



COMUNE DI LIVORNO  
Dipartimento 5 - Lavori Pubblici  
Settore Impianti e manutenzioni

---

*Oggetto:*  
SCUOLA G. MICHELI. P.ZA XI MAGGIO  
RISANAMENTO TETTO E FACCIATE  
I° LOTTO LAVORI -

## **SCHEMA DI CONTRATTO e CAPITOLATO SPECIALE D'APPALTO**

*Resp.le del Procedimento:*  
Ing. Luca BARSOTTI

*Progettisti:*  
Arch. Riccardo MAURRI  
Geom. Massimo PETAGNA  
Ing. Alessio BOZZI

*Collaborazione alla progettazione:*  
Geom. Giovanni MONACIZZO  
Geom. Antonio AMABILE

\_\_\_\_\_  
LUGLIO 2017  
\_\_\_\_\_

## **SCHEMA DI CONTRATTO**

## **Art. 1 DOCUMENTI CHE FANNO PARTE INTEGRANTE DEL CONTRATTO**

Faranno parte integrante del contratto e saranno da considerarsi a esso allegati:

- i documenti di offerta;
- il presente Schema di Contratto e Capitolato Speciale di Appalto;
- il Capitolato Generale a stampa approvato con D.M. LL. PP. 19/04/2000 n.145, che si considera parte integrante del contratto pur se non materialmente allegato;
- gli elaborati grafici progettuali e le relazioni;
- il Piano di sicurezza e coordinamento previsto dall'articolo 100 del D.Lgs. 81/08
- il cronoprogramma dei lavori;
- le polizze di garanzia;

In caso di discordanza tra i documenti allegati al contratto si osserverà il seguente ordine di prevalenza:

- norme legislative e regolamentari cogenti di carattere generale;
- contratto e schema di contratto di appalto;
- gli elaborati grafici progettuali e le relazioni;
- descrizione contenuta nell'elenco prezzi contrattuali;
- relazione tecnica
- capitolato speciale di appalto.

## **Art. 2 GARANZIE E COPERTURE ASSICURATIVE**

L'offerta da presentare per l'affidamento dell'esecuzione dei lavori pubblici, dovrà essere corredata da una garanzia provvisoria pari alla percentuale stabilita nel bando e nella lettera d'invito sul prezzo base indicato, da prestare anche mediante fideiussione bancaria o assicurativa, e dall'impegno del fideiussore a rilasciare la garanzia definitiva in caso di aggiudicazione. La cauzione può essere costituita, a scelta dell'offerente, in contanti o in titoli del debito pubblico garantiti dallo Stato al corso del giorno del deposito, presso una sezione di tesoreria provinciale o presso le aziende autorizzate, a titolo di pegno a favore dell'amministrazione aggiudicatrice.

La garanzia fideiussoria a scelta dell'appaltatore può essere rilasciata da imprese bancarie o assicurative che rispondano ai requisiti di solvibilità previsti dalle leggi che ne disciplinano le rispettive attività o rilasciata dagli intermediari finanziari iscritti nell'albo di cui all'articolo 106 del decreto legislativo 1° settembre 1993, n. 385, che svolgono in via esclusiva o prevalente attività di rilascio di garanzie e che sono sottoposti a revisione contabile da parte di una società di revisione iscritta nell'albo previsto dall'articolo 161 del decreto legislativo 24 febbraio 1998, n. 58 e che abbiano i requisiti minimi di solvibilità richiesti dalla vigente normativa bancaria assicurativa.

La fideiussione bancaria o la polizza assicurativa dovrà avere validità per almeno 180 giorni, salvo diversa indicazione, dalla data di presentazione dell'offerta e dovrà prevedere espressamente la rinuncia al beneficio della preventiva escussione del debitore principale e la sua operatività entro 15 giorni a semplice richiesta scritta dell'Amministrazione.

La garanzia copre la mancata sottoscrizione del contratto dopo l'aggiudicazione, per fatto dell'affidatario riconducibile a una condotta connotata da dolo o colpa grave, e sarà svincolata automaticamente al momento della sottoscrizione del contratto medesimo.

