti i piazzali ove verrà effettuata la manipolazione. La calce spenta in pasta non dovrà essere misurata in fette, come viene estratta con badile dal calcinaio, bensì dopo essere stata rimescolata e ricondotta ad una pasta omogenea consistente e ben unita.

L'impasto dei materiali dovrà essere fatto a braccia d'uomo, sopra aree convenientemente pavimentate, oppure a mezzo di macchine impastatrici o mescolatrici.

I materiali componenti le malte cementizie saranno prima mescolati a secco, fino ad ottenere un miscuglio di tinta uniforme, il quale verrà poi asperso ripetutamente con la minore quantità di acqua possibile, ma sufficiente, rimescolando continuamente.

Nella composizione di calcestruzzi con malte di calce comune o idraulica, si formerà prima l'impasto della malta con le proporzioni prescritte, impiegando la minore quantità di acqua possibile, poi si distribuirà la malta sulla ghiaia o pietrisco e si mescolerà il tutto fino a che ogni elemento sia per risultare uniformemente distribuito nella massa ed avviluppato di malta per tutta la superficie.

Per i conglomerati cementizi semplici od armati gli impasti dovranno essere eseguiti in conformità alle prescrizioni contenute nel R.D. 16 novembre 1939, n. 2729, nonché nel D.M. 27 luglio 1985 punto 2.1 e allegati 1 e 2. Gli impasti sia di malta sia di conglomerato dovranno essere preparati soltanto nella quantità necessaria, per l'impiego immediato, cioè dovranno essere preparati volta per volta e per quanto possibile in vicinanza del lavoro. I residui d'impasto che non avessero, per qualsiasi ragione, immediato impiego dovranno essere gettati a rifiuto, ad eccezione di quelli formati con calce comune, che potranno essere utilizzati però nella sola stessa giornata del loro confezionamento.

5.5.3 Malte additivate

Per tali s'intendono quelle malte alle quali vengono aggiunti, in piccole quantità, degli agenti chimici che hanno la proprietà di migliorarne le caratteristiche meccaniche e la lavorabilità e di ridurre l'acqua di impasto. L'impiego degli additivi negli impasti dovrà sempre essere autorizzato dalla D.L., in conseguenza delle effettive necessità, relativamente alle esigenze della messa in opera, o della stagionatura, o della durabilità. Dovranno essere conformi alle norme UNI 7101-72 e successive e saranno dei seguenti tipi: aeranti, ritardanti, acceleranti, fluidificanti-aeranti, fluidificanti-ritardanti, fluidificanti-acceleranti, antigelo, superfluidificanti. Per speciali esigenze di impermeabilità del calcestruzzo, o per la messa in opera in ambienti particolarmente aggressivi, potrà essere ordinato dalla D.L. l'impiego di additivi reoplastici.

Acceleranti - Possono distinguersi in acceleranti di presa e in acceleranti di indurimento. Gli acceleranti di presa sono di norma soluzioni di soda e di potassa. Gli acceleranti di indurimento contengono quasi tutti dei cloruri, in particolare cloruro di calcio. Per gli additivi a base di cloruro, per il calcestruzzo non armato i cloruri non devono superare il 4-5% del peso del cemento adoperato; per il calcestruzzo armato tale percentuale non deve superare l'1%; per il calcestruzzo fatto con cemento alluminoso non si ammette aggiunta di cloruro.

Ritardanti - Anch'essi distinti in ritardanti di presa e ritardanti di indurimento. Sono di norma: gesso, gluconato di calcio, polimetafosfati di sodio, borace.

Fluidificanti - Migliorano la lavorabilità della malta e del calcestruzzo. Tensioattivi in grado di abbassare le forze di attrazione tra le particelle della miscela, diminuendone l'attrito nella fase di miscelazione. Gli additivi fluidificanti sono a base di resina di legno o di ligninsolfonati di calcio, sottoprodotti della cellulosa. Oltre a migliorare la lavorabilità sono in grado di aumentare la resistenza meccanica.

Sono quasi tutti in commercio allo stato di soluzione; debbono essere aggiunti alla miscela legante-inerti-acqua nelle dosi indicate dalle ditte produttrici: in generale del 2,3%±0 rispetto alla quantità di cemento.

Plastificanti - Sostanze solide allo stato di polvere sottile, di pari finezza a quella del cemento. Tra i piastificanti si hanno: l'acetato di polivinile, la farina fossile, la bentonite. Sono in grado di migliorare la viscosità e l'omogeneizzazione delle malte e dei calcestruzzi, aumentando la coesione tra i vari componenti. In generale i calcestruzzi confezionati con additivi plastificanti richiedono, per avere una lavorabilità simile a quelli che non li contengono, un più alto rapporto A/C in modo da favorire una diminuzione delle resistenze. Per eliminare o ridurre tale inconveniente gli additivi in commercio sono formulati con quantità opportunamente coneguate, di agenti fluidificanti, aeranti e acceleranti.

Aeranti - In grado di aumentare la resistenza dei calcestruzzi alle alternanze di gelo e disgelo ed all'attacco chimico di agenti esterni. Sono soluzioni alcaline di sostanze tensioattive (aggiunte secondo precise quantità da 40 a 60 ml per 100 kg di cemento) in grado di influire positivamente anche sulla lavorabilità. Le occlusioni d'aria non dovranno mai superare il 4-6% del volume del cls per mantenere le resistenze meccaniche entro valori accettabili.

Agenti antiritiro e riduttori d'acqua - Sono malte capaci di ridurre il quantitativo d'acqua normalmente occorrente per la creazione di un impasto facilmente lavorabile la cui minore disidratazione ed il conseguente ritiro permettono di evitare screpolature, lievi fessurazioni superficiali che spesso favoriscono l'assorbimento degli agenti atmosferici ed inquinanti.

I riduttori d'acqua che generalmente sono lattici in dispersione acquosa composti da finissime particelle di copolimeri di stirolo-butadiene, risultano altamente stabili agli alcali e vengono modificati mediante l'azione di specifiche sostanze stabilizzatrici (sostanze tensionative e regolatori di presa). Il tipo e la quantità dei riduttori saranno stabiliti dalla D.L.

La quantità di additivo da aggiungere agli impasti sarà calcolata considerando:

- il quantitativo d'acqua contenuto nel lattice stesso;
- l'umidità degli inerti (è buona norma, infatti, separare gli inerti in base alla granulometria e lavarli per eliminare sali o altre sostanze inquinanti); — la percentuale di corpo solido (polimetro).

La quantità ottimale che varierà in relazione al particolare tipo di applicazione potrà oscillare, in genere, da lt 6 a 12 di lattice per ogni sacco da kg 50 di cemento.

Per il confezionamento di miscele cemento/lattice o cemento/inerti/lattice si dovrà eseguire un lavoro d'impasto opportunamente prolungato facendo ricorso, preferibilmente, a mezzi meccanici come betoniere e mescolatori elicoidali per trapano.

Per la preparazione delle malte sarà necessario miscelare un quantitativo di cemento/sabbia opportunamente calcolato e, successivamente, aggiungere ad esso il lattice miscelato con la prestabilita quantità d'acqua.

In base al tipo di malta da preparare la miscela lattice/acqua avrà una proporzione variabile da 1:1 a 1:4. Una volta pronta, la malta verrà immediatamente utilizzata e sarà vietato rinvenirla con acqua o con miscele di acqua/lattice al fine di riutilizzarla.

L'Appaltatore sarà obbligato a provvedere alla miscelazione in acqua dei quantitativi occorrenti di additivo in un recipiente che sarà tenuto a disposizione della D.L. per eventuali controlli e campionature di prodotto.

La superficie su cui la malta sarà applicata dovrà presentarsi solida, priva di polveri e residui grassi. Se richiesto dalla D.L. l'Appaltatore dovrà utilizzare come imprimitore un'identica miscela di acqua, lattice e cemento molto più fluida.

Le malte modificate con lattici riduttori di acqua, poiché induriscono lentamente, dovranno essere protette da una rapida disidratazione (stagionatura umida).

Malte espansive - Malte additate con prodotti in grado di provocare aumento di volume all'impasto onde evitare fenomeni di disgregazione. L'utilizzo di questi prodotti avverrà sempre dietro indicazione della D.L. ed eventualmente sarà autorizzato dagli organi competenti per la tutela del manufatto oggetto di intervento.

L'espansione dovrà essere molto moderata e dovrà essere sempre possibile arrestarla in maniera calibrata tramite un accurato dosaggio degli ingredienti. L'espansione dovrà essere calcolata tenendo conto del ritiro al quale l'impasto indurito rimane soggetto.

Si potrà ricorrere ad agenti espansivi preconfezionati, utilizzando materiali e prodotti di qualità con caratteristiche dichiarate, accompagnati da schede tecniche contenenti specifiche del prodotto, rapporti di miscelazione, modalità di confezionamento ed applicazione, modalità di conservazione. Potranno sempre effettuarsi test preventivi e campionature di controllo.

Sebbene gli agenti espansivi siano compatibili con un gran numero di additivi, tuttavia sarà sempre opportuno mescolare gli additivi di una sola ditta produttrice, eventualmente ricorrendo alla consulenza tecnica del produttore.

Malte confezionate con riempitivi a base di fibre sintetiche o metalliche - Si potranno utilizzare solo dietro specifica prescrizione progettuale o richiesta della D.L. e comunque dietro autorizzazione degli organi preposti alla tutela del bene oggetto di intervento. Si potrà richiedere l'utilizzo di riempitivi che hanno la funzione di modificare e plasmare le caratteristiche degli impasti mediante la tessitura all'interno delle malte indurite di una maglia tridimensionale.

Si potranno utilizzare fibre in metallo, poliacrilonitrile, nylon o polipropilene singolarizzato e fibrillato che durante la miscelazione degli impasti, si aprono distribuendosi uniformemente. Le fibre di metallo saranno comunque più idonee a svolgere compiti di carattere meccanico che di contrasto al ritiro plastico.

Le fibre dovranno essere costituite da materiali particolarmente resistenti con diametri da 15 a 20 micron, una resistenza a trazione di 400-600 MPa, un allungamento a rottura dal 10 al 15% e da un modulo di elasticità da 10.000 a 15.000 MPa.

Le fibre formeranno all'interno delle malte uno scheletro a distribuzione omogenea in grado di ripartire e ridurre le tensioni dovute al ritiro; tali malte, in linea di massima, saranno confezionate con cemento pozzolanico 325, con dosaggio di 500 kg/m³, inerti monogranulari (diam. max mm 20), additivi superfluidificanti. Le fibre potranno essere utilizzate con differenti dosaggi che potranno essere calibrati tramite provini (da 0,5 a 2 kg/m³).

Le fibre impiegate dovranno in ogni caso garantire un'ottima inerzia chimica, in modo da poter essere utilizzate sia in ambienti acidi sia alcalini, facilità di utilizzo, atossicità.

5.5.4 Malte preconfezionate

Malte in grado di garantire maggiori garanzie rispetto a quelle dosate manualmente sovente senza le attrezzature idonee. Risulta infatti spesso difficoltoso riuscire a dosare in maniera corretta le ricette cemento/additivi, inerti/cementi, a stabilire le proporzioni di particolari inerti, rinforzanti, additivi. Si potrà quindi ricorrere a malte con dosaggio controllato, ovvero confezionate con controllo automatico ed elettronico in modo che nella miscelazione le sabbie vengano selezionate in relazione ad una curva granulometrica ottimale e i cementi ad alta resistenza e gli additivi chimici rigorosamente dosati.

Tali malte sono in grado di garantire un'espansione controllata. Espansioni eccessive a causa di errori di miscelazione e formatura delle malte potrebbero causare seri problemi a murature o strutture degradate.

Anche utilizzando tali tipi di malte l'Appaltatore sarà sempre tenuto, nel corso delle operazioni di preparazione delle stesse, su richiesta della D.L., a prelevare campioni rappresentativi per effettuare le prescritte prove ed analisi, che potranno essere ripetute durante il corso dei lavori o in sede di collaudo.

Le malte preconfezionate potranno essere usate per stuccature profonde, incollaggi, ancoraggi, rappezzi, impermeabilizzazioni, getti in fondazione ed, in genere, per tutti quei lavori previsti dal progetto, prescritti dal contratto o richiesti dalla D.L.

In ogni fase l'Appaltatore dovrà attenersi alle istruzioni per l'uso prescritte dalle ditte produttrici che, spesso, prevedono un particolare procedimento di preparazione atto a consentire una distribuzione più omogenea dell'esiguo quantitativo d'acqua occorrente ad attivare l'impasto. Dovrà altresì utilizzare tutte le apparecchiature più idonee per garantire ottima omogeneità all'impasto (miscelatori elicoidali, impastatrici, betoniere, ecc.) oltre a contenitori specifici di adatte dimensioni.

Dovrà inoltre attenersi a tutte le specifiche di applicazione e di utilizzo fornite dalle ditte produttrici nel caso dovesse operare in ambienti o con temperature e climi particolari.

Sarà in ogni modo consentito l'uso di malte premiscelate pronte per l'uso purché ogni fornitura sia accompagnata da specifiche schede tecniche relative al tipo di prodotto, ai metodi di preparazione e applicazione, oltre che da una dichiarazione del fornitore attestante il gruppo della malta, il tipo e la quantità dei leganti e degli eventuali additivi. Nel caso in cui il tipo di malta non rientri tra quelli prima indicati il fornitore dovrà certificare con prove ufficiali anche le caratteristiche di resistenza della malta stessa.

5.5.5 Conglomerati di resina sintetica

Saranno da utilizzarsi secondo le modalità di progetto, dietro specifiche indicazioni della D.L. e sotto il controllo degli organi preposti alla tutela del bene oggetto di intervento.

Trattandosi di materiali particolari, commercializzati da varie ditte produttrici dovranno presentare alcune caratteristiche di base garantendo elevate resistenze meccaniche e chimiche, ottime proprietà di adesione, veloce sviluppo delle proprietà meccaniche, buona lavorabilità a basse ed elevate temperature, sufficiente tempo di presa.

Si dovranno confezionare miscelando adatti inerti, con le resine sintetiche ed i relativi indurenti. Si potrà in fase di intervento variane la fluidità regolandola in funzione del tipo di operazione da effettuarsi relativamente al tipo di materiale.

Per la preparazione e l'applicazione dei conglomerati ci si dovrà strettamente attenere alle schede tecniche dei produttori, che dovranno altresì fornire tutte le specifiche relative allo stoccaggio, al tipo di materiale, ai mezzi da utilizzarsi per l'impasto e la miscelazione, alle temperature ottimali di impiego e di applicazione. Sarà sempre opportuno dotarsi di idonei macchinari esclusivamente dedicati a tali tipi di prodotti (betoniere, mescolatrici, attrezzi in genere). Per i formulati a due componenti sarà necessario calcolare con precisione il quantitativo di resine e d'indurente attenendosi, con la massima cura ed attenzione alle specifiche del produttore resta in ogni caso assolutamente vietato regolare il tempo d'indurimento aumentando o diminuendo la quantità di indurente.

Si dovrà comunque operare possibilmente con le migliori condizioni atmosferiche, applicando il conglomerato preferibilmente con temperature dai 12 ai 20 °C, umidità relativa del 40-60%, evitando l'esposizione al sole. Materiali e superfici su cui saranno applicati i conglomerati di resina dovranno essere asciutti ed opportunamente preparati tramite accurata pulitura.

L'applicazione delle miscele dovrà sempre essere effettuata nel pieno rispetto delle norme sulla salute e salvaguardia degli operatori.

5.6 Vespai e Sottofondi

Le opere di sottofondo e massetti dovranno essere eseguite a perfetta regola d'arte, ed essere rese in opera finite e funzionanti, complete di tutte quelle attrezzature e materiali di completamento necessarie, anche se non dettagliatamente indicate.

I sottofondi dovranno essere particolarmente curati al fine di eliminare le camere d'aria, sacche o bolle che potrebbero venirsi a creare ed inoltre dovranno ricoprire abbondantemente tubazioni e canali correnti sugli orizzontamenti.

Il conglomerato cementizio adoperato per l'esecuzione delle opere sovraccitate, dovrà essere confezionato secondo le prescrizioni della normativa vigente e comunque sempre con mezzi meccanici.

Nella realizzazione di massetti di superficie superiore ai 50 mq, sono previsti dei giunti di dilatazione. Detti giunti dovranno essere realizzati mediante la posa di guarnizioni di resina poliuretanica.

Qualora si dovesse interrompere il getto dei suddetti massetti da un giorno all'altro, il taglio di giunzione dovrà essere verticale netto e non inclinato, con rete metallica passante, per evitare sollevamenti sul giunto in caso di espansione del massetto.

I massetti, che contengono l'impianto di riscaldamento costituito da pannelli radianti a pavimento, saranno eseguiti con opportuni tagli onde evitarne la fessurazione per il ritiro dell'impasto cementizio durante l'essiccamento. I tagli saranno realizzati, dopo la presa idraulica del calcestruzzo, con idonea sega per una profondità tale da non interrompere l'armatura di rinforzo e mantenere un ricoprimento del ferro di almeno 2 cm. Prima della posa del rivestimento i sottofondi dovranno avere una stagionatura minima di 30 gg. dalla ultimazione, e comunque dovranno risultare privi di umidità se sottoposti ad un test di controllo umidità.

Vespaio sull'intero piano interrato con esclusione delle botteghe esterne Sono previsti i seguenti interventi:

- *rullatura fondo dello scavo,*
- *massetto confezionato con cemento 325 resistenza caratteristica 150 sp 10 cm con rete elettrosaldata d.8mm 10x10 xm,*
- *cassero in plastica a perdere h 27 cm,*
- *getto di riempimento con rete elettrosaldata come il precedente*

- tubazioni in pvc rosso diametro 15 cm poste per ventilare il vespaio raccordandolo con le intercapedine delle testate dell'edificio per ciascuno delle quali si prevedono tre condotti che terminano verticalmente ad almeno un metro dal piano di calpestio delle intercapedini stesse.

Vespaio in corrispondenza dei bassi fabbricati nei cortili

Al completamento delle murature perimetrali dei bassi fabbricati in mattoni pieni si provvederà alla realizzazione del vespaio costituito da tavelloni di spessore cm 6, altezza complessiva sino ad un massimo di cm 100, poggiati su muretti di mattoni semipieni dello spessore di cm 12 interasse m 1, compreso soprastante cappa in cls di cm 4, Resistenza caratteristica 250 - completo di rete elettrosaldata a maglie di cm 15x15, d.mm 6

Sottofondo cortili sull'estradosso a gradoni della soletta in cls si provvederà a realizzare un piano unico con caldana di riempimento costituita da getto a mano di conglomerato cementizio alleggerito con inerti di argilla espansa leggermente impastata con boiacche di cemento tipo 425, con adeguato costipamento, successivo massetto in cls 16 cm con rete elettrosaldata, 8mm maglia 10x10 cm , sottofondo , con superfici finite a fratazzo fine con cls dosato a kg 300 per la successiva posa della impermeabilizzazione

Sottofondo per pavimenti tirato a fratazzo.

In tutte le zone dove si prevede la posa di nuovi pavimenti con collante a base cementizia , si dovrà realizzare un sottofondo dello spessore medio pari a cm 6-8, in cls di cemento R 325, avente resistenza caratteristica di 150 Kg/cmq., dosato a 250 Kg/mc con inerti di buona qualità di granulometria mm. 0 – 30 senza additivo.

Sottofondo terrazzo corpo centrale

All'estradosso del riempimento delle volte risanate a seguito della barriera al vapore e dell'isolante si prevederà il già citato massetto di pendenza in cls con rete elettrosaldata

5.7 Murature e strutture verticali - Lavori di costruzione

5.7.1 Murature in genere

La costruzione di murature, siano esse formate da elementi resistenti naturali o artificiali, dovrà essere eseguita secondo le prescrizioni di cui alla L. 2 febbraio 1974, n. 64, al D.M. 24 gennaio 1986 e alla relativa Circ. M.LL.PP 19 luglio 1986, n. 27690 per quanto riguarda le costruzioni sismiche, e al D.M. 20 novembre 1987 per gli edifici in muratura e il loro consolidamento nonché alle prescrizioni di cui al Decreto del Ministro dei Lavori Pubblici 16 gennaio 1996 concernente "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" e della Circ. 10 aprile 1997, n. 65/AA. GG. dal titolo "Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 gennaio 1996".

Si dovrà inoltre fare riferimento alle "Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura" contenute nel D.M. 20 novembre 1997, n. 103 e relativa circolare di istruzione del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore del LL.PP. 4 gennaio 1989, n. 30787.

Nelle costruzioni delle murature in genere verrà curata la perfetta esecuzione degli spigoli, delle voltine, sordine, piattabande, archi e verranno lasciati tutti i necessari incavi, sfondi canne e fori:

- per il passaggio dei tubi pluviali, dell'acqua potabile ,
- per condutture elettriche di campanelli, di telefoni e di illuminazione;
- per le imposte delle volte e degli archi;
- per gli zoccoli, arpioni di porte e finestre, zanche soglie, inferriate, ringhiere, davanzali, ecc.

Quanto detto, in modo che non vi sia mai bisogno di scalpellare le murature già eseguite.

La costruzione delle murature deve iniziarsi e proseguire uniformemente, assicurando il perfetto collegamento sia con le murature esistenti sia fra le varie parti di esse, evitando, nel corso dei lavori, la formazione di strutture eccessivamente emergenti dal resto della costruzione.

La muratura procederà a filari rettilinei, con i piani di posa normali alle superfici viste o come altrimenti venisse prescritto.

All'innesto con i muri da costruirsi in tempo successivo dovranno essere lasciate opportune ammorsature in relazione al materiale impiegato.

I lavori in muratura, qualunque sia il sistema costruttivo adottato, devono essere sospesi nel periodo di gelo, durante i quali la temperatura si mantenga per molte ore, al di sotto di zero gradi centigradi. Quando il gelo si verifichi solo per alcune ore della notte, le opere in muratura ordinaria possono essere eseguite nelle ore meno fredde del giorno, purché al distacco del lavoro vengano adottati opportuni provvedimenti per difendere le murature dal gelo notturno.

Le facce delle murature in malta dovranno essere mantenute bagnate almeno per 15 giorni dalla loro ultimazione o anche più se sarà richiesto dalla Direzione Lavori.

Le impostature per le volte, gli archi, ecc. devono essere lasciate nelle murature sia con addentellati d'uso sia col costruire l'origine degli archi e delle volte a sbalzo mediante le debite sagome, secondo quanto verrà prescritto.

La Direzione stessa potrà ordinare che sulle aperture di vani, di porte e finestre siano collocati degli architravi in cemento armato delle dimensioni che saranno fissate in relazione alla luce dei vani, allo spessore del muro ed al sopracarico.

Quando venga ordinato, sui muri delle costruzioni, nel punto di passaggio fra le fondazioni entroterra e la parte fuori terra, sarà disteso uno strato di asfalto formato come quello dei pavimenti, esclusa la ghiaietta, dell'altezza in ogni punto di almeno cm 2. La muratura su di esso non potrà essere ripresa che dopo il suo consolidamento.

5.8 Murature e strutture verticali - Lavori di conservazione

5.8.1 Generalità

Nei lavori di conservazione delle murature sarà buona norma privilegiare l'uso di tecniche edilizie e materiali che si riallaccino alla tradizione costruttiva riscontrabile nel manufatto in corso di recupero. Il ricorso a materiali compatibili con gli originali, infatti, consente una più sicura integrazione dei nuovi elementi con il manufatto oggetto di intervento evitando di creare una discontinuità nelle resistenze fisiche, chimiche e meccaniche.

La finalità esecutiva di intervento sarà quella della conservazione integrale del manufatto evitando integrazioni, sostituzioni, rifacimenti, ricostruzioni in stile. Si dovrà cercare quindi di non intervenire in maniera traumatica, e generalizzata, garantendo vita al manufatto sempre con operazioni minimali, puntuali e finalizzate.

Bisognerà evitare, soprattutto in presenza di decorazioni parietali, interventi traumatici e lesivi dell'originaria continuità strutturale, cromatica e materica. Integrazioni e sostituzioni saranno ammesse solo ed esclusivamente quali mezzi indispensabili per garantire la conservazione del manufatto (cedimenti strutturali, polverizzazioni, marcescenze, ecc.) sempre e comunque dietro precisa indicazione della D.L. e previa autorizzazione degli organi competenti preposti alla tutela del bene in oggetto.

Nei casi in cui si debba ricorrere a tali operazioni sarà sempre d'obbligo utilizzare tecniche e materiali compatibili con l'esistente, ma perfettamente riconoscibili quali espressioni degli attuali tempi applicativi.

In generale le indagini preliminari, al di là di piccole fessurazioni localizzate su alcuni partiti murari divisori o di successiva ricollocazione, denotano dal punto di vista strutturale un livello di conservazione sufficiente. A ciò fa riscontro nei paramenti esterni e interni, intonacati, un grado di umidità e conseguente degrado, concentrato in particolare nelle murature di spiccato, per un'altezza media di m. 2.00, e in settori di muratura in corrispondenza di paramenti in precedenza degradati e in seguito restaurati, di pluviali corrosi o in parte mancanti poi sostituiti e soprattutto nei muri contro terra dei locali del piano interrato.

Sono previsti interventi di revisione, risanamento e restauro su tutti i paramenti murari di pareti verticali o volte ove ad insindacabile giudizio della D.L. se ne individui la necessità e in particolare il ripristino delle spallette e dei voltini delle aperture ove si procederà alla rimozione degli infissi. Gli interventi dovranno comprendere la rimozione delle parti deteriorate o manomesse, la scarnitura delle vecchie malte ammalorate con l'onere della salvaguardia dei tratti in buono stato di conservazione, il successivo lavaggio e spazzolatura con spazzole di saggina, la chiusura a cuciscuci di piccoli vani, vecchie tracce di impianti o passaggi e la sostituzione dei laterizi non recuperabili con mattoni pieni fatti a mano o di recupero per murature a vista, la stilatura dei giunti con malta di calce idraulica e inerti opportunamente dosata nelle componenti degli inerti e nella colorazione per renderla simile a quella esistente, rifacimento di fughe con rasatura a cazzuola e spazzolatura finale (cfr. tavv. RS3, RS4, RS5, RS6).

5.8.2 Interventi su edifici a carattere monumentale.

Con il D.M. 16 gennaio 1996 si è reso obbligatorio effettuare interventi di miglioramento nel caso in cui si eseguano lavorazioni volte a rinnovare o a sostituire gli elementi strutturali di un edificio a carattere monumentale, secondo i dettami dell'art. 16 della legge n. 64/1974.

Le esigenze della conservazione sono in alcuni casi da anteporre a quelle della sicurezza. Ne consegue che non è necessario adeguare i livelli di sicurezza di un edificio di interesse storico a quelli minimi fissati dalla normativa per gli edifici di nuova costruzione, ma è sufficiente che i livelli di sicurezza siano semplicemente migliorati rispetto a quelli antecedenti l'intervento. Le tecniche di intervento da utilizzare per i beni architettonici dovranno pertanto tenere conto delle loro peculiarità storiche, artistiche, architettoniche e distributive. Questo significa che il miglioramento dovrà essere eseguito senza produrre sostanziali modifiche nel comportamento strutturale dell'edificio, utilizzando, per quanto possibile, tecniche di intervento e metodologie operative volte alla massima conservazione materica, fisica e morfologica dei fabbricati. Tecniche e materiali con carattere di reversibilità anche parziale, da impiegarsi in modo discreto, non invasivo, coerente con la logica costruttiva e l'impianto strutturale esistente.

5.8.3 Sarcitura delle murature mediante sostituzione parziale del materiale e fissaggio di paramenti sconnessi e/o in distacco

L'obiettivo di questa lavorazione dovrà essere quello di integrare parti di muratura *assolutamente non più recuperabili e non più in grado di assolvere alla loro funzione statica e/o meccanica* mediante una graduale sostituzione che non dovrà comunque interrompere, nel corso dei lavori, la funzionalità statica della muratura.

L'Appaltatore, quindi, provvederà, delimitata la parte di muratura da sostituire, ad individuare le zone dei successivi interventi che dovranno essere alternati in modo da potere sempre disporre di un quantitativo sufficiente di muratura resistente.

Aprirà una breccia nella prima zona d'intervento ricostruendo la porzione demolita con muratura di mattoni pieni e malta di calce idraulica naturale, ammorsando da una parte la nuova struttura con la vecchia muratura resistente e dall'altra parte lasciando le ammorsature libere di ricevere la successiva muratura di sostituzione.

Dovrà, in seguito, forzare la nuova muratura con la sovrastante vecchia muratura mediante l'inserimento di cunei di legno da controllare e da sostituire, solo a ritiro avvenuto, con mattoni e malta fluida fino a rifiuto.

Queste operazioni andranno ripetute per tutte le zone d'intervento.

In presenza di porzioni superstiti di paramenti aderenti alla muratura, l'Appaltatore dovrà far pulire accuratamente la superficie e rimuovere ogni sostanza estranea, secondo le modalità già descritte. Procederà, quindi, all'estrazione degli

elementi smossi, in fase di caduta e/o distacco, provvedendo alla loro pulizia e lavaggio ed alla preparazione dei piani di posa con una malta analoga all'originale additivata con agenti chimici solo dietro espressa richiesta della D.L.

Eseguirà, in seguito, la ricollocazione in opera degli elementi rimossi e la chiusura sottoquadro dei giunti mediante la stessa malta, avendo cura di sigillare le superfici d'attacco tra paramento e nucleo mediante iniezioni o colaggi di miscele fluide di malta a base di latte di calce e pozzolana vagliata e ventilata o altre mescole indicate dalla D.L.

Potranno inoltre effettuarsi interventi di messa in sicurezza di elementi a rischio di apparati decorativi (cornici, archetti pensili, voltini) tramite il fissaggio al paramento di supporto utilizzando microbarre in acciaio inox. Si dovranno effettuare fori del diametro di mm 6-8 (che comunque dipenderà dalle dimensioni e dallo stato materico del manufatto da consolidare) con trapani a bassa rotazione sino a raggiungere lo strato del supporto che sarà interessato dal foro per circa cm 10. Verrà successivamente iniettata resina epossidica ed immediatamente annegate le barre in inox avendo cura di evitare fuoriuscite e sbavature del prodotto verso l'esterno. Andrà infine eseguita la stuccatura superficiale utilizzando malta di calce idraulica caricata con cocchio pesto o polvere di marmo.

Qualora per motivi statici o strutturali si dovesse procedere alla ricostruzione di paramenti analoghi a quelli originari, detti paramenti verranno realizzati con materiali applicati in modo da distinguere la nuova esecuzione.

Con queste modalità verranno restaurati i paramenti murari di tutte le facciate esterne con particolare attenzione agli apparati decorativi - cornici, cornicioni, modanature, architravi, fregi, decorazioni intorno alle aperture – (cfr. tavv. RS3, RS4, RS5, RS6).

Le tipologie di cornici presenti nell'edificio si possono sintetizzare nella suddivisione tra cornici inferiori – semplici e complesse – e cornici superiori – semplici e complesse.

Le cornici inferiori semplici sono presenti sui fronti sud-ovest, sud, sud-est, nord-ovest, nord-A, est, nord-B, ovest, nord-est e sono composte da architrave, listello, fregio liscio, gola, fascia e corona con gocciolatoio – realizzata in pietra e laterizi - per un'altezza totale di cm 100 circa e un oggetto massimo di circa cm 50. Le cornici inferiori complesse si compongono di architrave, regola con gocce, listello, fregio con triglifi – alcuni mancanti da riproporre -, mutuli e coronamento per un'altezza totale di cm 100 circa e un oggetto massimo di circa cm 50 e sono presenti sulle testate nord, nord-est e nord-ovest.

Le cornici superiori semplici, sui fronti sud-ovest, sud, sud-est, nord-ovest, nord-A, est, nord, nord-B, ovest, nord-est sono composte da una sottocornice con fascia gola e listello e da una sopracornice formata da corona con gocciolatoio – realizzata in pietra e laterizi - e sima a gola per un'altezza totale di cm 50 circa e un oggetto massimo di circa cm 50. Sui fronti sud-ovest, sud e sud-est, nord la cornice è interrotta dai capitelli delle paraste.

Le cornici superiori complesse si differenziano dalle semplici per la presenza, sotto la corona con gocciolatoio, delle gocce e sono presenti sulle testate nord-est e nord-ovest e sui padiglioni dei fronti sud-est e sud-ovest e sul timpano.

5.8.4 Ristilatura dei giunti di malta

I lavori conservativi su murature in genere, nella gran parte dei casi, riguardano in maniera piuttosto evidente i giunti di malta di allettamento tra i singoli manufatti. Si dovranno pertanto effettuare analisi mirate, sulla composizione chimico-fisica dei manufatti e delle malte di allettamento, per determinarne la natura, la provenienza e la granulometria.

La prima operazione di intervento riguarderà l'eliminazione puntuale dei giunti di malta incompatibili, giunti cioè realizzati con malte troppo crude (cementizie), incompatibili col paramento, in grado di creare col tempo stress meccanici evidenti. L'operazione dovrà avvenire con la massima cura, utilizzando scalpelli di piccole dimensioni ed evitando accuratamente di intaccare il manufatto originale. Seguirà un intervento di pulitura utilizzando pennelli a setole morbide e bidone aspiratutto. Previa abbondante bagnatura con acqua deionizzata, si effettuerà la stilatura dei giunti di malta tramite primo arriccio in malta di calce idraulica esente da sali solubili e sabbia vagliata (rapporto legante inerte 1:2). U arriccio sarà da effettuarsi utilizzando piccole spatole evitando con cura di intaccare le superfici non interessate (sia con la malta sia con le spatole) si potranno eventualmente proteggere le superfici al contorno utilizzando nastro in carta da carrozziere.

La ristilatura di finitura si effettuerà con grassello di calce e sabbia eventualmente additivati con sabbie di granulometrie superiori, cocchio pesto, polveri di marmo (rapporto leganti-inerti 1:3). La scelta degli inerti sarà dettata dalle analisi preventive effettuate su materiali campioni, e dalla risoluzione cromatica che si vuole ottenere in sintonia con le malte esistenti (per piccole ristilature) o in difformità per distinguerle da quelle esistenti (porzioni di muratura più vaste). Tali scelte saranno esclusivamente dettate dalla D.L. comunque dietro specifica autorizzazione degli organi competenti alla tutela del bene in oggetto. La ristilatura avverrà sempre in leggero sottoquadro e dovrà prevedere una finitura di regolarizzazione tramite piccole spugne inumidite in acqua deionizzata.

Le malte utilizzate dietro specifica richiesta e/o autorizzazione della D.L., potranno essere caricate con additivi di natura chimica, quali resine epossidiche (richiesta di forte adesività per stuccature profonde non esposte ai raggi UV) o resine acriliche o acril-siliconiche.

5.9 Coperture, controsoffitti, impermeabilizzazioni.

Coperture con scandole in rame stagnato (la presente descrizione e maggiormente dettagliata negli elaborati grafici progettuali delle opere strutturali ed architettoniche)

Sul tavolato precedentemente predisposto si realizzeranno in successione i seguenti interventi :

- posa barriera al vapore in polietilene dello spessore di mm.0,3,
- listelli in massello di abete 7x 10cm chiodati sul tavolato precedentemente predisposto ed indicato negli elaborati strutturali ,
- isolamento termico costituito da lastre di polistirolo espanso stampate, di spessore 4 cm densità

20 kg/mc., con marginatura a battente

- doppio tavolato posto incrociato sulla struttura sottostante in massello di abete per uno spessore totale di 6 cm (3+3) cm, il tavolato superiore sarà interrotto solo in corrispondenza dei compluvi in modo che i risvolti di questi si collochino a raso dell'estradosso del tavolato superiore sul quale vengono disposte le scandole.
- isolamento manto di copertura con guaina traspirante, impermeabile all'acqua, antiscivolo ed antistrappo, composta da materassino polietilene ad alta densità tipo "tyvek / celenit" fissato con graffe al tavolato,
- inserimento di griglie antivolatili all'estremità dell'intercapedine aerata costituita dagli interventi precedenti
- comunque prima della posa degli elementi metallici si provvederà a stendere sul tavolato perfettamente asciutto, un manto sintetico di PVC fissandolo con graffe ed in perfetta aderenza al suo supporto per evitare che le scandole siano a contatto del legno.
- posa dei compluvi e displuvi in lamiera di rame stagnato , posa delle scandole in lamiera di rame stagnato delle dimensioni di circa 40 x 40 cm dello spessore di 8/10 di mm, con impiego delle apposite linguette ed i chiodi forniti dalla stessa ditta produttrice delle scandole . La posa avverrà con verso preciso da sinistra verso destra e dal basso verso l'alto provvedendo alla protezione dei punti di fissaggio, le necessarie saldature e siliconature, ed ogni altra opera accessoria.
- Inserimento di elementi elementi paraneve .

Impermeabilizzazioni

Il piano di posa dei manti impermeabilizzanti su opere murarie dovrà avere, comunque, pendenze non inferiori al 2%, essere privo di asperità e con una superficie perfettamente lisciata (a frattazzo o simili), livellata, stagionata e con giunti elastici di dilatazione; lo spessore minimo non dovrà mai essere inferiore ai 4 cm.

I materiali impiegati e la messa in opera dovranno presentare i requisiti richiesti, essere integri, senza borse, fessurazioni o scorrimenti e totalmente compatibili con il sistema adottato al fine di garantire, in ogni caso, l'assenza di qualsiasi infiltrazione d'acqua. Nella realizzazione e messa in opera si dovrà prevedere :

- pulizia del sottofondo da tutte le asperità, residui di lavorazioni, scaglie di qualunque tipo e salti di quota;
- imprimitura della superficie con primer bitu minoso in fase solvente
- posa di due membrane elastoplastomeriche, entrambe con certificato icite, dello spessore di mm. 4, armate con tessuto non tessuto prodotto a filo continuo e flessibilità -20 gradi centigradi con membrane di tipo normale le guaine dovranno essere posate sovrapposte per almeno 70 mm. ed esecuzione di una saldatura per fusione con fiamma e successiva suggellatura con ferro caldo , Gli interventi di impermeabilizzazione sono previsti :
- all'estradosso del massetto del vespaio al piano interrato, - sulla caldana di riempimento dei cortili , - sul terrazzo del corpo centrale.

Barriera al vapore

Le membrane destinate a formare strati di schermo o barriera al vapore saranno in polietilene dello spessore di mm.0,3 e dovranno rispondere alla norma UNI 9380-1-2.

La realizzazione della barriera al vapore si prevederà all'intradosso di tutti gli isolamenti termici, in particolare:

- coperture a falda,
- terrazzo del corpo centrale.

Controsoffitti

Tutti i controsoffitti previsti, indipendentemente dal sistema costruttivo, dovranno risultare con superfici orizzontali o comunque rispondenti alle prescrizioni, essere senza ondulazioni, crepe o difetti e perfettamente allineati.

La posa in opera sarà eseguita con strumenti idonei ed in accordo con le raccomandazioni delle case produttrici, comprenderà inoltre tutti i lavori necessari per l'inserimento dei corpi illuminanti, griglie di aspirazione, antincendio e quanto altro richiesto per la perfetta funzionalità di tutti gli impianti presenti nell'opera da eseguire, nonché i necessari raccordi con le volte.

Qualora si rendesse necessario l'uso del controsoffitto per la realizzazione di corpi appesi (apparecchi illuminanti, segnaletica, etc.) verranno eseguiti, a carico dell'appaltatore, adeguati rinforzi della struttura portante delle lastre di controsoffitto mediante l'uso di tiranti aggiuntivi; questi tiranti dovranno essere fissati, in accordo con le richieste del direttore dei lavori, in punti di tenuta strutturale e con sistemi di ancoraggio che garantiscano la necessaria stabilità. I sistemi di realizzazione dei controsoffitti previsti sono :

Lastre in gesso o cartongesso antiumido

Avranno spessori e dimensioni tali da introdurre deformazioni a flessione (su sollecitazioni originate dal peso proprio) non superiori a 2 mm.; saranno costituite da impasti a base di gesso armato e verranno montate su guide o fissate a strutture a scomparsa; tale tipo di controsoffittature dovranno essere eseguite con pannelli di gesso smontabili da ancorare alla struttura preesistente con un armatura di filo di ferro zincato e telai metallici disposti secondo un'orditura predeterminata a cui andranno fissati i pannelli stessi.

Nel caso del cartongesso la controsoffittatura dovrà essere sospesa, chiusa, costituita da lastre prefabbricate di gesso cartonato dello spessore di mm. 12,5 fissate mediante viti autoperforanti fosfatate ad una struttura costituita da profilati in lamiera d'acciaio zincata dello spessore di 6/10 posta in opera con interasse di ca. 60 cm. e finitura dei giunti eseguita con bande di carta e collante speciale oltre alla sigillatura delle viti autoperforanti in acciaio inox.

Gli interventi previsti riguardano la realizzazione di fasce perimetrali all'interno dei servizi igienici e spogliatoi del piano interrato.

Pannelli in fibre minerali

Costituiti da pannelli in fibre minerali agglomerate con leganti speciali, avranno spessori di 16 mm. ca, peso proprio di 5,4 Kg/mq. ca. e con le strutture di supporto di 7 Kg/mq., coefficiente di assorbimento acustico (a Sabine) di 0,30 a 125 Hz e 0,78 a 4.000Hz, resistenza termica di 0,319 mq.K/W (0,372 mq.h°C/Kcal), umidità dell'ambiente di applicazione non superiore al 70% a 20°C, tenuta al fuoco di 120' (con struttura nascosta).

5.10 Consolidamento e conservazione di manufatti in legno

5.10.1 Generalità:

Prima di procedere a qualsiasi opera di consolidamento di strutture lignee, l'Appaltatore dovrà eseguire le seguenti lavorazioni:

- pulizia accurata dell'elemento da consolidare che si effettuerà secondo le modalità prescritte dalla D.L. (pulitura manuale con stracci e scopinetti, aria compressa, bidone aspiratutto, evitando puliture troppo aggressive che comportino esportazione di materiale);
- accertamento delle cause del degrado della struttura;
- verifica dello stato di degrado del manufatto, identificazione precisa del quadro patologico;
- analisi dettagliata delle parti da asportare e/o da ripristinare;
- puntellamento della struttura che grava sugli elementi da consolidare mediante il riversamento dei carichi sulle parti sane o su murature o elementi adiacenti;
- trattamento antiruggine ed antincendio degli elementi metallici di rinforzo.

E' previsto il restauro del portone in legno e la realizzazione di un ulteriore sistema di apertura a due ante verso l'esterno con maniglione antipanico mediante il taglio del telaio e dei pannelli del portone in legno del fronte sud e si rimanda al capitolo specifico per il dettaglio delle operazioni (cfr. tavv. RS3, particolari P1, P2, RS4), come descritto analiticamente nel capitolo relativo agli interventi di conservazione sui serramenti .

5.10.2 Impregnazioni consolidanti

L'operazione di impregnazione (consolidante) avrà lo scopo di introdurre nel legno degradato una sostanza legante che, penetrando in profondità, conferisca un aumento delle caratteristiche meccaniche del legno. Due sono i parametri che sarà necessario valutare in funzione del tipo di consolidamento: la metodologia applicativa e la natura del prodotto usato.