L'importo della garanzia, e del suo eventuale rinnovo, è ridotto del 50% per gli operatori economici ai quali sia rilasciata, da organismi accreditati, ai sensi delle norme europee della serie UNI CEI EN 45000 e della serie UNI CEI EN ISO/IEC 17000, la certificazione del sistema di qualità conforme alle norme europee della serie UNI CEI ISO9000.

L'importo della garanzia e del suo eventuale rinnovo è ridotto del 30%, anche cumulabile con la riduzione di cui al primo periodo, per gli operatori economici in possesso di registrazione al sistema comunitario di ecogestione e audit (EMAS), ai sensi del regolamento (CE) n. 1221/2009 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 25 novembre 2009, o del 20 per cento per gli operatori in possesso di certificazione ambientale ai sensi della norma UNI EN ISO14001.

L'importo della garanzia e del suo eventuale rinnovo è ridotto del 15% per gli operatori economici che sviluppano un inventario di gas a effetto serra ai sensi della norma UNI EN ISO 14064-1 o un'impronta climatica (carbon footprint) di prodotto ai sensi della norma UNI ISO/TS 14067.

Per fruire delle suddette riduzioni, l'operatore economico segnala, in sede di offerta, il possesso dei relativi requisiti e lo documenta nei modi prescritti dalle norme vigenti.

L'Impresa aggiudicataria è obbligata a costituire nelle forme di legge una garanzia definitiva a sua scelta sotto forma di cauzione o fideiussione con le modalità di cui all'articolo 93, commi 2 e 3 del D.Lgs. 50/2016, di importo pari al 10% del prezzo contrattuale al netto del ribasso d'asta; in caso di ribasso d'asta superiore al 10%, la garanzia fideiussoria è aumentata di tanti punti percentuali quanti sono quelli eccedenti il 10 per cento; ove il ribasso sia superiore al 20 per cento, l'aumento è di due punti percentuali per ogni punto di ribasso superiore al 20 per cento.

La mancata costituzione della garanzia determina la decadenza dell'affidamento (in applicazione di quant'altro precisato all'art. 103 del D.Lgs. 50/2016) e l'acquisizione della cauzione provvisoria presentata in sede di offerta da parte dell'amministrazione, che aggiudica l'appalto o la concessione al concorrente che segue nella graduatoria.

La cauzione è prestata a garanzia dell'adempimento di tutte le obbligazioni del contratto e del risarcimento dei danni derivanti dall'eventuale inadempimento delle obbligazioni stesse, nonché a garanzia del rimborso delle somme pagate in più all'esecutore rispetto alle risultanze della liquidazione finale, salva comunque la risarcibilità del maggior danno verso l'appaltatore e cessa di avere effetto solo alla data di emissione del certificato di collaudo provvisorio.

Alla garanzia definitiva si applicano le medesime riduzioni previste per la garanzia provvisoria;

L'esecutore dei lavori è obbligato ai sensi dell'articolo 103, comma 7 del D.Lgs. 50/2016, a stipulare una polizza di assicurativa che tenga indenne l'Amministrazione da tutti i rischi di esecuzione da qualsiasi causa determinati, salvo quelli derivanti da errori di progettazione, insufficiente progettazione, azioni di terzi o cause di forza maggiore. La polizza deve inoltre assicurare l'Amministrazione, contro la responsabilità civile per danni causati a terzi nel corso dell'esecuzione dei lavori.

## Somma Assicurata e Massimali

Schema tipo 2.3 - Decreto del Ministero delle attività produttive 12 marzo 2004, n. 123 (CAR)			
partita 1	Opere - rappresentano il vero oggetto della copertura assicurativa	€	441.500,00
partita 2	Opere preesistenti - sono le opere sulle quali e nelle quali si eseguono i lavori nell'ambito del cantiere	€	150.000,00
partita 3	Demolizione e sgombero - per lo smaltimento ed il trasporto alle pubbliche discariche dei residui del sinistro	€	30.000,00
		TOTALE	€ 621.500,00

- Il massimale per l'assicurazione contro la responsabilità civile verso terzi è di € 500.000,00.