La penetrazione del consolidante dovrà interessare gli strati più interni del legno, in modo tale che il miglioramento delle caratteristiche meccaniche e di resistenza degli attacchi chimico-biologici, coinvolga l'intera sezione lignea.

I sistemi di consolidamento ammessi potranno essere a base di resine acriliche in adatto solvente; eccezionalmente si potranno usare resine e cere naturali od olio di lino cotto. I sistemi da preferirsi saranno comunque a base di resine epossidiche o poliuretaniche a basso peso molecolare e con una viscosità intrinseca di 250 cPs., sciolte in solvente polare fino all'ottenimento di viscosità inferiore a 10 cPs.

I metodi di applicazione del materiale consolidante si baseranno in linea di massima sulla sua capacità di penetrazione per assorbimento capillare, previa una serie di misure di laboratorio tali da verificare la capacità di assorbimento del legno da trattare. A tale scopo, i metodi consentiti per l'impregnazione, sono i seguenti.

Applicazione a pennello - Dopo aver accuratamente pulito e/o neutralizzato la superficie da trattare (con il solvente) si applicherà la soluzione di resina a pennello morbido fino a rifiuto. Il trattamento di impregnazione andrà iniziato con resina in soluzione particolarmente diluita (superiore a quanto richiesto dallo standard) e si aumenterà via via la concentrazione fino ad effettuare le ultime passate con una concentrazione superiore allo standard.

Applicazione a spruzzo - Dopo avere accuratamente pulito e/o neutralizzato con solvente la superficie da impregnare si applicherà la soluzione a spruzzo fino a rifiuto.

Applicazione mediante appositi iniettori - Si introdurranno nel legno da impregnare degli appositi iniettori con orifizio variabile (2/4,5 mm). L'iniettore conficcato in profondità nel legno permetterà la diffusione del prodotto impregnante nelle zone più profonde. Il prodotto consolidante sarà introdotto con l'aiuto di apposita apparecchiatura che sappia portare la resina in pressione, il cui valore sarà stabilito di volta in volta in ragione del tipo di consolidamento da effettuare. L'apparecchiatura sarà sostanzialmente costituita da un gruppo compressore completo di una adatta pistola che permetta di soffiare la resina negli iniettori precedentemente conficcati nel legno. Il numero delle iniezioni di resina e la distanza fra queste, nonché la loro disposizione radiale, saranno in funzione del tipo di consolidamento che si vuole ottenere. Dopo l'estrazione dell'iniettore sarà necessario ricostruire la continuità della superficie lignea mediante l'introduzione di microtappi o stucature con resina epossidica caricata con segatura dello stesso legno.

L'impregnazione dovrà garantire un netto miglioramento delle caratteristiche meccaniche, in particolare l'intervento con resine poliuretaniche dovrà portare il valore di resistenza alla compressione, ad almeno 2,5 volte il valore originario.

Sarà comunque necessario che il trattamento di consolidamento del legno soddisfi i seguenti requisiti: dovrà essere ripristinata la continuità delle fibre legnose sia a livello intercellulare sia a livello microscopico; dovrà essere garantita la reversibilità del trattamento in modo da non pregiudicare un successivo intervento migliorativo; dovrà essere consentita una buona traspirabilità, per permettere migrazioni di vapor d'acqua senza creare sollecitazioni meccaniche e/o fenomeni di polmonazione; dovranno essere mantenute le cromie evitando che il legno assuma colorazioni e/o brillanzze non desiderate; il materiale consolidante dovrà avere caratteristiche di elasticità compatibili con le proprietà fisiche del legno, in particolare il valore del modulo elastico della resina dovrà essere dello stesso ordine di grandezza di quello del legno da consolidare; sarà inoltre necessario garantire che il solvente non evapori prima che la resina abbia polimerizzato e/o raggiunto gli strati più profondi. In tal senso si richiederà che siano approntati in cantiere, tutti quegli accorgimenti atti ad impedire la migrazione del solvente (e conseguentemente della resina) verso le parti più esterne. Sarà pertanto necessario che in cantiere vengano predisposte opportune protezioni, tali da garantire che l'eventuale polimerizzazione e/o diffusione avvenga in presenza di sufficiente quantità di solvente.

5.10.3 Stuccature, iniezioni, protezione superficiale

Stuccature - Saranno effettuate con resine epossidiche opportunamente caricate (polvere di segatura, fillers) per interventi di particolare impegno e/o di notevole estensione sarà richiesto l'uso di adatte armature con barre di vetroresina.

Gli eventuali incollaggi e/o ancoraggi dovranno essere effettuati con resina epossidica pura. La resina utilizzata dovrà dare garanzia di adesività e di forte potere collante tra le parti, che comunque dovranno essere preventivamente preparate prima dell'operazione. La resina epossidica caricata per l'operazione di stuccatura dovrà essere compatibile con il legno e quindi avere una elasticità tale da sopportare variazioni dimensionali dovute agli sbalzi termici e modulo elastico analogo a quello del legno.

Iniezioni - Qualora fosse necessaria ai fini del consolidamento l'iniezione di eventuali formulati bisognerà tenere presente che il legno è più permeabile lungo le venature, pertanto si praticheranno nel legno ammalorato fori disposti in modo obliquo o coincidente rispetto alla direzione delle fibre, in ragione della capacità di penetrazione della resina. Si inietterà resina epossidica a basso modulo elastico (massimo 30.000 kg/cm²) aspettando il suo completo assorbimento prima di operazioni successive e cercando di evitare la formazione di bolle d'aria.

Protettivi - I protettivi ammessi dovranno possedere una serie di proprietà analoghe a quanto già visto per i consolidanti e comunque più restrittive in quanto prodotti a vista. Dovranno essere reversibili, non ingiallire, essere compatibili con le caratteristiche fisiche del legno consolidato, quindi presentare una corretta elasticità e modulo elastico, facilità di manutenzione, non degradare sotto l'azione combinata dei raggi UV, degli agenti atmosferici del microclima locale.

Saranno di vario tipo e verranno impiegati in base alla tipologia, esposizione ed esercizio del manufatto da proteggere. Saranno da evitare applicazioni di forti spessori di prodotto. Si potranno impiegare vernici a base di resine naturali (vernici a spirito o lacche all'alcool), vernici alla copale (soluzioni della resina in essenza di trementina, eventualmente addizionate con piccole quantità di olio essiccato), vernici a base di resine sintetiche monocomponenti (le cosiddette flatting a base di oleo-resine) che possono essere trasparenti o pigmentate (queste ultime risultano più resistenti). Si potranno utilizzare in alternativa prodotti impregnanti non pellicolanti. Gli impregnanti sono normalmente a base di oli o resine in solvente miscelati con adatti biocidi, sono applicabili a pennello, a rullo o per immersione, hanno un'ottima resistenza e penetrazione, consentono inoltre una facile manutenzione.

Ancora si potranno impiegare, in special modo su superfici piuttosto degradate e non esposte agli agenti atmosferici, materiali naturali quali olio di lino o cere naturali (normalmente cera d'api in soluzione al 40% in toluene).

5.10.4 Trattamento di disinfestazione del legno

La difesa del legno da microrganismi e insetti di varia natura che lo attaccano alterandolo, richiederà interventi a vari livelli: l'eliminazione delle sostanze alterabili contenute nel legno, ovvero la difesa dello stesso con insetticidi che oltre a precludere la vita a microrganismi, funghi e insetti possono anche impedire, se oleosi, l'assorbimento non voluto di acqua dall'ambiente. All'eliminazione delle sostanze alterabili si può pervenire con il metodo della vaporizzazione, all'antissepsi con diversi procedimenti e prodotti.

I trattamenti antisettici del legname e le sostanze adatte ad una corretta disinfestazione dovranno in linea di massima, seguire in tutto o in parte (ma senza pregiudicare il risultato finale), le seguenti fasi:

- il biocida dovrà colpire direttamente le larve e le crisalidi in modo da ucciderle;
- tutte le zone con superfici esposte dovranno essere trattate con insetticida e con biocidi fluidi ad alta penetrazione per creare una zona impregnata di veleno, attraverso la quale dovrà passare l'insetto xilofago per uscire in superficie;
- il trattamento superficiale dovrà lasciare uno strato di insetticida sulla superficie e in tutte le fessure del legno; gli insetti dannosi provenienti da altre zone saranno eliminati entrando in contatto con la zona trattata, le uova depositate in superficie si atrofizzeranno e/o saranno distrutte, mentre le larve che stanno nascendo moriranno prima di penetrare nel legno;
- tutti i legni che hanno subito un attacco in profondità deteriorando l'essenza dovranno essere sottoposti un intervento di consolidamento in conformità a quanto precedentemente esposto. L'intervento di disinfestazione dovrà essere tale da eliminare gli agenti biologici negativi esistenti e prevenire eventuali infestazioni future.

Per i trattamenti curativi sarà necessario scegliere il periodo di maggiore attività dell'insetto e quello in cui si trova più vicino alla superficie, cioè il tempo che precede la ninfa e il periodo di sfarfallamento: primavera e/o inizio estate.

Il preservante andrà applicato a spruzzo o a pennello, ripetendo il trattamento 2-3 volte consecutive per permettere all'insetto di penetrare nel legno il più profondamente possibile. Sarà bene evitare l'uso di prodotti in soluzione acquosa in quanto la capacità di penetrazione dipende dall'umidità del legno.

Qualora si prevedesse l'impiego di tali insetticidi (presentando il vantaggio di essere inodori) sarà indispensabile bagnare abbondantemente il legno con acqua prima di ogni applicazione.

Gli insetticidi sciolti in solvente organico saranno da preferirsi in quanto possiedono una maggiore capacità di penetrazione nel legno secco e attraverso un processo di diffusione capillare sanno distribuirsi nei tessuti legnosi, diffusamente e profondamente. Sarà necessario porre la massima attenzione ad eventuali effetti negativi causati dall'odore penetrante e sgradevole che alcune volte questi insetticidi emanano.

Gli insetticidi consentiti dovranno essere sperimentati con successo dal Centro Nazionale del Legno di Firenze, soddisfare a criteri di atossicità, stabilità alla luce e ai raggi UV nonché non produrre alterazioni cromatiche.

I prodotti utilizzabili per l'operazione di disinfestazione potranno essere:

Disinfestazione del capricorno delle case e dall'*hesperophanes cineres* - Sarà consentito l'uso di curativi solubili in acqua solo in particolari condizioni; questi saranno a base di soluzioni di miscele, di fluoruro di sodio dinitrofenolo e bicromati, poliborati di sodio.

In linea di massima potranno essere utilizzati prodotti a base di naftalina clorurata, pentaclorofenolo, tetraclorofenolo, paradichlorobenzolo, esaclorocicloesano, ossido tributilico di stagno.

Funghi - Il trattamento antimicotico prevederà l'uso di prodotti particolarmente efficaci anche contro gli insetti; si tratterà in generale di prodotti a base di fluoruri, composti di cromo ed arsenico, pentaclorofenolo ecc. Poiché è raro che un fungo abbia capacità di sviluppo con umidità inferiore al 22% e comunque valori di umidità del 12-14% escludono in modo assoluto qualsiasi pericolo, bisognerà, in ogni caso, che l'intervento complessivo sulla fabbrica garantisca che le strutture lignee in nessun momento successivo possano riassumere valori di umidità tali da permettere attacchi. Dopo aver effettuato l'intervento che garantisce l'eliminazione e/o la prevenzione da un anormale livello di umidità, il legno infestato potrà essere eliminato ovvero bruciato, le fessure nella muratura penetrate dal fungo dovranno essere trattate col calore di adatto strumento; le precedenti operazioni andranno eseguite con la massima accuratezza e delicatezza e dovranno comunque essere evitati danni ai manufatti e/o materiali adiacenti. Potrebbe risultare necessario effettuare un intervento radicale mediante iniezioni di biocida sia nel legno sia negli intonaci circostanti.

A tal proposito saranno usati iniettori del tipo già descritto per le impregnazioni con resina. In generale le sostanze antisettiche preferibili in quanto ad alto potere biocida e comunque non troppo evidenti dopo l'applicazione saranno:

- derivati dal catrame, quali il creosoto (olio di catrame), il carbolineum (olio pesante di catrame clorurato), lo xilamon (naftalina clorurata), emulsioni di creosoto in soluzioni alcaline o addizionate a composti ammoniacali di rame o zinco, i fenoli (dinitrofenolo, dinitrocresolo, penta e tetraclorofenolo, paradichlorobenzolo);
- composti degli alogeni, fluoruro di sodio e di potassio, fluorosilicato di magnesio e di zinco ecc. I composti di fluoro saranno particolarmente adatti nella lotta contro i funghi; — derivati del boro (borace, tetraborato di sodio).

Potrebbe comunque essere utile l'uso di appropriate miscele dei predetti per ottenere un miglioramento complessivo delle proprietà biocida.

Saranno preferite miscele a base di composti di fluoro ovvero miscele di dinitrofenolo con fluoruro di sodio (proporzione 11:89) con aggiunta o meno di arsenico; miscele di fluoruri con sali arsenicati di sodio; miscele di arsenati e bicromati; naftolo in soluzione alcolica.

L'efficacia del procedimento di disinfestazione sarà comunque condizionata dalla sua accuratezza e soprattutto dalla reale estensione di tutta la superficie: i punti delicati saranno le sezioni di testa, le giunzioni, gli appoggi e in genere là dove la superficie è stata alterata per incastri, tratti di sega, buchi per chiodi; sarà indispensabile porre la massima attenzione affinché il trattamento coinvolga completamente i precedenti punti. In questi casi sarà comunque necessario agire nel seguente modo: si inserirà tra due superfici di contatto oppure sulle sezioni di testa una pasta al 50% da sale biocida (per esempio utilizzando una miscela composta da fluoruri e sali arsenicati di sodio) e 50% d'acqua (il fabbisogno sarà kg 0,75 di pasta per metro quadro di superficie) e si ripasseranno infine tutte le connessioni e/o sezioni di testa con la medesima soluzione salina.

L'operazione dovrà essere seguita dopo 2 anni da un intervento a spruzzo con gli stessi sali, intervento che andrà ripetuto dopo 5 anni dal primo.

5.10.5 Trattamento di ignifugazione

Per la difesa del legno dal fuoco sarà necessario porre in essere un procedimento di applicazione di adatta sostanza o miscela che sappia comunque garantire l'efficacia. Le sostanze applicate potranno esplicare la loro azione di difesa dal fuoco in uno dei seguenti modi:

- trattando il legno con sostanze che ad alta temperatura formano uno strato protettivo non rigido (borati, fosfati, acetati ecc.) ovvero poroso e schiumoso (sostanze organiche quali colla, amido, amminoresine ecc.);
- creando con l'alta temperatura attorno al legno un'atmosfera inibitrice della combustione, applicando preventivamente sali svolgenti col calore gas inerti (biossido di carbonio, gas ammoniacali, azoto, ecc.) che vietano l'accesso dell'ossigeno verso il legno;
- trattando il legno con sostanze saline che per effetto dell'alta temperatura fondono, creando così uno strato vetroso a protezione del legno stesso e comunque con la funzione di opporre uno scudo all'ossigeno;
- causando nel legno, mediante appositi trattamenti, delle modificazioni nei costituenti delle pareti cellulari atte ad impedire la combustione.

Sarà necessario che le sostanze ignifuganti non svolgano in caso di incendio gas venefici per l'uomo, che assolutamente non corrodano eventuali parti metalliche e abbiano contemporaneamente una buona efficacia biocida.

I prodotti utilizzabili per una corretta ignifugazione potranno essere a base di silicati di sodio o di potassio miscelati a talco (80:20), caolino (80:20), da applicarsi a pennello in 3 spalmature, fosfato biammonico, fosfato biammonico e acido borico, fosfato monoammonico, fosfato monoammonico e borace, solfato di ammonio, solfato di ammonio e fosfato biammonico, carbonato di potassio, acetato di sodio, cloruro di calcio e di magnesio, cloruro di magnesio e fosfato biammonico, acido borico e borace.

Per diminuire la fluidità dei preparati, depositando quindi quantità di sostanza ignifuga, e aumentare l'efficacia del trattamento sarà necessario aggiungere ai formulati precedenti e/o miscele dei predetti, per esempio alginato di sodio e/o metilcellulosa, borato di zinco, carbonato basico di piombo e olio di lino crudo con essenza di trementina e olio essiccativo.

in legno per compensare il dislivello causato dall'eliminazione del gradino (cfr. tav. RS3 particolari P1, P2).

Gli interventi di ignifugazione interesseranno altresì la struttura principale e quella secondaria della copertura del tetto nonché l'intradosso del relativo tavolato di legno da 3 cm delle ali e del corpo centrale.

5.11 Consolidamento e conservazione di strutture e manufatti in metallo

5.11.1 Opere di conservazione e protezione di manufatti metallici

Manufatti in ferro

Nel caso di manufatti metallici ossidati si dovranno effettuare operazioni atte ad eliminare completamente ogni residuo di ruggine. Una efficace protezione anticorrosiva dovrà comprendere tutte le seguenti operazioni, e comunque solo dietro indicazioni della D.L. potrà essere variata in qualche fase:

- preparazione ed eventuale condizionamento della superficie;
- impiego dei mezzi e delle tecniche più appropriate di stesura; — scelta dei rivestimenti protettivi più idonei e loro controllo.

Dovranno essere trattate secondo le seguenti indicazioni tutte le roste e le finestre gelosie in ghisa presenti:

- *al piano terreno su tutte le facciate esterne*
- *al piano superiore su tutte le facciate esterne*

Le roste in ferro con decorazione in ghisa variano nelle dimensioni tra un massimo di larghezza pari a cm 220 ed un minimo pari a cm 190, hanno forma semicircolare e nella parte inferiore, sulle testate, presentano una decorazione con fregio a foglie e fiori. Sono costituite da un telaio perimetrale in ferro piatto di larghezza pari a cm 4 e spessore circa cm 1,5; il campo semicircolare interno è ripartito in una parte interna a griglia, circondato da una decorazione ad ellissi con fascette. Gli elementi che costituiscono la decorazione dei campi semicircolari hanno dimensioni circa cm 2 x 2.

In particolare le roste andranno cautamente rimosse prima dell'intervento di restauro e quindi ricollocate nella posizione originaria prevista nel progetto ottocentesco e modificata in alcuni casi per l'inserimento degli avvolgibili che andranno preventivamente rimossi (cfr. tavv. RS3, RS4, RS5, RS6).

Le finestre gelosie sono presenti su tutte le facciate dell'edificio e variano nella larghezza da cm 100 a cm 110, mentre l'altezza rimane costante ed è pari a cm 200 circa. Come più volte specificato sarà cura e onere dell'Impresa esecutrice verificare le dimensioni riportate sugli elaborati. Le finestre gelosie, di forma rettangolare con centina, sono costituite da un telaio perimetrale e da un telaio crociato in ghisa; il telaio è dotato di una sagoma interna atta a ricevere le palette in vetro.

Dove la finestra non è più presente o nei casi in cui si presenta fortemente degradata e pertanto non è più utilizzabile, si prevede la sostituzione con una nuova finestra in ferro di forma e dimensioni congruenti con quelle esistenti. Sulla testata nord è prevista la realizzazione di una finestra gelosia apribile verso l'interno (cfr. tav. RS 5 particolari P14,15, 16, 17, 18, tav. RS6) Per le finestre gelosie dove è prevista la sostituzione di tutti i vetri si rimanda al capitolo specifico.

Preparazione: la superficie metallica che riceverà il film di pittura protettiva dovrà essere stata resa idonea ad offrire le massime possibilità di ancoraggio. Occorrerà pertanto ripulire la superficie da tutto ciò che è estraneo alla sua natura metallica, in quanto sia gli ossidi sia i sali e la ruggine pregiudicano ogni efficace sistema protettivo. I metodi ammessi per la preparazione delle superfici d'acciaio su cui andrà applicato il rivestimento protettivo sono i seguenti: pulizia manuale, pulizia meccanica, sabbiatura. Per l'eliminazione di sostanze estranee e dannose come olio, grasso, sudiciume ed altre contaminazioni della superficie dell'acciaio si potrà fare uso di solventi, emulsioni e composti detergenti. La pulizia con solventi andrà effettuata prima dell'applicazione delle pitture protettive ed eventualmente insieme ad altri sistemi di preparazione delle superfici dell'acciaio.

Si potrà procedere ad una **pulizia manuale**; gli utensili necessari per la pulizia manuale saranno costituiti da spazzole metalliche, raschietti, scalpelli, martelli per la picchiatura, tela smeriglio e carta vetrata, oppure utensili speciali sagomati in modo da poter penetrare negli interstizi da pulire. A lavoro ultimato, la superficie dovrà essere spazzolata, spolverata e soffiata con aria compressa per togliere tutti i depositi di materiale staccato, quindi sgrassata. L'applicazione della pittura di fondo dovrà avvenire nel più breve tempo possibile con pitture di fondo con buone caratteristiche di bagnabilità, come quelle il cui veicolo sia olio di lino puro.

Se si rendesse necessario potrà essere effettuata una **pulizia meccanica**, tuttavia sarà necessario porre la massima cautela per evitare di interessare zone non volute di metallo

Se richiesto dalla D.L., la pulizia dei manufatti potrà altresì essere effettuata tramite **sabbiatura**; gli abrasivi utilizzabili nelle operazioni di sabbiatura saranno a base di sabbia silicea, pallini e granuli macinati di ghisa o acciaio. Le sabbie dovranno essere esenti da argilla e da polvere. Il materiale abrasivo dovrà essere sufficientemente duro per compiere la desiderata azione di pulizia e tenace per resistere alle sollecitazioni di rottura.

Mezzi e tecniche di applicazione dei rivestimenti protettivi

Successivamente alla pulitura i manufatti metallici dovranno essere trattati con una ripresa di antiruggine a base di olestenolici ai fosfati di zinco e verniciati con smalto speciale di tipo ferromicaeo (Ferrodecor, linea Ferro Sikkens o similari).

Un ciclo di pitturazione dovrà essere costituito da:

- uno strato di fondo con funzione di antiruggine e per il saldo ancoraggio sia alla superficie da rivestire sia agli strati successivi;
- uno o più strati di copertura o finitura con funzione protettiva nei confronti delle azioni esterne in relazione alle condizioni di esercizio.

Poiché ogni rivestimento è comunque permeabile all'aria e agli eventuali aggressivi chimici in ragione inversa al suo spessore, sarà necessario garantire lo spessore minimo per il ciclo utilizzato. Il primo strato protettivo sarà un fondo di antiruggine che dovrà soddisfare alle seguenti caratteristiche generali: adesione, bagnabilità, potere antiruggine, durabilità, ricopribilità con strati intermedi o di finitura di natura diversa. Poiché il fondo antiruggine è la base sulla quale verranno applicati i successivi strati di pittura, bisognerà seguire una particolare attenzione nella fase di applicazione, in quanto fondi scadenti o inadeguati non possono che dare risultati negativi anche con finiture di buona qualità.

Sarà comunque necessario tenere conto dei seguenti fattori: tempo di essiccazione del fondo, resistenza agli agenti esterni. È inoltre molto importante che i fondi di antiruggine siano scelti in funzione al tipo di pulizia alla quale è stata assoggettata la superficie e in ogni caso lo strato di fondo dovrà essere applicato nella stessa giornata nella quale viene effettuata la preparazione della superficie.

5.12 Pavimenti , rivestimenti e zoccolini

5.12.1 Pavimenti interni

Sarà onere dell'appaltatore provvedere alla spianatura, levigatura, pulizia e completa esecuzione di tutte le fasi di posa in opera delle superfici da trattare.

Le pavimentazioni dovranno addentrarsi per 15 mm. entro l'intonaco delle pareti che sarà tirato verticalmente fino al pavimento stesso, evitando ogni raccordo o guscio.

L'orizzontalità delle superfici dovrà essere particolarmente curata evitando ondulazioni superiori all'uno per mille.

Il piano destinato alla posa dei pavimenti sarà spianato mediante un sottofondo costituito, salvo altre prescrizioni, da un massetto di calcestruzzo di spessore non inferiore ai 4 cm. con stagionatura (minimo una settimana) e giunti idonei. Deve essere, inoltre, impedita dall'appaltatore la praticabilità dei pavimenti appena posati (per un periodo di 10 giorni per quelli posti in opera su malta e non meno di 72 ore per quelli incollati con adesivi), gli eventuali danneggiamenti per il mancato rispetto delle attenzioni richieste saranno prontamente riparati a cura e spese dell'appaltatore.

Dovrà essere particolarmente curata la realizzazione di giunti, sia nel massetto di sottofondo che sulle superfici pavimentate, che saranno predisposti secondo le indicazioni delle case costruttrici o del direttore dei lavori.

Pavimentazione interne in gres

Tutte le pavimentazioni in gres , saranno da posarsi sul sottofondo tramite apposito adesivo in polvere a base cementizia, applicato con spatola dentata ed addizionato con malta a base di resine sintetiche ed idrofobanti per la formazione e sigillatura delle fughe.

Le pavimentazioni in gres rosso 7.5x15cm sono previste nel locale quadro elettrico al piano terra e nel locale centrale termica al piano primo.

Le pavimentazioni in gres fine porcellanato 15x15cm sp.11mm superficie antisdrucchiolo sono previste al piano terra comprendendo i bassi fabbricati nei cortili ma con esclusione delle botteghe esterne

Pavimento a pastina di quarzo sferoidale ealizzato in ragione di kg./mq. 25,00 di quarzo eseguito a massetto fresco su fresco con calcestruzzo Rck 250/425 spessore 1 cm. su soletta in cemento armato con frattazzatura e lisciatura meccanica e manuale finale, la creazione di giunti superficiali e compresa ogni altra fornitura o onere per dare l'opera finita a perfetta regola d'arte, eseguito in presenza di binari .

La pavimentazione al quarzo sarà da eseguirsi su tutte le superfici del piano interrato con la sola esclusione delle botteghe esterne.

Pavimentazione interne con lastre in pietra di Luserna

Nell'esecuzione di pavimentazioni interne si provvederà alla posa con malta cementizia con dosaggio non inferiore a 400 Kg.

Piano interrato

- *pavimento in pietra di Luserna con quadrotte 40x40cm sp cm. 3 nei corridoi di collegamento tra spogliatoi collettivi e scale ,comprensivo di zoccolino in pietra di Luserna h cm 10 sp 2 cm,*

Piano interrato Cortile ovest

- *pedate ed alzate sp 3 cm , zoccolino sulle pareti sp 3 cm, nella rampa con gradini dallo spogliatoio femminile alla scala di accesso al cortile e sul corridoio*
- *pedate e pianerottoli sp 3cm fissate alla struttura metallica nella scala di accesso al cortile :.. La posa delle pedate sulla struttura in ferro delle scale dovrà prevedere un cuscino di appoggio in gomma ed adeguato fissaggio meccanico della lastra stessa*

Piano interrato ala ovest

- *pedae pianerottoli e alzate sp 3cm fissate alla struttura metallica, zoccolino sulle pareti e sul corridoi sp.cm3 nella rampa di tre gradini,*

Piano interrato Ala centrale

- *pedate, pianerottoli e alzate sp 3cm nei due nuclei scala costituiti da due rampe per accesso al piano terra,*

Piano interrato cortile est

- *pedate e pianerottoli sp 3cm fissate alla struttura metallica nelle scala con tre rampe per l' accesso al cortile ,*

Piano interrato ala est

- *pedate e pianerottoli sp 3cm fissate alla struttura metallica come sopra indicato nella rampa a tre gradini per l' accesso all'esterno :*
- *pedate pianerottoli ed alzate sp 3 cm , zoccolino sulle pareti sp 3 cm, nella rampa con gradini dallo spogliatoio maschile alla scala di accesso al cortile e sul corridoio*

5.12.2 Nuovi rivestimenti interni e zoccolini

Le pareti e superfici interessate dovranno essere accuratamente pulite prima delle operazioni di posa che, salvo diverse prescrizioni, verranno iniziate dal basso verso l'alto.

Gli elementi del rivestimento, gli spigoli ed i contorni di qualunque tipo dovranno risultare perfettamente allineati, livellati e senza incrinature; i giunti saranno stuccati con materiali idonei e, a lavoro finito, si procederà alla lavatura e pulizia di tutte le parti.

La posa a giunto unito sarà eseguita con giunti di 1/2 mm. che verranno stuccati dopo 24 ore dalla posa e prima delle operazioni di pulizia e stesa della malta di cemento liquida a finitura.

I Rivestimenti e gli zoccolini in gres saranno posti in opera con collanti idonei , suggellatura dei giunti in cemento bianco o colorato e pulizia finale.

Opere previste

- *zoccolini in gres ross nella centrale termica centrale termica al piano primo e nel corrispondente locae di disimpegno.*
- *rivestimenti in gres porcellanato ad altezza di mt 2,1 al piano interrato (corridoi, servzi igienici ,scale accesso piano terra) ed al piano terra (servizi igienici), il primo corso del rivestimento sarà realizzato con elementi convessi per la formazione di sguscio(da posare prima della realizzazione del pavimento in pastina di quarzo sferoidale),*
- *zoccolini in gres porcellanato fine in tutti i locali al piano interrato ove non si prevedono rivestimenti in gres alle pareti e con esclusione del cunicolo tecnico di aerazione da realizzarsi con elementi convessi per la formazione di sguscio(da posare prima della realizzazione del pavimento in pastina di quarzo sferoidale).*

5.12.3 Nuovi rivestimenti esterni

La posa in opera dei rivestimenti di qualsiasi tipo o genere dovrà venire eseguita in modo che la superficie risulti perfettamente piana ed osservando scrupolosamente le disposizioni che, di volta in volta, saranno impartite dalla D.L. I singoli elementi dovranno combaciare esattamente tra di loro, dovranno risultare perfettamente fissati al sottostrato e non dovrà verificarsi nelle connessioni dei diversi elementi a contatto la benché minima ineguaglianza.

I rivestimenti dovranno essere consegnati diligentemente finiti, lavorati e senza macchie di sorta. L'Appaltatore ha l'obbligo di presentare alla D.L. i campioni dei rivestimenti prescritti; in ogni caso sarà necessaria l'accettazione da parte della D.L. prima della loro posa.

Opere in pietra

Le opere in pietre naturali dovranno in generale corrispondere esattamente alle forme e dimensioni risultanti dai disegni di progetto ed essere lavorate a seconda delle prescrizioni generali del presente Capitolato o di quelle particolari impartite dalla D.L. all'atto dell'esecuzione, tutta la Pietra di Luserna da impiegarsi si intende fiammata co smusso sulle coste salvo diversamente disposto dalla D.L.

Tutti i materiali dovranno avere le caratteristiche esteriori (grana, coloritura e venatura) corrispondenti a quelle essenziali della specie prescelta.

Prima di iniziare i lavori, qualora non si sia provveduto in merito avanti all'appalto da parte dell'Amministrazione appaltante, l'Appaltante dovrà preparare a sue spese i campioni delle varie pietre e delle loro lavorazioni, e sottoporli all'approvazione della D.L., alla quale spetterà in maniera esclusiva di giudicare se essi corrispondono alle prescrizioni. Detti campioni, debitamente contrassegnati, resteranno depositati negli Uffici della Direzione, quali termini di confronto e di riferimento.

Per quanto ha riferimento con le dimensioni di ogni opera nelle sue parti componenti, la D.L. ha la facoltà di prescrivere le misure dei vari elementi di un'opera qualsiasi (rivestimento, copertina, cornice, pavimento, colonna ecc.), la formazione e disposizione dei vari conci e lo spessore delle lastre come pure di precisare gli spartiti, la posizione dei giunti, la suddivisione dei pezzi, l'andamento della venatura ecc.

Per tutte le opere infine è fatto obbligo all'Appaltatore di rilevare e controllare a propria cura e spese la corrispondenza delle varie opere ordinate dalla D.L. alle strutture rustiche esistenti, e di segnalare a quest'ultima ogni divergenza od ostacolo, restando esso Appaltatore in ogni caso unico responsabile della perfetta rispondenza dei pezzi all'atto della posa in opera. Esso avrà pure l'obbligo di apportare alle stesse, in corso di lavoro, tutte quelle modifiche che potessero essere richieste dalla D.L.

La pietra da taglio da impiegare nelle costruzioni dovrà presentare la forma e le dimensioni di progetto, ed essere lavorata, secondo le prescrizioni che verranno impartite dalla Direzione Lavori all'atto dell'esecuzione.

Non saranno tollerate né lacune agli spigoli né cavità nelle facce o stuccature in mastice o rattoppi. La pietra da taglio che presentasse tali difetti verrà rifiutata e l'Appaltatore sarà in obbligo di sostituirla immediatamente anche se le scheggiature o ammanchi si verificassero dopo il momento della posa in opera, e ciò fino al collaudo. In ogni caso non saranno ammesse lavorazioni a "piano sega" lasciate a vista.

Gradini, soglie, copertine in pietra e zoccolature

Tutta la pietra da posare, come indicato sugli elaborati di progetto, dovrà essere di Luserna a spacco o fiammata sulla faccia a vista, con spigolo smussato e arrotondato come da disegno (cfr. tavv. RS5-RS6), su tutto il perimetro della faccia a vista, compresi i risvolti, gli aggetti, ecc...

La pietra di Luserna relativa alla zoccolatura, di spessori differenti variabili tra cm 10 in corrispondenza delle lesene e cm 6 lungo il perimetro dell'edificio, sarà posata con malta di calce e sostenuta da graffe in acciaio inox. E' prevista la posa dello zoccolo anche in corrispondenza degli sfondati d'arco nei due cortili, est ed ovest, sempre dello spessore di cm 6 (cfr. tav. RS 6).

Una copertina in pietra di Luserna dello spessore di cm 6 è prevista per la protezione del parapetto del terrazzo della testata nord, arrotondata sui due lati, che sarà posata su sottofondo di malta di calce, con idonea pendenza (cfr. tav. RS6).

Le soglie, sempre in pietra di Luserna fiammata, dello spessore di cm 6, dovranno avere le coste rifilate e arrotondate, come indicato negli elaborati di progetto (cfr. tav. RS5).

E' previsto il posizionamento di lastre in pietra di Luserna (spessore cm 6) nell'alzata dei gradini di ingresso alle botteghe, ai lati della griglia di aerazione della bocca di lupo (cfr. RS5, particolare).

Sui pilastri del muro di cinta del fronte nord saranno ricollocate le cimase esistenti restaurate, se ancora in buono stato di conservazione, mentre saranno riproposte le altre – mancanti o non recuperabili, come riportato sulla tav. RS6.

- *al piano terreno: su tutti i fronti (gradini, soglie e zoccolature)*
- *al piano terreno: sul fronte nord (cimase in pietra)*
- *al piano primo: sul parapetto del terrazzo (copertina)*
- *al piano primo : pavimentazione del terrazzo con lastre sp 3 cm,*
- *al piano terra nei cortili : soglia sp. cm.6 a bordare i diversi vani scala,*
- *al piano terra : masselli a formare i gradini sulle testate dell'edificio con le cordonature dei marciapiedi ad essi raccordati,,*
- *al piano terra : pavimentazione con lastre dim 60x60 cm. sp 8cm nei cortili e nei pianerottoli sulle testate dell'edificio con relativi marciapiedi.*

Le pavimentazioni esterne andranno cosparse d'acqua per almeno 10 giorni dall'ultimazione e poi si procederà alle rifiniture di ultimazione (chiusura delle fessure, etc.).

5.12.4 Opere in pietra, interventi di conservazione

I lavori di restauro di elementi lapidei dovranno essere eseguiti con le metodologie ed i materiali prescritti nel presente Capitolato ed attenendosi alle Note sui Trattamenti Conservativi dei Manufatti Lapedei elaborate dal Laboratorio Prove sui Materiali ICR Roma 1977.

L'Appaltatore, accertato mediante le prescritte analisi lo stato di conservazione del manufatto, dovrà variare le modalità d'intervento in relazione al tipo di degrado.

Se il materiale lapideo dovesse presentare superfici microfessurate e a scaglie, queste ultime, prima dell'esecuzione della pulizia, dovranno essere fissate con i prescritti adesivi. L'Appaltatore, inoltre, dovrà eseguire le velature facendo aderire la carta giapponese alle scaglie mediante resine reversibili diluite in tri-cloro-etano.

Infine, consoliderà l'intera struttura dell'elemento lapideo iniettando le stesse resine meno diluite.

Se il materiale lapideo dovesse presentare superfici fessurate in profondità e ricoperte da ampie scaglie, l'Appaltatore dovrà fissare le parti instabili con adeguati sistemi di ancoraggio (vincoli meccanici di facile montaggio e rimozione, strutture lignee ecc.).

Quindi, completate le lavorazioni, si dovrà consolidare l'elemento lapideo con i sistemi ed i materiali prescritti e provvedere alla rimozione delle strutture di protezione. In caso di grave e profondo ammaloramento il materiale sarà sostituito con nuove lastre lavorate alla fiamma.

Si prevede di intervenire su tutte le paraste in pietra delle testate nord, nord-est e nord-ovest. Le paraste, rastremate, hanno dimensioni medie cm 75 di larghezza per un'altezza di circa m. 3,90 e presentano un discreto stato di conservazione con tracce di graffi e colla.

Dopo l'eventuale intervento di preconsolidamento si procederà alla cauta pulitura manuale con acqua e detergenti non schiumogeni opportunamente testati, all'integrazione delle mancanze e delle fratturazioni e/o fessurazioni con calce idraulica addizionata, resina, sabbia e polvere di marmo di colore e tonalità idonea, l'impregnazione protettiva con consolidante a base di silicato di etile fino a saturazione.

Sulle lastre della zoccolatura basamentale rimaste in sito (non rimosse) si procederà alla pulitura mediante idrosabbatura con sabbia silicea e protezione finale.

5.13 Intonaci e decorazioni, interventi di conservazione

5.13.1 Intonaci.

Gli intonaci in genere dovranno essere eseguiti in stagione opportuna.

Gli intonaci, di qualunque specie siano (lisci, a superficie rustica, a bugne, per cornici e quanto altro), non dovranno mai presentare peli, crepature irregolarità negli allineamenti e negli spigoli, o altri difetti.

Quelli comunque difettosi o che non presentassero la necessaria aderenza alle murature dovranno essere demoliti e rifatti dall'Appaltatore a sue spese.

Tutti i rinzaffi e gli intonaci sulle murature di nuova realizzazione dovranno essere eseguiti con calce idraulica spenta.

La calce da usarsi negli intonaci dovrà essere estinta da almeno tre mesi per evitare scoppiettii, sfioriture e screpolature, verificandosi le quali sarà a carico dell'Appaltatore fare tutte le riparazioni occorrenti.

Ad opera finita l'intonaco dovrà avere uno spessore non inferiore a mm 15.

Gli spigoli sporgenti o rientranti verranno eseguiti ad angolo vivo oppure con opportuno arrotondamento a seconda degli ordini che in proposito darà la Direzione Lavori.

Nei casi di rifacimento di intonaci su murature preesistenti, la realizzazione dovrà avvenire dopo aver rimossa dai giunti delle murature la malta aderente, ripulita ed abbondantemente bagnata la superficie della parete stessa.

Particolarmente per ciascun tipo di intonaco si prescrive quanto appresso.

Intonaco grezzo o arricciatura - Predisposte le fasce verticali, sotto regola di guida, in numero sufficiente verrà applicato alle murature un primo strato di malta comune detto rinzaffo, gettato con forza in modo che possa penetrare nei giunti e riempirli. Dopo che questo strato sarà alquanto asciutto, si applicherà su di esso un secondo strato della medesima malta che si stenderà con la cazzuola o col frattazzo, stuccando ogni fessura e togliendo ogni asprezza, sicché le pareti riescano, per quanto possibile, regolari.

Intonaco comune o civile - Appena l'intonaco grezzo avrà preso consistenza, si stenderà su di esso un terzo strato di malta fina, che si conguaglierà con le fasce di guida per modo che l'intera superficie risulti piana ed uniforme, senza ondeggiamenti e disposta a perfetto piano verticale o secondo le superfici degli intradossi.

Intonaco a stucco - Sull'intonaco grezzo sarà sovrapposto uno strato alto almeno mm 4 di malta per stucchi, che verrà spianata con piccolo regolo e governata con la cazzuola così da avere pareti perfettamente piane nelle quali non sarà tollerata la benché minima imperfezione. Ove lo stucco debba colorarsi, nella malta verranno stemperati i colori prescelti dalla D.L.

Rabbocature - Le rabbocature che occorressero su muri vecchi o comunque non eseguiti con faccia vista in malta o sui muri a secco saranno formate con malta di calce.

Prima dell'applicazione della malta, le connessioni saranno diligentemente ripulite, fino a conveniente profondità, lavate con acqua abbondante e quindi riscagliate e profilate con apposito ferro.

5.13.2 Elementi decorativi in rilievo

Sulle facciate esterne, saranno formati i cornicioni, le lesene, gli archi, le fasce, gli aggetti, le riquadrature, i bassifondi, le gocce ecc., in conformità dei particolari che saranno forniti dalla D.L., nonché fatte le decorazioni, anche policrome, che pure saranno indicate, sia con colore a tinta sia a graffito.

L'ossatura dei cornicioni, delle cornici e delle fasce sarà formata, sempre in costruzione, con più ordini di mattoni e di tavelle e con l'inserimento di lastre di pietra negli aggetti oppure anche in conglomerato semplice o armato, secondo lo sporto e l'altezza che le conviene.

Per i cornicioni di grande sporto saranno adottati i materiali speciali che prescriverà la D.L., oppure sarà provveduto alla formazione di apposite lastre in cemento armato con o senza mensole. Tutti i cornicioni saranno contrappesati opportunamente e, ove occorra, ancorati alle murature inferiori.

Per le pilastrate o mostre di porte e finestre, quando non sia diversamente disposto dalla D.L., l'ossatura dovrà sempre essere eseguita contemporaneamente alla costruzione.

Predisposti i pezzi dell'ossatura nelle stabilite proporzioni mediante l'uso di mattoni sagomati (es. per le gocce) e/o sfettate in opera con grande accortezza in modo da presentare l'insieme del proposto profilo, si riveste tale ossatura con un grosso strato di malta, e si aggiusta alla meglio con la cazzuola. Prosciugato questo primo strato si abbozza la cornice con un calibro o sagoma di legno, appositamente preparato, ove sia tagliato il controllo della cornice, che si farà scorrere sulla bozza con la guida di un regolo di legno. L'abbozzo, come avanti predisposto, sarà poi rivestito con apposita malta di stucco da tirarsi e lisciarsi convenientemente.

Quando nella costruzione delle murature non siano state predisposte le ossature per lesene, cornici, fasce, ecc., e queste debbano quindi applicarsi completamente in aggetto, o quando siano troppo limitate rispetto alla decorazione, o quando infine possa temersi che la parte di rifinitura delle decorazioni, per eccessiva sporgenza o per deficiente aderenza all'ossatura predisposta, col tempo possa staccarsi, si curerà di ottenere maggiore e più solido collegamento della decorazione sporgente alle pareti o alle ossature mediante infissione in esse di adatti chiodi in acciaio inox, collegati fra loro con filo in acciaio inox del diametro di mm 1, attorcigliato ad essi e formante maglia di cm 10 circa di lato.

Le decorazioni delle porte e delle finestre e quelle parti ornate dalle cornici, davanzi, pannelli, ecc. verranno eseguite in conformità dei particolari architettonici forniti dalla D.L.