La copertura assicurativa decorre dalla data di consegna dei lavori e cessa alla data di emissione del certificato di collaudo provvisorio o del certificato di regolare esecuzione o comunque decorsi dodici mesi dalla data di ultimazione dei lavori risultante dal relativo certificato. L'appaltatore ha l'obbligo di trasmettere all'Amministrazione copia della polizza di cui al presente articolo almeno dieci giorni prima della consegna dei lavori. L'omesso o il ritardato pagamento delle somme dovute a titolo di premio da parte dell'Appaltatore non comporta l'inefficacia della garanzia.

Per quanto altro non espressamente riportato si fa riferimento alla legislazione e normativa vigente in materia di lavori pubblici al momento della pubblicazione del bando di gara.

### **Art. 3 ONERI DELL'APPALTATORE**

Oltre all'osservanza delle norme contenute nel Capitolato Generale a Stampa per gli appalti delle opere pubbliche approvato con D.M. LL. PP. 19/04/2000 n. 145, nella normativa vigente in materia di appalti sui lavori pubblici, al rispetto di tutte le normative inerenti i lavori pubblici vigenti al momento della costruzione, in relazione alla specificità dell'intervento ed alle caratteristiche localizzative, e delle norme comunali relative agli spazi di uso pubblico, **sono a carico totale dell'Appaltatore gli obblighi ed oneri seguenti e le relative spese consequenziali:**

- 1) Fornire alla Stazione Appaltante gli estremi identificativi dei conti correnti propri, dei subappaltatori e dei subcontraenti, dedicati alle commesse pubbliche, nonché le generalità ed il codice fiscale delle persone delegate ad operare su di essi, ai sensi dell'art. 3 della L. 136/2010.
- 2) Comunicare alla S. A., entro sette giorni dalla loro accensione, gli estremi identificativi di eventuali nuovi conti correnti propri, dei subappaltatori e dei subcontraenti, dedicati alle commesse pubbliche, nonché le generalità ed il codice fiscale delle persone delegate ad operare su di essi ai sensi dell'art. 3 della L. 136/2010;
- 3) La redazione del Piano di sicurezza sostitutivo ovvero del Piano operativo di sicurezza secondo il punto 3 dell'allegato XV al D.lgs 81/2008, da presentarsi alla Stazione appaltante prima dell'inizio dei lavori. L'appaltatore è tenuto a curare il coordinamento di tutti i subappaltatori operanti nel cantiere, al fine di rendere gli specifici piani redatti dai singoli subappaltatori compatibili tra loro e coerenti con il piano presentato dall'affidatario. Nell'ipotesi di raggruppamento temporaneo o di consorzio, detto obbligo incombe al mandatario. Il direttore tecnico di cantiere è responsabile del rispetto del piano da parte di tutte le imprese impegnate nell'esecuzione dei lavori. Prima dell'inizio dei rispettivi lavori ciascuna impresa esecutrice trasmette il proprio piano operativo di sicurezza all'impresa affidataria, la quale, previa verifica della congruenza rispetto al proprio, lo trasmette al coordinatore per l'esecuzione. I lavori hanno inizio dopo l'esito positivo delle suddette verifiche che sono effettuate tempestivamente e comunque non oltre 15 giorni dall'avvenuta ricezione.
- 4) L'Impresa, le maestranze e i tecnici sono inoltre obbligati al rispetto, oltre che alle norme derivanti dai piani suddetti, al rispetto delle indicazioni e ordini del Coordinatore per la sicurezza in fase di esecuzione nominato dall'Amm.ne;
- 5) La formazione del cantiere attrezzato ed il suo spostamento e modifica in relazione alle esigenze realizzative dell'opera, compresi la realizzazione degli impianti tecnologici di cantiere con il rilascio delle necessarie certificazioni di cui al D.M. n.37 del 22/01/2008, tutti i movimenti di terra e ogni altro onere relativo alla recinzione del cantiere conformemente alle vigenti normative in materia di sicurezza ed in relazione all'entità dell'opera, la recinzione del cantiere stesso con solido stecconato in legno o metallo, secondo la richiesta della direzione lavori, nonché la sistemazione, realizzazione e manutenzione delle strade di accesso e del cantiere, in modo da rendere sicuro e agevole il transito di veicoli e di persone;
- 6) L'accertamento dell'eventuale presenza sull'area di reti d'impianti - aeree, superficiali o interrate - o di scoli e canalizzazioni, e, ove disposto dal direttore dei lavori, provvedere al relativo spostamento attraverso prestazioni da compensare appositamente;
- 7) L'onere della custodia del cantiere e dei luoghi oggetto dell'intervento, che dovrà essere affidata a personale provvisto della qualifica di guardia particolare giurata; inoltre la ditta è obbligata a stipulare un 'adeguata polizza assicurativa sui furti negli ambienti oggetto dei lavori per i periodo degli stessi;
- 8) L'adozione dei provvedimenti necessari perché siano impediti deterioramenti di qualsiasi genere alle opere già eseguite;
- 9) La messa a disposizione della D.L. e dei suoi incaricati, di un locale illuminato per la tenuta degli elaborati connessi con la D.L.;
- 10) Il pagamento di tutte le tasse comunali per occupazione di suolo pubblico, passi carrabili ed altre licenze e permessi escluso le aree di cantiere e di lavoro concesse dalla D.L.;
- 11) L'allacciamento alla rete per la fornitura dell'energia elettrica e dell'acqua necessaria al servizio del cantiere ed al funzionamento dei mezzi d'opera e le previdenze atte ad ottenere la continuità dei servizi quando manchino energia elettrica ed acqua, nonché tutti gli oneri relativi a contributi, lavori e forniture per l'esecuzione di detti allacciamenti provvisori, oltre alle spese per le utenze e i consumi dipendenti dai predetti servizi;