Gli elementi decorativi (non eccessivamente sporgenti) saranno fatti in posto, con ossatura di cotto, la quale verrà poscia, con malta (utilizzando i materiali prescritti dalla D.L.) tirata in sagome e lisciata.

Per le decorazioni in genere, l'Appaltatore è tenuto ad approntare il relativo modello in gesso al naturale, a richiesta della D.L.

E' previsto un intervento di restauro su tutte le decorazioni in rilievo delle facciate esterne. Ove la decorazione e in particolare parti dei cornicioni fossero repute, dopo un'attenta analisi, instabili o incongruenti, su ordine della D.L. si procederà alla rimozione delle parti degradate e al rifacimento delle stesse con le modalità sopraindicate seguendo in modo scrupoloso le modalità costruttive dei manufatti adiacenti, adattando le stesse tipologie di armatura di sostegno in mattoni, tavelle e lastre di pietra (per cui si rimanda al capitolo specifico) e in particolare ove ritenuto necessario dalla D.L., facendo uso di armature e/o microbarre per l'ancoraggio e comunque previe campionature da sottoporre alla D.L. (cfr. tavv. RS4, RS5, RS 6).

Le tipologie di cornici presenti nell'edificio si possono sintetizzare nella suddivisione tra cornici inferiori – semplici e complesse – e cornici superiori – semplici e complesse.

Le cornici inferiori semplici sono presenti sui fronti sud-ovest, sud, sud-est, nord-ovest, nord-A, est, nord-B, ovest, nord-est e sono composte da architrave, listello, fregio liscio, gola, fascia e corona con gocciolatoio – realizzata in pietra e laterizi - per un'altezza totale di cm 100 circa e un aggetto massimo di circa cm 50. Le cornici inferiori complesse si compongono di architrave, regola con gocce, listello, fregio con triglifi – alcuni mancanti da riproporre -, mutuli e coronamento per un'altezza totale di cm 100 circa e un aggetto massimo di circa cm 50 e sono presenti sulle testate nord, nord-est e nord-ovest.

Le cornici superiori semplici, sui fronti sud-ovest, sud, sud-est, nord-ovest, nord-A, est, nord, nordB, ovest, nord-est e sono composte da una sottocornice con fascia gola e listello e da una sopracornice formata da corona con gocciolatoio – realizzata in pietra e laterizi - e sima a gola per un'altezza totale di cm 50 circa e un aggetto massimo di circa cm 50. Sui fronti sud-ovest, sud e sud-est, nord la cornice è interrotta dai capitelli delle paraste.

Le cornici superiori complesse si differenziano dalle semplici per la presenza, sotto la corona con gocciolatoio, delle gocce e sono presenti sulle testate nord-est e nord-ovest e sui padiglioni dei fronti sud-est e sud-ovest e sul timpano.

Sarà cura e onere dell'Impresa esecutrice verificare le dimensioni riportate sugli elaborati.

5.13.3 Interventi di conservazione

Gli interventi di conservazione sugli intonaci e sulle decorazioni saranno sempre finalizzati alla massima tutela della loro integrità fisico-materica.

L'Appaltatore dovrà pertanto, evitare demolizioni, rimozioni e dismissioni tranne quando espressamente ordinato dalla D.L. e solo ed esclusivamente sugli intonaci che risultino irreversibilmente alterati e degradati, evidenziando eccessiva perdita di legante, inconsistenza, evidenti fenomeni di sfarinamento e distacco.

Prima di effettuare qualsiasi intervento su volte o pareti interne ed esterne intonacate, si dovrà procedere ad analisi stratigrafiche sugli intonaci da effettuarsi da parte di personale qualificato, al fine di individuare la presenza di decorazioni al di sotto degli strati superficiali. Solo in seguito all'accertamento dell'assenza di decorazioni o di intonaci antichi di pregio, in accordo con la D.L., potranno essere effettuati interventi di asportazione di porzioni di intonaco o di muratura.

Le operazioni di intervento andranno pertanto effettuate salvaguardando il manufatto e distinguendo in modo chiaro le parti eventualmente ricostruite.

I materiali da utilizzarsi per l'intervento di conservazione dovranno essere accettate dalla D.L., possedere accertate caratteristiche di compatibilità fisica, chimica e meccanica con l'intonaco esistente ed il suo supporto.

Le modalità più idonee per la conservazione ed il consolidamento degli intonaci verranno concordati in corso d'opera, di volta in volta, con la D.L. e gli Organi di Tutela.

5.13.4 Conservazione di intonaci distaccati mediante iniezioni a base di miscele idrauliche

Questi interventi consentono di ripristinare la condizione di adesività fra intonaco e supporto, sia esso la muratura o un altro strato di rivestimento, mediante l'applicazione o l'iniezione di una miscela adesiva che presenti le stesse caratteristiche dell'intonaco esistente e cioè:

- a) forza meccanica superiore, ma in modo non eccessivo, a quella della malta esistente; b) porosità simile;
- c) ottima presa idraulica;
- d) minimo contenuto possibile di sali solubili potenzialmente dannosi per i materiali circostanti;
- e) buona plasticità e lavorabilità;
- f) basso ritiro per permettere il riempimento anche di fessure di diversi millimetri di larghezza. Il distacco può presentare buone condizioni di accessibilità (parti esfoliate, zone marginali di una lacuna), oppure può manifestarsi senza soluzioni di continuità sulla superficie dell'intonaco, con rigonfiamenti percettibili al tocco o strumentalmente.

Nel primo caso la soluzione adesiva può essere applicata a pennello direttamente sulle parti staccate, ravvicinandole al supporto. Nel caso in cui la zona non sia direttamente accessibile, dopo aver ispezionato le superfici ed individuate le zone interessate da distacchi, l'Appaltatore dovrà eseguire delle perforazioni con attrezzi ad esclusiva rotazione limitando l'intervento alle parti distaccate.

Egli altresì, iniziando la lavorazione a partire dalla quota più elevata, dovrà:

- aspirare mediante una pipetta in gomma i detriti della perforazione e le polveri depositatesi all'interno dell'intonaco;
- iniettare con adatta siringa una miscela acqua/alcool all'interno dell'intonaco al fine di pulire la zona distaccata ed umidificare la muratura;
- applicare all'interno del foro un batuffolo di cotone;
- iniettare, attraverso il batuffolo di cotone, una soluzione a base di adesivo acrilico in emulsione (primer) avendo cura di evitare il reflusso verso l'esterno;
- attendere che l'emulsione acrilica abbia fatto presa;
- iniettare, dopo aver asportato il batuffolo di cotone, la malta idraulica prescritta operando una leggera, ma prolungata pressione sulle parti distaccate ed evitando il percolamento della miscela all'esterno.

Qualora la presenza di alcuni detriti dovesse ostacolare la ricollocazione nella sua posizione originaria del vecchio intonaco, oppure impedire l'ingresso della miscela, l'Appaltatore dovrà rimuovere l'ostruzione con iniezioni d'acqua a leggera pressione oppure attraverso gli attrezzi meccanici consigliati dalla D.L.

Per distacchi di lieve entità, fra strato e strato, con soluzioni di continuità dell'ordine di mm 0,5, non è possibile iniettare miscele idrauliche, per cui si può ricorrere a microiniezioni a base di sola resina, per esempio un'emulsione acrilica, una resina epossidica o dei silani. Per distacchi estesi si potrà utilizzare una miscela composta da una calce idraulica, un aggregato idraulico, un adesivo fluido, ed eventualmente un fluidificante. L'idraulicità della calce permette al preparato di far presa anche in ambiente umido; l'idraulicità dell'aggregato conferma le proprietà e conferisce maggiore resistenza alla malta; l'adesivo impedisce in parte la perdita di acqua appena la miscela viene a contatto con muratura e intonaco esistente; il fluidificante eleva la lavorabilità dell'impasto.

Come legante si usano calce idrauliche naturali bianche, con additivo collante tipo resina acrilica; gli aggregati consigliati sono la pozzolana superventilata e lavata (per eliminare eventuali sali) e il cocchiopesto, con gluconato di sodio come fluidificante.

5.13.5 Conservazione di intonaci e decorazioni distaccati mediante microbarre di armatura

Previa accurata ispezione di intonaci e decorazioni in modo da individuare con precisione tutte le parti in fase di distacco, l'Appaltatore avrà l'obbligo di mettere in sicurezza tramite puntellature e/o altri accorgimenti le zone che potrebbero accusare notevoli danni a causa delle sollecitazioni prodotte dai lavori di conservazione.

Quindi dovrà:

- praticare delle perforazioni aventi il diametro e la profondità prescritti dagli elaborati di progetto o ordinati dalla D.L.;
- aspirare mediante una pipetta in gomma i detriti della perforazione e le polveri depositatesi;
- iniettare con adatta siringa una miscela acqua/alcool all'interno dell'intonaco al fine di pulire la zona distaccata ed umidificare la muratura;
- applicare all'interno del foro un batuffolo di cotone;
- provvedere alla sigillatura delle zone in cui si siano manifestate, durante la precedente iniezione, perdite di liquido;
- iniettare, se richiesto, attraverso il batuffolo di cotone, una soluzione a base di adesivo acrilico in emulsione (primer);

- iniettare, dopo aver asportato il batuffolo di cotone, una parte della miscela idraulica in modo da riempire circa il 50% del volume del foro;
- collocare la barra di armatura precedentemente tagliata a misura (vetroresine, PVC);
- iniettare la rimanente parte di miscela idraulica evitando il percolamento della miscela all'esterno.

5.13.6 Conservazione di decorazioni a stucco

Prima di procedere a qualsiasi intervento di conservazione sarà indispensabile effettuare una complessiva verifica preliminare dello stato materico, statico e patologico dei manufatti (indagine visiva, chimica e petrografica). Il quadro patologico andrà restituito tramite specifica mappatura in grado di identificare soluzioni di continuità presenti, distacchi, fessurazioni, lesioni, deformazioni, croste superficiali.

Si procederà successivamente con cicli di pulitura consolidamento e protezione. Saranno da evitare operazioni di integrazione, sostituzione e rifacimento di tutte le porzioni mancanti o totalmente compromesse finalizzate alla completa restituzione dell'aspetto cosiddetto "originale". Eventuali integrazioni saranno funzionali alla conservazione del manufatto ed alla eventuale complessiva leggibilità.

Pulitura - Andrà eseguita utilizzando spazzole morbide, gomme, bisturi, aspiratori di polveri, acqua distillata e spugne. In alcuni casi potrà essere impiegata la pulitura di tipo fisico per mezzo di sistemi laser. Eventuali depositi carboniosi, efflorescenze saline, croste scure andranno eliminate con impacchi a base di carbonato di ammonio e idrossido di bario.

Consolidamento - Crepe e fessurazioni andranno riprese secondo l'entità (estensione e profondità). Si potranno impiegare impasti a base di leganti idraulici e di inerti selezionati di resine acriliche, resine epossidiche bicomponenti, malte tradizionali in grassello di calce. Distacchi e sacche tra crosta e malta o tra malta e supporto verranno consolidati tramite iniezioni sottocorticali impiegando malte antiritiro a base di leganti idraulici e inerti selezionati. In alternativa si potranno utilizzare consolidanti chimici o ricorrere all'ancoraggio "strutturale" utilizzando barrette in PVC, vetroresina, ottone filettato o ancorando l'armatura del pezzo a sistemi di gancio-tirante. Eventuali forme distaccate rilevate in situ potranno essere posizionate previo loro consolidamento da eseguirsi per iniezione o per impacco. Potranno essere impiegate resine acriliche caricate con silice micronizzata, malte antiritiro da iniezione composte da leganti idraulici e inerti selezionati, resine epossidiche bicomponenti, malte epossidiche bicomponenti. Il riancoraggio potrà essere garantito mediante l'utilizzo di microbarre in PVC, titanio, acciaio di diametri vari (4-6-8 mm), piuttosto che ancorette in ottone filettato fissate con resine. Per il miglior aggancio si sceglieranno spine di innesto di forma e numero diversificato.

Protezione - La protezione finale degli stucchi potrà effettuarsi tramite applicazione di prodotti diversificati in base al tipo di degrado generale ed all'esposizione. Per manufatti ben conservati e non direttamente esposti ad agenti atmosferici, si potranno applicare scialbi all'acquarello o pigmenti in polvere (eventualmente utili a ridurre l'interferenza visiva nel caso di manufatti monocromi, policromi o dorati), cere microcristalline. Per stucchi non ben conservati e non esposti a forte umidità si potranno applicare resine acriliche in soluzione; idrorepellenti silossanici per manufatti esposti e facilmente aggredibili da acque meteoriche ed umidità: in questi ultimi due casi, prima della protezione finale si potranno effettuare scialbature con pigmenti in polvere.

5.13.7 Stuccature e trattamento delle lacune

Gli impasti utilizzabili per le stuccature dovranno essere simili ai preparati da iniettare nelle zone distaccate, con alcune accortezze: scegliere aggregati che non contrastino eccessivamente, per colore, granulometria, con l'aspetto della malta esistente; rendere spalmabile l'impasto a spatola diminuendo la quantità di acqua o aggiungendo della silice micronizzata; evitare di usare malte di sola calce e sabbia, che possono dar luogo ad aloni biancastri di carbonato di calcio sulle parti limitrofe.

Fra i preparati più diffusi si potrà utilizzare un impasto di grassello di calce e di polvere di marmo o di cocchiopesto, addittivati con resine. Se le fessure sono profonde si procede al riempimento dapprima con uno stucco idraulico (formato da grassello di calce con aggregati grossolani di cocchiopesto o pozzolana), per rifinire poi la parte superficiale con un impasto più fine.

Per lesioni strutturali si potranno utilizzare anche miscele a base di malte epossidiche, che hanno però un modulo elastico molto alto e presentano scarsa resistenza all'azione dei raggi ultravioletti, per cui non è consigliabile la loro applicazione in superficie, ma soltanto in stuccature profonde, o come adesivi strutturali.

Per le zone di una facciata dove siano presenti delle lacune si potrà intervenire secondo due metodologie conservative secondo le indicazioni della D.L.: una tesa alla ricostituzione dell'omogeneità e della continuità della superficie intonacata e l'altra mirata invece a mantenere intatte anche dal punto di vista percettivo le disomogeneità dell'elemento.

Nel primo caso l'intervento consisterà nell'applicazione di un impasto compatibile con il materiale esistente in modo da ricostituire non tanto un'omogeneità estetica della facciata, quanto una continuità prestazionale del rivestimento.

Per sottolineare la discontinuità dei materiali si applicheranno i rappezzi in leggero sottosquadro, in modo da differenziarli ulteriormente e da renderli immediatamente leggibili come *novità*. Nel secondo caso sarà la muratura scoperta ad essere trattata in modo da recuperare il grado di protezione di cui è stata privata dalla caduta del rivestimento: procedendo contemporaneamente alla sigillatura dei bordi delle zone intonacate, così da evitare infiltrazioni d'acqua o la formazione di depositi polverosi.

Nelle malte da impiegare nella realizzazione di rappezi è fondamentale la compatibilità dei componenti, soprattutto per quanto riguarda il comportamento rispetto alle variazioni di temperatura e di umidità atmosferiche e la permeabilità all'acqua e al vapore.

Si potranno pertanto impiegare malte a base di grassello di calce addittivato con polveri di marmo o altro aggregato carbonatico, eventualmente mescolato a polvere di cocchiopesto, avendo cura di eliminare la frazione polverulenta. A questi impasti possono essere mescolati composti idraulici o resine acriliche, per favorire l'adesività ed evitare un ritiro troppo pronunciato e la comparsa di fessurazioni.

5.13.8 Trattamento conservativo di pareti intonacate con malte a base di calce

Una volta eseguite tutte le operazioni di diagnosi preventiva (analisi chimico-fisiche, al microscopio ottico per campioni significativi, indagini termovisive, stratigrafiche) volte ad acquisire piena conoscenza dello stato materico-patologico degli intonaci, del loro grado di ancoraggio al supporto, della tipologia di finitura, determinate le cause di degrado diretto e/o indiretto (in special modo individuando e quantificando la presenza di umidità ascendente, discendente e da condensa), restituite graficamente le mappature delle fenomenologie riscontrate ed individuate, verificata la possibilità di effettiva conservazione dei manufatti, si potrà procedere all'intervento che prevede operazioni di pulitura, consolidamento e protezione. *Pulitura*

Verrà calibrata rispetto al grado di conservazione del paramento, degli agenti patogeni che andranno selettivamente eliminati e del tipo di finitura pittorica presente.

Andrà effettuata un'accurata pulitura con stracci, scopinetti e spazzole di nailon, di saggina, di setole naturali al fine di togliere tracce di sporco e residui facilmente asportabili anche di precedenti pitturazioni in fase di distacco (specialmente se di tipo acrilico). Nel caso fossero presenti depositi di microrganismi si dovrà procedere irrorando la superficie con adatti biocidi (benzalconio cloruro all'1% o ipoclorito di litio all'1-2%). Potrà seguire un'eventuale pulitura di tipo meccanico a carattere puntuale utilizzando piccoli attrezzi (spatole, scalpelli, vibroincisori) onde eliminare stuccature incoerenti, depositi consistenti, pellicole incoerenti di intonaco in fase di distacco. Una successiva pulitura generalizzata impiegando microaerabrasivo a bassa pressione. L'abrasivo utilizzato sarà di norma costituito da microsferi di vetro di mm 0,04 o, in alternativa, da ossido di alluminio di 150/180/200 mesh, durezza scala Mohs=9. La pressione del getto, che utilizzerà aria compressa disidratata (filtraggio attraverso essiccatore contenente cloruro di sodio o gel di silice), dovrà essere finemente regolabile e potrà variare in esercizio tra 0,5 e 3 atm. Il diametro dell'ugello potrà variare da mm 3 a 5. In ogni caso il tipo di abrasivo, il diametro dell'ugello e la pressione d'esercizio saranno determinati dalla D.L. effettuando preventivamente piccoli campionature di prova. Per la rimozione di macchie e depositi più consistenti si potrà ricorrere all'utilizzo di impacchi con polpa di cellulosa, sepiolite, carbonato d'ammonio ed acqua distillata (i tempi applicativi si stabiliranno effettuando ridotte campionature).

Consolidamento

In base allo stato di conservazione dei rivestimenti si potrà optare per un intervento di consolidamento corticale.

Si opererà un trattamento tramite applicazione ad airless di estere etilico dell'acido silicico da eseguirsi solo ed esclusivamente su superfici perfettamente asciutte. La quantità di prodotto da impiegarsi è solitamente stimabile in 300/400 g al metro quadro. Si renderanno necessari piccoli test da eseguirsi su superfici campione per stimare la quantità esatta di prodotto da utilizzarsi.

Potrebbero rendersi necessarie anche stuccature puntuali o bordature da effettuarsi con un primo arriccio in malta di calce lafarge esente da sali solubili, polvere di marmo e sabbia vagliata (rapporto legante inerte 1:2). L'arriccio sarà da effettuarsi utilizzando piccole spatole ed evitando con cura di intaccare le superfici non interessate (sia con la malta sia con le spatole). La stuccatura di finitura si effettuerà con grassello di calce e sabbia Ticino eventualmente addittivati con sabbie di granulometrie superiori, cocchiopesto, polveri marmo (rapporto leganti e inerti 1:3).

Protezione

Operazione necessaria nel caso di intonaci molto porosi o paramenti esposti a nord. Ad almeno 20 giorni dai precedenti trattamenti consolidanti, su superficie perfettamente asciutta, si potrà procedere all'applicazione a spruzzo di prodotto idrorepellente a base siliconica, privo di effetto perlante, eventualmente addittivato con adeguato algicida. Saranno da utilizzarsi prodotti a base silanica e siliconica da applicarsi nella quantità media di circa 500 g al metro quadro. L'applicazione sarà da effettuarsi in giornate non piovose, con temperatura esterna dai 15 ai 25 °C, su superficie fredda e non assolata. I prodotti dovranno essere applicati abbondantemente due o tre volte sino a rifiuto; la pressione di spruzzo (0,5-0,7 bar) e il diametro dell'ugello devono essere scelti in modo che non si abbia nebulizzazione dell'agente impregnante.

Nel caso in cui si volesse applicare una leggera mano di colore all'intero paramento, prima del trattamento finale con idrorepellente, si potrà eseguire una tinteggiatura con velature di tinta a calce. La tinta da impiegarsi andrà selezionata in base alle cromie esistenti con le quali andrà ad integrarsi; dovrà essere esente da leganti resinosi acrilici o vinilici. La coloritura dovrà essere realizzata tramite utilizzo di vaglio di grassello di calce e terre naturali (terre e grassello subiranno un doppio vaglio con setacci di diverse dimensioni). Per dare maggiore luminosità e trasparenza alla tinta, ottenuta con una maggiore diluizione, si effettuerà una prima stesura di bianco di calce.

L'intervento è previsto su tutte le facciate esterne dell'edificio.

Il restauro degli intonaci e delle decorazioni a rilievo esterni sarà effettuato sulle pareti mediante una attenta rimozione degli strati di pittura instabili e non congruenti e il consolidamento dell'intonaco esistente mediante l'applicazioni di

silicati e degli eventuali distacchi dell'intonaco sottostante con iniezioni di grassello di calce, resina, oppure, dove questo non è possibile, mediante la rimozione dell'intonaco non congruente o irrecuperabile e l'applicazione di nuovo intonaco di malta di calce idrata, di composizione, colore e granulometria congruente con gli intonaci originari; si procederà infine alla velatura finale di tutte le superfici. Su tutta la parte perimetrale basamentale, interessato da umidità di risalita, per una altezza media di m. 2 si prevede la rimozione dell'intonaco ammalorato e la realizzazione di un nuovo intonaco deumidificante con finitura analoga alle parti originali, spesso bugnate e quindi richiedenti una lavorazione più complessa (cfr. tav. RS5, RS6), conseguente velatura e protezione finale di tutte le superfici.

Particolare cura dovrà essere posta nel restauro e nell'esecuzione degli intonaci con finitura a bugnato, che presenta caratteristiche differenti nella scansione: nella parte inferiore il modulo del bugnato ha un'altezza di cm 23 mentre nella parte superiore la scansione è pari a cm 30. Ogni modulo è composto da una fascia con finitura regolare di cm 20, due fasce di cm 1,2 circa, con finitura più liscia, leggermente incassate rispetto alla superficie dell'intonaco, separate da una gola larga circa mm 6 e profonda mm3. Intorno alla parte semicircolare delle aperture del piano superiore il numero di scansioni poste a raggiera è pari a 9 ed il concio di chiave è in rilievo; al piano inferiore le scansioni sono 15.

Questa lavorazione dovrà essere riproposta anche nelle parti di integrazione dell'intonaco oltre che nella fascia basamentale dell'edificio dove sarà eseguito l'intonaco deumidificante (cfr. tav. RS6, particolare P33).

All'interno dell'edificio è prevista la totale rimozione degli intonaci mediante attenta spicconatura, reintegrazione delle murature degradate (vedi capitolo specifico), pulitura mediante lavaggio delle superfici, analisi dei sali e loro eliminazione, stesura di nuovo intonaco con malta a base di calce idraulica tipo Albaria. Si prevede un rinzafo sulla muratura risanata su tutte le superfici interne mentre è prevista una finitura superficiale simile a quella degli intonaci antichi esistenti ove non sarà, per motivi igienici, realizzato un rivestimento.

Su tutte le facciate esterne:

- nuovo intonaco deumidificante nella parte basamentale per un'altezza media di m. 2

All'interno:

- al piano terreno: nuovo intonaco a base di calce su tutte le superfici (pareti e volte) delle ali, del corpo centrale e delle botteghe esterne; finitura a calce per le parti delle ali e del corpo centrale non rivestite.
- al piano interrato: nuovo intonaco a base di calce su tutte le superfici (pareti e volte) delle ali, del corpo centrale e delle botteghe esterne

(cfr. tav. RS3, RS 4, RS5, RS 6)

5.13.9 Dipinti murali

Si effettueranno interventi sempre e solo dopo preventive indagini diagnostiche da effettuarsi sui cromatismi esistenti, sui loro supporti e su tutto il quadro patologico dietro precise indicazioni ed autorizzazioni della D.L. e degli organi preposti alla tutela del bene in oggetto.

Per il restauro in situ di dipinti murali, l'Appaltatore dovrà fare ricorso esclusivamente a tecnici specializzati e, salvo diverse prescrizioni, avrà cura di:

- rimuovere con ogni cautela secondo gli accorgimenti riportati nel presente Capitolato, tutti quegli elementi che, ad insindacabile giudizio della D.L., risultino estranei, e/o possano arrecare danno o degrado all'opera oggetto di intervento. In ogni caso egli non dovrà mai asportare lo strato di colore avendo cura di conservare sia la patina sia la vernice antica;
- su superfici decorate a tempera, nel caso di presenza diffusa di aloni di umidità, efflorescenze saline, depositi carboniosi, si dovrà operare un intervento di pulitura molto leggero in modo da non intaccare minimamente i cromatismi esistenti. Si potranno utilizzare metodi di pulitura a secco tramite impiego di aspiratori a bassa pressione, pennelli a setole morbide, mollica di pane. Eventuale utilizzo di tampone inumidito con acqua deionizzata per asportazione di aloni non eliminabili con i precedenti metodi; questa operazione avverrà non prima di aver effettuato piccoli provini per valutare la consistenza della tinta. In ogni caso su cromatismi, pitturazioni e decorazioni esistenti non saranno ammesse integrazioni di sorta, se non su espressa richiesta della D.L.;
- prima di procedere al consolidamento dei distacchi, si dovrà procedere al fissaggio preventivo delle scaglie di colore mediante soluzione di caseinato di amonio al 2,5% (con caseina pura filtrata), in acqua deionizzata, nebulizzata sulle superfici interessate dal fenomeno. Su malte dorate o su pitture fortemente esfoliate, l'aspersione con resine acriliche in soluzione, ancora le parti decoese al supporto proteggendole da lavaggi e spazzolature, uniformando la superficie in vista del successivo intervento totale di riadesione al supporto;
- consolidare le parti distaccate con le tecniche prescritte al fine di eliminare i difetti di adesione tra i vari strati;
- procedere alla integrazione delle grandi lacune con campi neutri e delle piccole lacune con puntinato, rigatino o quant'altro di gradimento della D.L. e di competenti Uffici di Tutela.

Se dovranno essere impiegati adesivi a base di resine sintetiche in emulsione o in soluzione, le cui caratteristiche saranno quelle richieste dai capitoli relativi ai singoli materiali ed alle loro specifiche tecniche di consolidamento, saranno comunque esclusivamente di tipo reversibile e diluiti con acqua o con il prescritto solvente in base al rapporto di diluizione richiesto dalla D.L.

Qualora gli adesivi si dovessero additivare o caricare con sostanze inerti, esse dovranno essere di tipo esclusivamente inorganico (carbonato di calcio, sabbia lavata fine ed altri materiali simili esenti da sali e da impurità).

Qualora la superficie da consolidare sia fortemente gessificata si può operare un intervento su base chimica, già descritto fra i metodi particolari di pulitura, somministrando carbonato di ammonio e, successivamente, idrossido di bario (soluzioni acquose concentrate in impacchi di pasta di legno su carta giapponese).

Le malte di calce e sabbia da usare per iniezioni consolidanti, dovranno essere additate, se prescritto, con additivi sintetici o minerali ad azione leggermente espansiva.

In ogni caso adesivi, additivi, dosi e metodologie saranno prescritti dalla D.L. in base alle analisi preliminari da effettuarsi sui materiali come prescritto alle singole voci del presente Capitolato. L'Appaltatore, a lavori conclusi, sarà tenuto a proteggere le superfici oggetto dell'intervento.

Si prevede un eventuale intervento di recupero sugli intonaci pigmentati e/o recanti scritte o insegne relative alla attività storica del mercato, qualora in seguito ai saggi stratigrafici ne emergessero lacerti o tracce.

5.14 Tecniche di eliminazione dell'umidità.

5.14.1 Generalità

Il problema andrà affrontato primariamente in maniera indiretta, acquisendo conoscenza. La prima vera fase di intervento non sarà pertanto sulla materia da risanare, ma sul suo ambiente all'intorno, sulle cause indirette che possono aver provocato il fenomeno (acque non raccolte, falde freatiche, rotture di canali, isolamenti non idonei ecc.). Solo in seconda battuta si potrà intervenire direttamente sul manufatto, sulle sue caratteristiche fisico-chimiche, sulla sua effettiva consistenza materica e sul suo stato di degrado.

Solo dopo aver ottenuto le opportune risposte si potranno adottare adeguate tecniche di intervento, eliminando in prima istanza le cause innescanti il degrado.

Andrà quindi effettuata una serie di valutazioni preliminari utili ad identificare i probabili fenomeni in atto al contorno del manufatto interessato dal degrado da umidità. Un'indagine di primo livello si dovrà preoccupare di reperire informazioni sulla morfologia del territorio, sull'altezza della falda freatica, sulla presenza di acque sotterranee, di canali interrati, di acque disperse e non raccolte. Successivamente si dovranno indagare le cause dirette analizzando lo stato di conservazione del manufatto oggetto di intervento, degli impianti di adduzione e di scarico delle acque per uso domestico, degli impianti di riscaldamento e di ventilazione, di raccolta ed allontanamento delle acque meteoriche (canali, pluviali, pozzetti).

Una volta identificate con certezza le cause generanti le fenomenologie di degrado, si potrà intervenire affrontando il problema per successivi livelli di intervento. In prima istanza intercettando ed eliminando il fattore di alimentazione a monte. Secondariamente intervenendo direttamente sull'edificio e sul suo intorno, optando per operazioni tra le più semplici e meno invasive, cercando di deumidificare tramite sistemi aeranti quali intercapedini, vespai, sistemi di raccolta e di deflusso, impianti di climatizzazione e riscaldamento (spesso inesistenti o insufficienti), aumentando le superfici esposte, proteggendole al contempo tramite opportuni interventi idrofobizzanti.

Solo se tali operazioni preventive risultassero assolutamente insufficienti si potrà ricorrere ad interventi murati, direttamente sul manufatto, adottando sistemi oggi suddivisi in quattro grandi famiglie:

- meccanici = taglio dei muri;
- aeranti = sifoni, malte traspiranti;
- elettrofisici = per conduzione elettrica;
- chimici = per occlusione dei capillari o per loro inversione.

Ognuna delle famiglie è composta da vari elementi, anche molto diversi tra loro, con aspetti positivi e/o negativi, con varie e a volte complesse modalità applicative. Le stesse singole famiglie non sono comunque in grado di dare soluzioni definitive, in special modo se si pensa che ognuna possa, in ogni caso applicativo, prevalere sull'altra.

Ogni sistema adottato o adottabile possiede almeno un punto debole, pertanto sarà sempre opportuno vagliare accuratamente le possibilità e le caratteristiche offerte dai mezzi in commercio raffrontandoli con l'edificio, con le particolarità e le peculiarità di ogni singolo manufatto. Nella maggior parte dei casi bisognerà intervenire con diverse modalità, in grado di garantire (ognuna nel suo campo specifico, rapportata e congiunta ad un progetto generale di intervento in parallelo con altri interventi) la soluzione ottimale nei confronti di quel ricco e complesso quadro patologico innescato dalle acque, di qualsiasi natura esse siano.

5.14.2 Utilizzo di intonaci macroporosi

Fino ad ora sono stati descritti metodi di eliminazione dell'umidità ottenuti tramite sbarramenti, deviazioni e convogliamenti delle acque utili ad eliminare fenomeni in atto di una certa consistenza e gravità.

Una metodologia volta al prosciugamento delle murature umide, che spesso viene applicata quale soluzione definitiva al problema, è quella che utilizza intonaci ad elevata porosità in grado di aumentare la velocità di evaporazione dell'acqua.

Di fatto tali tipi di intonaci applicati inopinatamente non saranno mai in grado di assicurare alcun tipo di deumidificazione, mentre garantiscono un buon prosciugamento dei residui di acqua (specialmente nella stagione calda e secca) una volta bloccata la fonte principale di adescamento. Saranno sempre e comunque da utilizzarsi con molta

attenzione, avendo l'accortezza di analizzarne le componenti fisico-chimiche per non incorrere nel rischio di porre in opera intonaci esclusivamente idrorepellenti, che assolutamente non risolvono il problema, ma non fanno altro che spostarlo o mascherarlo. Inoltre, se applicati all'esterno, non possono impedire l'ingresso dell'acqua piovana nel muro; andranno pertanto trattati superficialmente con sostanze idrorepellenti (ma traspiranti - silani), o con intonachini di finitura sempre additivati con idrorepellenti, che in ogni caso ne diminuiscono le prestazioni.

Gli intonaci macroporosi sono in genere costituiti da malte di sabbia e cemento, cui si aggiunge una schiuma contenente prodotti porogeni ottenuta con una macchina soffiatrice. La schiuma ha lo scopo di aumentare il volume dei vuoti nell'intonaco, e quindi la superficie di evaporazione del muro. È da tenere presente che l'intonaco è formulato in modo da eliminare lo spostamento della massa umida dalla superficie del muro verso l'interno (effetto idrorepellente). Prima di dare l'intonaco a schiuma, che può certamente aumentare l'evaporazione, ma anche invertirne il processo se l'umidità relativa dell'atmosfera è maggiore della tensione di vapor d'acqua della muratura, è opportuno stendere un primo strato di intonaco, cui si è addittivato un impermeabilizzante. Tale intonaco ha lo scopo di trasformare in vapore l'acqua pervenuta ad esso per via capillare: l'acqua, infatti, tenderà di raggiungere l'atmosfera per diffusione, non potendo trasmigrare per via capillare. Proprio alla composizione di questo primo strato di intonaco bisognerà porre molta attenzione, in particolar modo al tipo di prodotto impermeabilizzante che fungerà da additivo.

5.14.3 Utilizzo di intonaci "deumidificanti"

Generalità

Gli intonaci "deumidificanti" sono essenzialmente intonaci posti in opera con trattamento di fondo a base di primer antisalino e/o idrofobizzante, intonaci realizzati in due strati, intonaci realizzati in uno strato. Gli intonaci possiedono, in genere, buoni valori di permeabilità, abbattuti però drasticamente dall'applicazione dei primer di fondo (applicati a spruzzo con funzione antisale, di idrofobizzazione o addirittura di impermeabilizzazione), o dove prevista l'applicazione di un secondo strato di intonaco sempre trattato con sostanze idrofobe.

Questi materiali possiedono quindi la capacità di non imbibirsi, conservando un buon aspetto per lungo tempo e riuscendo ad espellere l'umidità con percentuali molto basse in lungo periodo per tenori di umidità non elevatissimi. Risultano adatti per situazioni particolari, possedendo inoltre buona resistenza alle sollecitazioni meccaniche dovute all'aggressione salina.

Gli intonaci andranno sempre applicati da personale specializzato in grado di rispettare gli accorgimenti costruttivi indicati per il prodotto, evitando lavorazioni eccessivamente spinte della malta sulla parete di utilizzo, in spessori consistenti ed omogenei.

Le murature interne ed esterne ove sia prescritto l'utilizzo degli intonaci di questo tipo, dovranno essere preventivamente perfettamente stonacate, dovranno poi essere sciacquate con acqua pura a deflusso, abbondantemente e ripetutamente per la rimozione delle concentrazioni o croste saline, epurate da eventuali parti incoerenti o in via di distacco compresi vecchi ripristini a cemento. Il supporto dovrà risultare pulito ed esente da parti in fase di decoesione.

Solo a questo punto potranno essere sottoposte ad un trattamento strutturale ad alta penetrazione, risolutivo delle salinità igroscopiche, specifico per il risanamento di vecchie murature umide.

I materiali utilizzati dovranno in ogni caso possedere la capacità di non imbibirsi, conservando un buon aspetto per lungo tempo e riuscendo ad espellere l'umidità con percentuali molto basse in lungo periodo.

Prima della realizzazione dei nuovi intonaci in parete si dovrà procedere alla raschiatura totale delle vecchie tinte dalle volte nella zona contigua alle pareti, in modo che gli intonaci di nuova realizzazione si possano raccordare perfettamente con quelli delle volte senza che rimangano discontinuità o sovrapposizioni.

E' previsto l'esecuzione di un ciclo di risanamento per le murature interessate da fenomeni di umidità di risalita capillare sulla parte basamentale dei prospetti esterni, ove sia possibile la rimozione degli intonaci ammalorati, per un'altezza media di m. 2 (cfr. tavv. RS 3, RS4, RS5, RS 6).

Il trattamento delle murature umide soggette a risalita capillare dovrà essere eseguito secondo le indicazioni della Direzione Lavori mediante l'applicazione dei prodotti di seguito descritti e secondo le modalità indicate: le murature da trattare dovranno essere stonacate, pulite accuratamente, asportando ogni parte friabile, le malte di allettamento deteriorate, per una profondità di cm 1, lavate con acqua pulita e lasciate per alcuni giorni a vista; in presenza di efflorescenze saline, queste dovranno essere totalmente rimosse mediante lavaggi con acqua deionizzata e, se del caso mediante impacchi assorbenti. Le lacune o mancanze di malta di allettamento dovranno essere ripristinate con malta a base di calce idraulica naturale e inerti adeguatamente selezionati. Dovrà essere applicato con rullo o pennello, ad una o più mani fino a imbibizione del supporto un primer idrofobizzante non catalizzato con funzione di barriera alla migrazione dei sali (tipo Calcis VR della ditta Rankover o similare purché di qualità equivalente e comunque non inferiore); la resa, in funzione della porosità del supporto, potrà variare da 0,3 l/mq a 0,6 l/mq. Successivamente, dopo un intervallo di tempo di un minimo di 4 ore ed un massimo di 12, dovrà essere applicato uno strato di rinzafo, previa bagnatura del supporto, costituito da malta di aggrappo a base di calce idraulica naturale (NHL 2-P ENV 459/1) premiscelata con inerti silico calcarei, espansi minerali e specifici additivi idrofobizzanti, con funzione di filtro antisali, fino a totale ricoprimento del supporto. (tipo Calcis DR della ditta Rankover o similare purché di qualità equivalente e comunque non inferiore) Si dovrà infine procedere alla realizzazione di intonaco di risanamento (non prima che siano trascorsi due giorni

dall'ultimazione dell'applicazione del rinzafo antisale), da applicare con spessori non inferiori a cm 2, a base di leganti calce idraulica naturale (NHL 2-P ENV 459/1), inerti silico calcarei, espansi minerali aeranti, fibre ed additivi idrofobizzanti specifici (tipo Calcis ID della ditta Rankover o similare purché di qualità equivalente e comunque non inferiore).

Particolare cura dovrà essere posta nell'esecuzione degli intonaci con finitura a bugnato, che presenta una scansione pari a cm 23. Ogni modulo è composto da una fascia con finitura regolare di cm 20, due fasce di cm 1,2 circa, con finitura più liscia, leggermente incassate rispetto alla superficie dell'intonaco, separate da una gola larga circa mm 6 e profonda mm3. Il riferimento per la scansione sarà dato dall'intonaco antico ancora in sito.

Facciate esterne: tutte le parti basamentali per un'altezza media di m. 2.

5.14.4 Eliminazione delle efflorescenze saline

Effettuati gli interventi di deumidificazione e di intercettazione dell'umidità da risalita, si presenta quasi sempre l'accentuato fenomeno dell'efflorescenza salina causata dalla migrazione dei sali igroscopici presenti all'interno della muratura (ma non più alimentati) verso la superficie esterna. Buona norma sarà sempre, prima di procedere a qualsiasi trattamento o rivestimento superficiale, concedere un tempo relativamente lungo alle murature per espellere i sali ancora presenti. Tale tempo, difficilmente valutabile, non dovrà essere inferiore ai 4-6 mesi volendo ottenere un minimo di risultato. Nel caso di murature non intonacate, per accelerare il fenomeno ed evitare che i sali si depositino sulla superficie, si potrà procedere all'applicazione di un intonaco rinzafo di assorbimento. Avrà struttura molto debole (300 kg di calce idrata per 1,00 mc di sabbia) per poter essere rimosso con estrema facilità prima dei trattamenti del paramento.

Negli altri casi, prima di procedere alla pulitura, bisognerà occuparsi dell'identificazione delle cause e del tipo di sale presente. Andranno pertanto prelevati campioni di materiale da analizzare in laboratorio o effettuare in situ un esame speditivo superficiale. Si potrà verificare l'aderenza dell'efflorescenza ai mattoni, la solubilità della sostanza in acqua e, in caso negativo, nell'acido cloridrico, la reattività chimica (effervescenza con acido cloridrico), il sapore (se salato o amaro). Queste semplici analisi possono darci indicazioni di massima sulla tipologia di sale presente suggerendo la modalità di intervento.

Il solfato di calcio (quasi sempre presente) determina un'efflorescenza molto aderente, non solubile in acqua, insapore e senza effervescenza al trattamento cloridrico. I solfati di sodio e di potassio danno luogo ad un tipo di efflorescenza polverulenta, con aghi cristallini, ramificata e, se come pellicola, si manifesta a fiori cristallini, è molto solubile in acqua, ha sapore salato. Il solfato di magnesio determina un tipo di efflorescenza simile per aspetto alla precedente, altamente solubile in acqua, ma dal sapore amaro. Il carbonato di calcio determina efflorescenza dal velo leggero, insolubile in acqua e dalla forte effervescenza in presenza di acido cloridrico.

Per il solfato ed il carbonato di calcio si potrà effettuare un lavaggio con soluzione al 10% di acido cloridrico e successivo abbondante lavaggio con acqua deionizzata. Per il carbonato di calcio è di norma sufficiente un'accurata spazzolatura da eseguire a secco. La stessa metodologia è utilizzabile per i solfati alcalini (sodio e potassio) facendo seguire alla spazzolatura abbondante risciacquo con acqua deionizzata.

Si potranno inoltre effettuare trattamenti con prodotti impregnanti o idrorepellenti (resine siliconiche) che tendono a trasformare chimicamente i composti igroscopici in composti stabili. Tali prodotti andranno utilizzati con grande cautela onde non causare ulteriori problemi alle murature quali il costipamento delle porosità (materiale non più traspirante) o la creazione di una pellicola idrofoba superficiale (formazione di bolle, esfoliazioni e distacchi causate dalla spinta dei sali). La conversione dei sali solubili in composti insolubili ha buoni esiti solo con i solfati, con i cloruri genera composti a bassa solubilità; i carbonati possono essere difficilmente convertiti, i nitrati risultano assolutamente refrattari al trattamento.

In casi particolari potranno anche eseguirsi iniezioni di acqua deionizzata all'interno delle murature onde accelerare il processo di migrazione dei sali verso l'esterno. Il processo è però molto lungo e richiede l'impiego di materiali e maestranze speciali.

5.15 Opere in legname

5.15.1 Infissi in legno - Norme generali

Per l'esecuzione dei serramenti o altri lavori in legno l'Appaltatore dovrà servirsi di una ditta specialista e ben accettata dalla D.L. Essi saranno sagomati e muniti degli accessori necessari, secondo i disegni di dettaglio, i campioni e le indicazioni che darà la D.L.

Il *legname* dovrà essere perfettamente lavorato e piallato e risultare, dopo ciò, dello spessore richiesto, intendendosi che le dimensioni dei disegni e gli spessori debbono essere quelli del lavoro ultimato, né saranno tollerate eccezioni a tale riguardo.

I serramenti e gli altri manufatti saranno piallati e raspati con carta vetrata e pomice, in modo da far scomparire qualsiasi sbavatura. È inoltre assolutamente proibito l'uso del mastice per coprire difetti naturali del legno o difetti di costruzione. Le unioni dei *ritti* con traversi saranno eseguite con le migliori Regole dell'Arte: i ritti saranno continui per tutta l'altezza del serramento, ed i traversi collegati a dente e mortisa, con caviglie di legno duro e con biette, a norma delle indicazioni che darà la D.L.

I denti e gli incastri a maschio e femmina dovranno attraversare dall'una all'altra i pezzi in cui verranno calettati, e le linguette avranno comunemente la grossezza di 1/3 del legno e saranno incollate.

Nei serramenti ed altri lavori a specchiatura, i *pannelli* saranno uniti ai telai ed ai traversi intermedi mediante scanalature nei telai e linguette nella specchiatura, con sufficiente riduzione dello spessore per non indebolire soverchiamente il telaio. Fra le estremità della linguetta ed il fondo della scanalatura deve lasciarsi un gioco per consentire i movimenti del legno della specchiatura.

Nelle *fodere* dei serramenti e dei rivestimenti, a superficie liscia o perlinata, le tavole di legno saranno connesse, a richiesta della D.L., o a dente e canale ed incollatura, oppure a canale unite da apposita animella o linguetta di legno duro incollata a tutta lunghezza.

Le battute delle porte senza telaio verranno eseguite a risega, tanto contro la mazzetta quanto fra le imposte.

Le unioni delle parti delle opere in legno e dei serramenti verranno fatte con viti; i chiodi o le punte di Parigi saranno consentiti soltanto quando sia espressamente richiesto dalla D.L.

Tutti gli *accessori*, ferri ed apparecchi a chiusura, di sostegno, di manovra ecc., dovranno essere, prima della loro applicazione, accettati dalla D.L. La loro applicazione ai vari manufatti dovrà venire eseguita a perfetto incastro, in modo da non lasciare alcuna discontinuità, quando sia possibile, mediante bulloni a viti.

Quando trattasi di serramenti da aprire e chiudere, ai telai maestri o ai muri dovranno essere sempre assicurati appositi ganci, catenelle o altro che, mediante opportuni occhielli ai serramenti, ne fissino la posizione quando i serramenti stessi debbono restare aperti. Per ogni serratura di porta o uscio dovranno essere consegnate due chiavi.

A tutti i serramenti ed altre opere in legno, prima del loro collocamento in opera e previa accurata pulitura a raspa e carta vetrata, verrà applicata una prima mano di olio di lino cotto accuratamente spalmato in modo che il legname ne resti ben impregnato. Essi dovranno conservare il loro colore naturale e, quando la prima mano sarà ben essiccata, si procederà alla loro posa in opera e quindi alla loro pulitura con pomice e carta vetrata.

Per i serramenti e le loro parti saranno osservate le prescrizioni di cui al seguente articolo, oltre alle norme che saranno impartite dalla D.L. all'atto pratico.

Resta inoltre stabilito che quando l'ordinazione riguarda la fornitura di più serramenti, appena avuti i particolari per la costruzione di ciascun tipo, l'Appaltatore dovrà allestire il campione di ogni tipo che dovrà essere approvato dalla D.L. e verrà depositato presso di essa. Detti campioni verranno posti in opera per ultimi, quando tutti gli altri serramenti saranno stati presentati ed accettati.

Ciascun manufatto in legno o serramento prima dell'applicazione della prima mano di olio di lino cotto dovrà essere sottoposto all'esame ed all'accettazione provvisoria della D.L., la quale potrà rifiutare tutti quelli che fossero stati verniciati o coloriti senza accettazione.

L'*accettazione* dei serramenti e delle altre opere in legno non è definita se non dopo che siano stati posti in opera, e se, malgrado ciò, i lavori andassero poi soggetti a fenditure e screpolature, incurvamenti e dissesti di qualsiasi specie, prima che l'opera sia definitivamente collaudata, l'Appaltatore sarà obbligato a rimediare, cambiando, a sue spese, i materiali e le opere difettose.

5.15.2 Tipo di serramenti in legno nuovi

I nuovi serramenti in legno esterni previsti nell'intervento in oggetto saranno i seguenti

(vedi tavole architettoniche abaco dei serramenti):

- *L6 : porta ingresso in legno a due ante con specchiature a vetro in rovere nazionale, dello spessore di mm.70 comprese chianbrane, cerniere in bronzo, che consentano l'apertura verso l'interno e verso l'esterno , maniglione antipanico ferramenta, robuste serratura a blocchetto cilindrico tipo yale con tre chiavi, esterna e pomi in bronzo, saliscendi incastrati .*
- *L1-2-3-4-5-7-8-9-10 porta interna tamburata spessore mm. 35, specchiature piene, rivestimento in laminato plastico di spessore mm. 1,5 su rivestimento in compensato di abete spessore mm. 4, complete di robusta ferramenta, serratura adeguata, ottonami e imprimitura ad olio sulle parti di legno in vista con ossatura in abete complete di falso telaio da murare .*

(vedi tavole restauro abaco dei serramenti)

- *porte finestre a due ante con apertura di sicurezza verso l'esterno sulle testate (da Pa1 a Pa5 Testata nord, da P30 a P33 Testata nord-est e da P34 a P37 Testata nord-ovest, P15 Fronte sud) e verso l'interno nelle botteghe (Fronti sud-ovest, sud, sud-est da P1 a P14, da P16 a P28, Testata nord-est P29, Testata nord-ovest P38) con vetrate, in rovere nazionale dello spessore di mm 50, costituite da telaio fisso, telaio mobile, traverse e montanti. Per il serramento del Fronte sud, indicato con la sigla P15 è prevista l'apertura delle due ante verso l'esterno ed in modo indipendente; tra le due ante è previsto un montante con funzione di telaio fisso su cui sono ricavate le necessarie battute per le due porte (cfr. abaco dei serramenti tav. RS3). La dimensione del telaio fisso è diversificata nella tipologia con apertura verso l'esterno e in quella con apertura verso l'interno: nel primo caso il telaio fisso è più largo, pari a cm 21 per consentire la completa apertura dell'anta, vista la presenza all'esterno delle ante dei cancelli richiuse a libro (cfr. tav. RS6, P20); nel secondo caso la larghezza è pari a cm 8 mentre i telai mobili delle ante avranno larghezza pari a cm 10 nella parte bassa e cm 8 per il sopraluce (cfr. tav. RS5, P2); la larghezza totale dei serramenti è variabile tra cm 240 e cm 210 così come l'altezza varia tra cm 225 e cm 250 a seconda delle facciate. Sulla parte bassa delle porte finestre delle testate si prevede, verso l'interno, una lastra di protezione in acciaio inossidabile dello spessore di mm1,5. Sono compresi il trattamento della superficie a due riprese con pigmentazione a scelta della D.L.*

effettuato con vernici a base di olii naturali e materie prime vegetali, con finitura satinata, la fornitura e la posa di vetri antisfondamento formati da cristallo da mm 6 + foglio di polivinibutirrale mm 0,76 + cristallo mm 6 e le serrature. La posa è prevista su controtelaio in legno di abete precedentemente messo in opera (cfr. tavv. RS5, RS6).

- *serramenti semicircolari posizionati dietro le roste (siglati in abaco congiuntamente alle porte sopra citate), con montante centrale e apertura verso l'interno, con vetrate, in rovere nazionale dello spessore di mm 50 (cfr. tav. RS5, P3); la larghezza del serramento è variabile tra cm 240 e cm 210 e l'altezza tra cm 110 e cm 95. La dimensione del telaio fisso è pari a cm 8 così come quella del telaio mobile (cfr. tav. RS5, P2', P3, P12, P13, tav. RS6 P21, P22, P28, P29). E' compreso il trattamento della superficie a due riprese con pigmentazione a scelta della D.L. effettuato con vernici a base di olii naturali e materie prime vegetali, con finitura satinata, completi di vetri antisfondamento formati da cristallo da mm 6 + foglio di polivinibutirrale mm 0,76 + cristallo mm 6 (cfr. tavv. RS5, RS6);*
- *ante di protezione in legno di rovere (da A1 ad A8 Fronte sud-ovest, da A9 ad A20 Fronte sud, da A21 ad A28 Fronte sud-est, A29 Testata nord-est, A30 Testata nord-ovest), dello spessore di cm 4, costituite da due ante richiudibili a libro con telaio e pannelli pieni, sostenute da cerniere montate su telaio in ferro zincato, verniciato, fissato a muro con funzione di battuta (cfr. tav RS5, P4, P5, P6). La larghezza delle ante varia tra cm 185 e cm 200, mentre l'altezza tra cm 235 e cm 250; la parte alta dell'anta fa battuta su di un profilo metallico saldato alla rosta di spessore cm 1, altezza cm 3 e lunghezza pari alla lunghezza della rosta, come descritto nel particolare costruttivo P9 riportato sulla tavola RS5. Sono compresi il trattamento della superficie a due riprese con pigmentazione a scelta della D.L. effettuato con vernici a base di olii naturali e materie prime vegetali e le serrature e quant'altro necessario per assicurare la perfetta chiusura (cfr. tav. RS5, RS6).*

5.15.3 Interventi di conservazione

Tutti i serramenti che a insindacabile giudizio della D.L. andranno completamente recuperati e conservati, andranno rimossi e ricoverati in laboratorio per effettuare tutte quelle idonee operazioni di pulitura, stuccatura, revisione, trattamento, necessarie per garantirne un buon funzionamento ed una buona tenuta migliorandone quindi le caratteristiche prestazionali.

E' previsto un intervento sul portone Pt (cfr. abaco dei serramenti tav. RS3) in legno di rovere e/o noce del fronte sud costituito da telaio e pannelli, largo cm 234 e alto cm 353.

Per adeguare l'infilso alle normative di sicurezza si prevede l'adattamento del portone con la realizzazione di un ulteriore sistema di apertura a due ante (dimensioni cm 102 x cm 225 di altezza) verso l'esterno – l'intero portone continuerà ad aprirsi verso l'interno - con maniglione antipanico. Si interverrà mediante il taglio del telaio, dei pannelli e delle bandelle che collegano il portone ai cardini; l'inserimento di nuove cerniere all'esterno consentirà l'apertura delle due nuove ante. I cardini e le bandelle saranno integrati e/o modificati ove necessario. Nella parte inferiore si prevede l'integrazione del telaio in legno per compensare il dislivello causato dall'eliminazione del gradino (cfr. tav. RS3 particolari P1, P2).

Si procederà quindi alle operazioni di restauro che dovranno comportare: analisi accurata dello stato di conservazione, comprendente la rimozione dei cardini, sverniciatura in dry streep con bisturi, paglietta e raschietti, con uso di metiletilchetone in assenza di sostanze caustiche controllando l'umidità del legno e ristabilizzandola in autoclave sottovuoto, carteggiatura e spazzolatura manuali, consolidamento ligneo, sostituzione di parti danneggiate o mancanti con inserti lignei della stessa essenza, disinfestazione mediante impregnanti e prodotti antixilofagi, muffe e umidità, carteggiatura e stuccatura, controllo della ferramenta originale, stesa di protettivo antiruggine a due riprese di finitura con pigmentazione a scelta della D.L., verniciatura del serramento e/o impregnazione in autoclave sottovuoto. Le vernici saranno a base di olii naturali e materie prime vegetali, con finitura satinata o lucida e/o a cera.

5.16 Opere in ferro, acciaio

5.16.1 Norme generali e particolari

Nei lavori in ferro questo deve essere lavorato diligentemente con maestria, regolarità di forme e precisione di dimensioni, secondo i disegni che fornirà la D.L., con particolare attenzione nelle saldature e boliture. I fori saranno tutti eseguiti con il trapano, le chiodature, ribaditure ecc. dovranno essere perfette, senza sbavature; i tagli dovranno essere rifiniti a lima.

Saranno rigorosamente rifiutati tutti quei pezzi che presentino imperfezione o inizio di imperfezione.

Ogni pezzo od opera completa in ferro dovrà essere rifinita a piè d'opera con due mani di fondo antiruggine.

Per ogni opera in ferro, a richiesta della D.L., l'Appaltatore dovrà presentare il relativo modello, per la preventiva approvazione.

L'Appaltatore sarà in ogni caso obbligato a controllare gli ordinativi ed a rilevare sul posto le misure esatte delle diverse opere in ferro, essendo egli responsabile degli inconvenienti che potessero verificarsi per l'omissione di tale controllo.

In particolare si prescrive:

I manufatti in ferro dovranno costruiti a perfetta Regola d'Arte, secondo i tipi che verranno indicati all'atto esecutivo.

Le ringhiere dovranno presentare tutti i regoli ben dritti, spianati ed in perfetta composizione. I tagli delle connessioni per i ferri incrociati mezzo a mezzo dovranno essere della massima precisione ed esattezza, ed il vuoto di uno dovrà esattamente corrispondere al pieno dell'altro, senza la minima ineguaglianza o discontinuità.

Nei casi in cui sono previsti regoli intrecciati ad occhio essi non presenteranno nei buchi, formati a fuoco, alcuna fessura. In ogni caso l'intreccio dei ferri dovrà essere dritto ed in parte dovrà essere munito di occhi, in modo che nessun elemento possa essere sfilato.

I telai saranno fissati ai ferri di orditura e saranno muniti di forti grappe ed arpioni, ben inchiodati ai regoli di telaio, dimensioni e posizioni che verranno indicate.

I nuovi serramenti in ferro esterni previsti nell'intervento in oggetto sono i seguenti:

(vedi tavole architettoniche abaco dei serramenti):

- *A1,2,3,4,5,6,7,8 porte in ferro costruite con due lamiere affacciate, spessore 10/10 con interposto pannello ignifugo dello spessore di mm. 30, il tutto montato su robusta intelaiatura metallica. per la tenuta al fumo si prescrive un gioco massimo di mm. 5 e battuta 5 volte il gioco. tutti i profili e le lamiere dovranno essere unite mediante saldatura resistenti al ed a tenuta di fumo ,*
- *FR1,2,3,4,5,6 : porta antincendio in lamiera d'acciaio a doppio pannello con isolante termico, idrofugo, completa di serratura e maniglia, controtelaio con zanche, cerniera con molla regolabile per la chiusura automatica e profilo di guarnizione antifumo; con certificato di omologazione per resistenza al fuoco rei 120 ad un battente, provviste di maniglione antipánico sui battenti apribili e di oblo' vetrato delle dimensioni di cm. 30x40 o del diametro di cm. 40 con vetro rei 120,*
- *C1 :cancello compattatore realizzato in elementi metallici, in acciaio in elementi tondi, quadri, piatti o profilati, con disegno semplice a linee dirette, provvisto di maniglia a disegno e serratura con nottolino in ottone tipo Yale dotata di tre chiavi,*

I maniglioni antipánico impiegati avranno scrocco alto e basso, maniglia in acciaio con bloccaggio con chiave e cilindro esterno con funzionamento dall'interno con barra orizzontale in acciaio cromato con funzionamento dall'esterno con maniglia .

(vedi tavole restauro abaco dei serramenti):

- *finestre con terminazione superiore semicircolare (ad eccezione dei serramenti Fr1, Fr2, Fr3 del Fronte sud, aventi forma rettangolare) a due battenti (da Fi1 a Fi7 Fronte sud-ovest, da Fi8 ad Fi17 Fronte sud, da Fi18 ad Fi24 Fronte sud-est, da Fi25 a Fi30 Fronte nord-ovest, Fi31 ed Fi32 Fronte nord/a, da Fi33 a Fi35 Fronte est, da Fi36 a Fi38 Fronte ovest, Fi39 e Fi40 Fronte nord/b, da Fi41 a Fi46 Fronte nord-est, da F1 a F10 Testata nord-est, da F11 a F20 Testata nord-ovest, da F21 a F30 Testata nord) realizzate con profili ad "L" dello spessore di mm 4 e di dimensioni mm 20 x mm 20, con profili piatti dello spessore di mm 5 e mm 12 e larghezza mm 50 (cfr tav. RS5 da P14 a P18), con incastri, regoli e guarnizioni per vetri, rigetti d'acqua con gocciolatoio, cerniere, ottonami pesanti comprese due mani di antiruggine e serrature complete di vetri antisfondamento formati da cristallo da mm 3 + foglio di polivinilidirrallato mm 0,38 + cristallo mm 3; la larghezza del serramento varia tra cm 100 e cm 110 mentre l'altezza è costante ed è pari a cm 200. Alla base è inserita la vaschetta di raccolta dell'acqua, compreso il supporto in ferro a T di sostegno di dimensioni mm 60 x mm60 e spessore mm5; la vaschetta sarà di lunghezza pari a quella del serramento e di larghezza circa cm 10, realizzata in lamiera zincata e dotata di un canale di scolo dell'acqua di raccolta, posto al centro, realizzato sempre in lamiera zincata di lunghezza variabile (a seconda dello spessore della muratura) tra cm 20 e cm 30 e sezione cm 5 x cm 2 (cfr. tav. RS 6);*
- *nuove finestre gelosie in ferro ad imitazione di quelle esistenti con la parte superiore semicircolare con montante e traversa (Gn1 e Gn2 Testata nord-est, Gn25 e Gn26 Testata nord-ovest) di dimensioni cm 100 x cm 200 o di forma rettangolare di dimensioni cm 110 x cm 175 con montante e traverse (Gr1, Gr2, Gr3 Fronte sud) - il telaio ed i montanti sono funzionali a contenere le lamelle di vetro -, compresa la stesura di antiruggine e la verniciatura a due riprese (si rimanda al capitolo specifico), dotate di nuove lamelle in vetro di sicurezza (si rimanda al capitolo specifico);*
- *nuova finestra gelosia apribile Gc1 o eventuale adattamento di una finestra gelosia esistente, sulla testata nord, per consentirne l'apertura di dimensioni cm 100 x cm 200 (cfr. tavv. RS4, RS5, RS6) compresi cerniere, ottonami pesanti, due mani di antiruggine e la verniciatura finale (si rimanda al capitolo specifico);*
- *cancelli di protezione sulle testate di larghezza variabile da cm 220 e altezza da cm 225 (da Ca1 a Ca5, Testata nord) e larghezza cm 200 e altezza cm 240 (da C1 a C4 Testata nord-est e da C5 a C8, Testata nord-ovest) con apertura a libro sui due lati, con telaio fisso e mobile realizzato con profili piatti di spessore mm 15 e larghezza mm 40 e tondi di diametro mm 18 (cfr. tav. RS6, da P22 a P25), comprese le cerniere, le serrature ottonami pesanti, due mani di*

antiruggine e la verniciatura finale (si rimanda al capitolo specifico). E' compresa la fornitura e la posa di fermaporta antiurto la cui dimensione e posizione sono da concordare con la D.L. (cfr. tavv. RS5,RS6);

- *cancelli a chiusura dei cortili apribili a due ante realizzati con profili piatti di diverse dimensioni in ferro pieno, quadri (cm 5 x 5) e tondi (φ cm 2) di disegno simile a quello esistente (Cc1 e Cc2) di dimensioni cm 530 x 240 e cm 475 x 240 (cfr. tav. RS3, RS4) comprese le serrature, le cerniere, ottonami pesanti, due mani di antiruggine e la verniciatura finale (si rimanda al capitolo specifico). Ogni anta è dotata di ruota posizionata all'estremità dell'anta per sostenerla durante il movimento di rotazione; in corrispondenza di ogni bacchetta è posizionata all'estremità superiore una decorazione a punta di freccia come da disegno (cfr. tav. RS3, P5). Una piastra ancorata alla pavimentazione e posizionata al centro del cancello assicura la perfetta complanarità delle serrature;*
- *griglie in acciaio inox di altezza media cm 10 e larghezza cm 100, posizionate a protezione della bocca di lupo nell'alzata del gradino d'ingresso delle botteghe dei fronti sud-ovest, sud e sud-est realizzate con ferri piatti di dimensioni mm 40 x 1,5 e tondini dimensioni mm 20 in acciaio inox (cfr. tav. RS5), compresa la verniciatura; le griglie dovranno essere posizionate in modo tale che si formi un dislivello che impedisca l'eventuale ingresso di acqua. L'adattamento e la posizione nei casi particolari sono da concordare con la D.L.. (vedi tavole architettoniche abaco dei serramenti)*

Le ringhiere in ferro come indicate nelle tavole progettuali sono previste per formare i parapetti metallici delle scale interne ed esterne e del ballatoio delle ali. Sono previsti manufatti realizzati con elementi pieni piatti e tondi con disegno semplice (vedi tavole architettoniche e strutturali) .

Al piano terra nei locali delle ali e del corpo centrale solo in corrispondenza delle zone accessibili dal pubblico si prevedono rivestimenti metallici ad altezza di 2,1 mt costituiti da pannelli di lamiera zincata sp 3mm fissata a struttura di tubolari a sezione quadrata in acciaio inox come meglio descritto nelle tavole progettuali architettoniche.

5.17 Opere da vetraio

Le lastre di vetro saranno di norma chiare, del tipo indicato nell'elenco prezzi; per i servizi igienici si adatteranno vetri rigati o smerigliati, il tutto salvo più precise indicazioni della D.L.

Per quanto riguarda la posa in opera le lastre di vetro verranno normalmente assicurate negli appositi incavi dei vari infissi in legno con adatte puntine e mastice da vetraio (formato con gesso e olio di lino cotto), spalmando prima uno strato sottile di mastice sui margini verso l'esterno del battente nel quale deve collocarsi la lastra.

Collocata questa in opera, si fisserà mediante regoletti di legno e viti.

Sugli infissi in ferro le lastre di vetro potranno essere montate o con stucco ad orlo inclinato, come sopra accennato, o mediante regoletti di metallo o di legno fissati con viti; in ogni caso si dovrà avere particolare cura nel formare un finissimo strato di stucco su tutto il perimetro della battuta dell'infisso contro cui dovrà appoggiarsi il vetro, e nel ristuccare accuratamente dall'esterno tale strato con altro stucco, in modo da impedire in maniera sicura il passaggio verso l'interno dell'acqua piovana battente a forza contro il vetro e far sì che il vetro sia riposto tra due strati di stucco (uno verso l'esterno e uno verso l'interno).

Il collocamento in opera delle lastre di vetro, cristallo, ecc. potrà essere richiesto a qualunque altezza ed in qualsiasi posizione, e dovrà essere completato da una perfetta pulitura delle due facce delle lastre stesse, che dovranno risultare perfettamente lucide e trasparenti.

Tutti i materiali forniti saranno conformi alla norma UNI 7134: "Vetri piani-spessore dei vetri piani per vetrazioni in funzione delle loro dimensioni, dell'azione del vento e del carico della neve". La posa in opera delle lastre e dei cristalli dovrà rispettare le disposizioni della norma UNI 6534 e le indicazioni della D.L.

L'impresa ha l'obbligo di controllare gli ordinativi, dei vari tipi di vetri passatigli dalla D.L., rilevandone le esatte misure ed i quantitativi, e di segnalare a quest'ultima le eventuali discordanze, restando a suo completo carico gli inconvenienti di qualsiasi genere che potessero derivare dall'omissione di tale tempestivo controllo.

Essa ha anche l'obbligo della posa in opera di ogni specie di vetri e cristalli, anche se forniti da altre ditte ai prezzi di tariffa.

Ogni rottura di vetri o cristalli, avvenuta prima della presa in consegna da parte della Direzione Lavori, sarà a carico dell'Impresa.

Tipologia dei vetri che ciascun serramento dovrà avere:

- *per i serramenti in legno vetri antisfondamento formati da cristallo da mm 6 + foglio di polivinibutirrale mm 0,76 + cristallo mm 6;*
- *per i serramenti in ferro del primo piano vetri antisfondamento formati da cristallo da mm 3 + foglio di polivinibutirrale mm 0,38 + cristallo mm 3; - per le finestre gelosie lamelle di vetro di sicurezza dello spessore di mm 6 (cfr. tavv. RS5, RS6).*

5.18 Opere da stagnaio in genere

I manufatti in latta, in lamiera di ferro nera o zincata, in ghisa, in zinco, in rame, in piombo, in ottone, in alluminio o in altri materiali dovranno essere delle dimensioni e forme richieste, nonché lavorati a Regola d'Arte, con la maggiore precisione.

Detti lavori saranno dati in opera, salvo contraria precisazione contenuta nella tariffa dei prezzi, completi di ogni accessorio necessario al loro perfetto funzionamento, come raccordi di attacco, coperchi, viti di spurgo in ottone o bronzo, pezzi speciali e sostegni di ogni genere (braccetti, grappe, ecc.).

Le giunzioni dei pezzi saranno fatte mediante chiodature, ribattiture o saldature, secondo quanto prescritto dalla stessa Direzione Lavori ed in conformità ai campioni che dovranno essere presentati per l'approvazione.

Si prevedono la posa in opera di copertine in rame, spessore 8/10, a protezione delle cornici e degli aggetti in generale di tutte le facciate esterne (cfr. tavv. RS5, RS6).

5.19 Opere da decoratore

5.19.1 Norme generali

Qualunque tinteggiatura, coloritura o verniciatura dovrà essere preceduta da una conveniente ed accuratissima preparazione delle superfici, e precisamente da raschiature, scrostature, eventuali riprese di spigoli e tutto quanto occorre per uguagliare le superfici medesime.

Successivamente le dette superfici dovranno essere perfettamente levigate con carta vetrata e, quando trattasi di coloriture o verniciature, nuovamente stuccate, indi pomciate e lisciate, previa imprimitura, con modalità e sistemi atti ad assicurare la perfetta riuscita del lavoro.

Speciale riguardo dovrà aversi per le superfici da rivestire con vernici. Per le opere in legno, la stuccatura ed imprimitura dovrà essere fatta con mastici adatti e la levigatura e rasatura delle superfici dovrà essere perfetta.

Per le opere metalliche la preparazione delle superfici dovrà essere preceduta dalla raschiatura delle parti ossidate ed eventuale sabbiatura al metallo bianco.

Le tinteggiature, coloriture e verniciature dovranno, se richiesto, essere anche eseguite con colori diversi su una stessa parete, complete di rifilettature, zoccoli e quant'altro occorre per l'esecuzione dei lavori a Regola d'Arte.

La scelta dei colori è dovuta al criterio insindacabile della D.L. e non sarà ammessa alcuna distinzione tra colori ordinari e colori fini, dovendosi in ogni caso fornire i materiali più fini e delle migliori qualità.

Le successive passate di coloritura ad olio e verniciatura dovranno essere di tonalità diverse, in modo che sia possibile, in qualunque momento, controllare il numero delle passate che sono state applicate.

In caso di contestazione, qualora l'Appaltatore non sia in grado di dare la dimostrazione del numero delle passate effettuate, la decisione sarà a sfavore dell'Appaltatore stesso. Comunque esso ha l'obbligo, dopo l'applicazione di ogni passata e prima di procedere all'esecuzione di quella successiva, di farsi rilasciare da personale della Direzione una dichiarazione scritta.

Prima di iniziare le opere da pittore, l'Impresa ha inoltre l'obbligo di eseguire, nei luoghi e con le modalità che le saranno prescritti, i campioni dei vari lavori di rifinitura, sia per la scelta delle tinte sia per il genere di esecuzione, e di ripeterli eventualmente con le varianti richieste, sino ad ottenere l'approvazione della D.L. Essa dovrà infine adottare ogni precauzione e mezzo atti ad evitare spruzzi o macchie di tinte o vernici sulle opere finite (pavimenti, rivestimenti, infissi ecc.), restando a suo carico ogni lavoro necessario a riparare i danni eventualmente arrecati.

5.19.2 Esecuzioni particolari

Le opere dovranno eseguirsi di norma combinando opportunamente le operazioni elementari e le particolari indicazioni che seguono.

La Direzione Lavori avrà la facoltà di variare, a suo insindacabile giudizio, le opere elementari elencate in appresso, sopprimendone alcune o aggiungendone altre che ritenesse più particolarmente adatte al caso specifico, e l'Impresa dovrà uniformarsi a tali prescrizioni senza potere perciò sollevare eccezioni di sorta. Il prezzo dell'opera stessa subirà in conseguenza semplici variazioni in meno o in più, in relazione alle varianti introdotte ed alle indicazioni della tariffa prezzi, senza che l'Impresa possa accampare perciò diritto a compensi speciali di sorta.

Tinteggiatura a calce - La tinteggiatura a calce riguarderà tutti gli intonaci interni, la relativa preparazione consisterà in:

- 1) spolveratura e raschiatura delle superfici;
- 2) prima stuccatura a gesso e colla;
- 3) levigamento con carta vetrata;
- 4) applicazione di due mani di tinta a calce.

Gli intonaci nuovi dovranno avere già ricevuto la mano preventiva di latte di calce denso (scialbatura).

Tinteggiatura a colla e gesso - Sarà eseguita come appresso:

- 1) spolveratura e ripulitura delle superfici;
- 2) prima stuccatura a gesso e colla;
- 3) levigamento con carta vetrata; 4) spalmatura di colla temperata;
- 5) rasatura dell'intonaco ed ogni altra idonea preparazione; 6) applicazione di due mani di tinta a colla e gesso.

Tale tinteggiatura potrà essere eseguita a mezze tinte oppure a tinte forti e con colori fini.

Verniciatura ad olio - Le verniciature comuni ad olio su intonaci interni saranno eseguite come appresso:

- 1) spolveratura e raschiatura delle superfici;
- 2) prima stuccatura a gesso e colla;
- 3) levigamento con carta vetrata;
- 4) spalmatura di colla forte;
- 5) applicazione di una mano preparatoria di vernice ad olio con aggiunta di acquaragia per facilitare l'assorbimento ed eventualmente di essiccativo;
- 6) stuccatura con stucco ad olio;
- 7) accurato levigamento con carta vetrata e lisciatura;
- 8) seconda mano di vernice ad olio con minori proporzioni di acquaragia; 9) terza mano di vernice ad olio con esclusione di diluente.

Per la verniciatura comune delle opere in legno le operazioni elementari si svolgeranno come per la verniciatura degli intonaci, con la omissione delle operazioni n. 2 e 4; per le opere in ferro, l'operazione n. 5 sarà sostituita, con una spalmatura di minio, la n. 7 sarà limitata ad un conguagliamento della superficie e si ometteranno le operazioni n. 2, 4 e 6.

Verniciature a smalto comune - Saranno eseguite con appropriate preparazioni, a seconda del grado di rifinitura che la D.L. vorrà conseguire ed a seconda del materiale da ricoprire da eseguirsi sulle opere in ferro e sulle opere in legno . A superficie debitamente preparata si eseguiranno le seguenti operazioni:

- 1) applicazione di una mano di vernice a smalto con lieve aggiunta di acquaragia;
- 2) leggera pomiciatura a panno;
- 3) applicazione di una seconda mano di vernice a smalto con esclusione di diluente.

Velature - Qualora si dovessero eseguire tinteggiature con effetto di velatura, l'Appaltatore non potrà assolutamente ottenere questo tipo di finitura diluendo le tinte oltre i limiti consigliati dal produttore o consentiti dalla vigente normativa UNI relativa alla classe di prodotto utilizzato. La velatura dovrà essere realizzata nel seguente modo:

- tinte a calce: lo strato di imprimitura (bianco o leggermente in tinta) verrà steso nello spessore più adatto a regolarizzare l'assorbimento del supporto in modo da diminuire il quantitativo di tinta da applicare come mano di finitura;
- tinte al silicato di potassio: la velatura si otterrà incrementando, nella mano di fondo, il quantitativo di bianco di titanio e, contemporaneamente, diminuendo il quantitativo di tinta nella mano di finitura;
- tinte polimeriche: la velatura si otterrà incrementando nella mano di fondo il quantitativo di pigmento bianco e miscelando le tinte basi coprenti della mano di finitura con un appropriato quantitativo di tinta polimerica trasparente. La tinta trasparente dovrà essere costituita (pena l'immediata perdita del prodotto) dallo stesso polimero utilizzato per la produzione della tinta base.

5.19.3 Indicazioni specifiche

Operazioni di tinteggiatura

Le operazioni di tinteggiatura che dovranno essere eseguite sulle murature esterne ed interne dell'edificio dovranno prevedere:

- *sugli intonaci esterni in buono stato di conservazione con finitura liscia o a bugnato: raschiatura totale delle vecchie tinte; fissaggio di fondo polveroso di vecchio intonaco mediante applicazione di una mano di fondo ai silicati del tipo Fondo Setaliet (diluito con acqua da 1:1 a 1:3, secondo l'assorbimento), della Ditta Sikkens o equivalente; tinteggiatura con pittura ai silicati mediante l'applicazione di prodotti del tipo Fondo Setaliet + Setaliet in rapporto 1:1 per la prima mano, Setaliet diluito al 10% con Fondo Setaliet per la seconda mano, nei colori scelti dalla D.L., della Ditta Sikkens o equivalente;*
- *sugli intonaci riproposti della fascia igroscopica (intonaco deumidificante) o delle fasce superiori con finitura o a bugnato e sui nuovi intonaci interni: applicazione di prodotti del tipo Fondo Setaliet + Setaliet in rapporto 1:1 per la prima mano, Setaliet diluito al 10% con Fondo Setaliet per la seconda mano, nei colori scelti dalla D.L., della Ditta Sikkens o equivalente.*

L'intervento dovrà essere eseguito da personale con specifiche ed attestate competenze.

Sugli intonaci esistenti l'intervento è da eseguirsi mediante preventiva cauta asportazione a mano delle pitture più recenti, previa preliminare verifica per la ricerca di eventuali tinte originali. Potrà essere richiesta l'esecuzione di un trattamento finale di velatura mediante l'utilizzo di pitture ai silicati.

I colori dovranno essere in ogni caso concordati con la D.L. e coi competenti Uffici di tutela in seguito all'esecuzione di campionature di prova.

(cfr. tavv. RS3, RS4, RS5, RS6)

6 COLLOCAMENTO IN OPERA

6.1 Norme generali

La posa in opera di qualsiasi materiale, apparecchio o manufatto, consisterà in genere nel suo prelevamento dal luogo di deposito, nel suo trasporto in situ (intendendosi con ciò tanto il trasporto in piano o in pendenza, che il sollevamento in alto o la discesa in basso, il tutto eseguito con qualsiasi sussidio o mezzo meccanico, opera provvisoria ecc.), nonché nel collocamento nel luogo esatto di pristino).

L'Appaltatore ha l'obbligo di eseguire il collocamento di qualsiasi opera o apparecchio che gli venga ordinato dalla D.L., anche se forniti da altre ditte.

Il collocamento in opera dovrà eseguirsi con tutte le cure e le cautele del caso; il materiale o manufatto dovrà essere convenientemente protetto, se necessario, anche collocato, essendo l'Appaltatore unico responsabile dei danni di qualsiasi genere che potessero essere arrecati alle cose poste in opera, anche dal solo traffico degli operai durante e dopo l'esecuzione dei lavori, sino al termine e consegna, anche se il particolare collocamento in opera si svolge sotto la sorveglianza o, assistenza del personale di altre ditte, fornitrici del materiale o del manufatto.

6.1.1 Collocamento di manufatti in legno

I manufatti in legno come infissi di finestre, porte, vetrate, ecc. saranno collocati in opera fissandoli alle strutture di sostegno, mediante, a seconda dei casi, grappe di ferro, ovvero viti assicurate a tasselli di legno o a controtelai debitamente murati.

Tanto durante la loro giacenza in cantiere, quanto durante il loro trasporto, sollevamento e collocamento in situ, l'Appaltatore dovrà curare che non abbiano a subire alcun guasto o lordura, proteggendoli convenientemente da urti, da schizzi di calce, tinta o vernice, ecc. con stuoie, coperture, parasigoli di fortuna, ecc.

Nel caso di infissi qualsiasi muniti di controtelaio l'Appaltatore sarà tenuto ad eseguire il collocamento in opera anticipato, a murature rustiche, a richiesta della D.L.

Nell'esecuzione della posa in opera le grappe dovranno essere murate a calce o cemento, eventualmente caricati con adesivi strutturali.

Sarà a carico dell'Appaltatore ogni opera accessoria occorrente per permettere il libero e perfetto movimento dell'infisso posto in opera (come scalpellamenti di piattabande ecc.) ed ogni riparazione conseguente (ripristini, stuccature intorno ai telai ecc.), come pure la verifica che gli infissi abbiano assunto l'esatta posizione richiesta, nonché l'eliminazione di qualsiasi imperfezione che venisse riscontrata anche in seguito, sino al momento del collaudo.

Particolare cura si dovrà inoltre adottare per tutti gli elementi in legno di cui è richiesto il restauro e il consolidamento e, di conseguenza, il ricollocamento in opera.

6.1.2 Collocamento di manufatti in ferro

I manufatti in ferro, quali infissi di porte, finestre, vetrate, ecc. saranno collocati in opera con gli stessi accorgimenti e cure, per quanto applicabili, prescritti all'Articolo precedente per le opere in legno.

Nel caso di infissi di qualsiasi tipo muniti di controtelaio l'Appaltatore avrà l'obbligo, a richiesta della D.L., di eseguire il collocamento in opera anticipato, a murature rustiche.

Il montaggio in situ e collocamento delle opere di grossa carpenteria dovrà essere eseguito da operai specialisti in numero sufficiente affinché il lavoro proceda con la dovuta celerità. Il montaggio dovrà essere fatto con la massima esattezza, ritoccando opportunamente quegli elementi che non fossero a perfetto contatto reciproco e tenendo opportuno conto degli effetti delle variazioni termiche.

Dovrà tenersi presente infine che i materiali componenti le opere di grossa carpenteria ecc. debbono essere tutti completamente recuperabili, senza guasti né perdite.

6.1.3 Collocamento di manufatti in marmo e pietre

Tanto nel caso in cui la fornitura dei manufatti gli sia affidata direttamente, quanto nel caso in cui venga incaricato della sola posa in opera, l'Appaltatore dovrà avere la massima cura per evitare, durante le varie operazioni di scarico, trasporto e collocamento in sito e sino a collaudo, rotture, scheggiature, graffi, danni alle lucidature, ecc. Egli pertanto dovrà provvedere a sue spese alle opportune protezioni, con materiale idoneo di spigoli, cornici, colonne, scalini, pavimenti, ecc., restando egli obbligato a riparare a sue spese ogni danno riscontrato; come a risarcirne il valore quando, a giudizio insindacabile della D.L., la riparazione non fosse possibile.

Per ancorare i diversi pezzi di marmo o pietra si adopereranno grappe, perni e staffe, in ferro zincato o stagnato, o anche in ottone o rame, di tipo e dimensioni adatte allo scopo ed agli sforzi cui saranno assoggettati, e di gradimento della D.L. Tali ancoraggi saranno fissati saldamente ai marmi o pietre entro apposite incassature di forma adatta, e murati nelle manufatti di sostegno con malta cementizia.

I vuoti che risulteranno tra i rivestimenti in pietra o marmo e le retrostanti murature dovranno essere diligentemente riempiti con malta idraulica fina o mezzana, sufficientemente fluida e debitamente scagliata, in modo che non rimangano vuoti di alcuna entità. La stessa malta sarà impiegata per l'allettamento delle lastre in piano per pavimenti, ecc.

È vietato l'impiego di conglomerato cementizio a presa rapida, tanto per la posa che per il fissaggio provvisorio dei pezzi, come pure è vietato l'impiego della malta cementizia per l'allettamento dei marmi.

L'Appaltatore dovrà usare speciali cure ed opportuni accorgimenti per il fissaggio o sostegno di stipiti, architravi, rivestimenti ecc., in cui i pezzi risultino sospesi a strutture in genere ed a quelle in cemento armato in specie: in tale caso si potrà richiedere che le pietre o marmi siano collocati in opera prima del getto, ed incorporati con opportuni mezzi alla

massa della muratura o del conglomerato, il tutto seguendo le speciali norme che saranno all'uopo impartite dalla D.L. e senza che l'Appaltatore abbia diritto a pretendere compensi speciali.

Tutti i manufatti di qualsiasi genere, dovranno risultare collocati in situ, nell'esatta posizione stabilita dai disegni o dalla D.L.; le connessioni ed i collegamenti eseguiti a perfetto combaciamento secondo le migliori Regole d'Arte dovranno essere stuccati con cemento bianco o colorato, a seconda dei casi, in modo da risultare il meno appariscenti che sia possibile e si dovrà curare di togliere ogni zeppa o cuneo di legno al termine della posa in opera.

I piani superiori delle pietre o dei marmi posti all'esterno dovranno avere le opportune pendenze per convogliare le acque piovane, secondo le indicazioni che darà la Direzione Lavori.

Sarà, in caso, a carico dell'Appaltatore, anche quando esso avesse l'incarico della sola posa in opera, il ridurre e modificare le murature ed ossature ed eseguire i necessari scalpellamenti e incamerazioni, in modo da consentire la perfetta posa in opera dei marmi e pietre di qualsiasi genere.

Nel caso di rivestimenti esterni potrà essere richiesto che la posa in opera delle pietre o marmi segua immediatamente il progredire delle murature, ovvero che venga eseguita in un tempo successivo, senza che l'Appaltatore possa accampare pretese di compensi speciali oltre quelli previsti dalla tariffa.

6.1.4 Collocamento di manufatti vari, apparecchi e materiali forniti dall'Amministrazione appaltante

Qualsiasi apparecchio, materiale o manufatto fornito dall'Amministrazione appaltante sarà consegnato alle stazioni ferroviarie o in magazzini, secondo le istruzioni che l'Appaltatore riceverà tempestivamente. Pertanto egli dovrà provvedere al suo trasporto in cantiere, immagazzinamento e custodia, e successivamente alla loro posa in opera, a seconda delle istruzioni che riceverà, eseguendo le opere murarie di adattamento e che si renderanno necessarie.

Per il collocamento in opera dovranno seguirsi inoltre tutte le norme indicate per ciascuna opera dei precedenti articoli del presente Capitolato, restando sempre l'Appaltatore responsabile della buona conservazione del materiale consegnatogli, prima e dopo il suo collocamento in opera.

6.2 Lavori eventuali non previsti

Per l'esecuzione di categorie di lavoro non previste e per le quali non siano stati convenuti i relativi prezzi, o si procederà al concordamento dei nuovi prezzi con le norme degli artt. 21 e 22 del Regolamento 25 maggio 1985, n. 350, ovvero si provvederà in economia con operai, mezzi d'opera e provviste fornite dall'Appaltatore (a norma dell'art. 19 dello stesso Regolamento) o da terzi. In tale ultimo caso l'Appaltatore, a richiesta della Direzione, dovrà effettuarne i relativi pagamenti, seguendo le disposizioni dell'Art. 28 del Capitolato Generale.

Gli operai forniti per le opere in economia dovranno essere idonei ai lavori da eseguirsi e provvisti dei necessari attrezzi. Le macchine ed attrezzi dati a noleggio dovranno essere in perfetto stato di servibilità e provvisti di tutti gli accessori necessari per il loro regolare funzionamento.

Saranno a carico dell'Appaltatore la manutenzione degli attrezzi e delle macchine e le eventuali riparazioni, in modo che essi siano sempre in buono stato di servizio.

I mezzi di trasporto per i lavori in economia dovranno essere forniti in pieno stato di efficienza.