- 12) La fornitura e posa in opera, all'atto della formazione del cantiere, di uno o due cartelloni a discrezione della D.L., recanti le seguenti indicazioni:

**COMMITTENTE**  
**OGGETTO DEI LAVORI**  
**IMPORTO LAVORI**  
**ATTO DI APPROVAZIONE LAVORI**  
**CONTRATTO**  
**IMPRESA o A.T.I.**  
**IMPRESE SUBAPPALTATRICI**  
**RESPONSABILE PROCEDIMENTO**  
**RESPONSABILE DEI LAVORI**  
**PROGETTISTA**  
**DIRETTORE DEI LAVORI**  
**COORDINATORE ALLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE**  
**COORDINATORE ALLA SICUREZZA IN FASE DI ESECUZIONE**  
**DIRETTORE OPERATIVO**  
**ISPETTORE DI CANTIERE**  
**DIREZIONE DI CANTIERE**  
**CAPO CANTIERE**  
**DATA CONSEGNA LAVORI DURATA LAVORI GG.**  
**ANNOTAZIONI ANDAMENTO LAVORI**

Il cartello dovrà avere dimensioni minime di m. 2,00 x 1,00, fondo amaranto, iscrizioni in bianco e schema conforme a quello predisposto dalla Direzione dei Lavori. In fondo alla tabella dovrà essere previsto uno spazio per l'aggiornamento dei dati relativi all'andamento dei lavori (sospensioni, riprese ecc.).

- 13) L'affidamento della Direzione di Cantiere ad un tecnico abilitato secondo le competenze professionali che sia di gradimento dell'Amministrazione. Il tecnico dovrà essere assunto a carico dell'Impresa stessa e dovrà assumere, unitamente all'Impresa, ogni responsabilità civile e penale relativa all'incarico ricevuto. Il direttore tecnico di cantiere è responsabile del rispetto del piano di sicurezza da parte di tutte le imprese impegnate nell'esecuzione dei lavori.
- 14) L'Impresa è tenuta a comunicare per iscritto alla D.L. prima del verbale di inizio dei lavori il nome del Direttore di Cantiere nonché il nome del Capo Cantiere cui fare riferimento per necessità tecniche o chiarimenti inerenti la sicurezza e lo svolgimento dei lavori.
- 15) La Stazione appaltante si riserva, mediante i tecnici all'uopo preposti, in funzione di Direttori Operativi, l'alta sorveglianza sulla direzione di cantiere e sull'appaltatore stesso, spettando ad essa il compito di verificare la corrispondenza dell'opera in esecuzione al progetto e di approvare le eventuali varianti tecniche proposte.
- 16) Durante lo svolgimento dei lavori dovrà essere sempre in cantiere un rappresentante dell'impresa incaricato di ricevere gli ordini e le istruzioni della D.L.;
- 17) La fornitura dei necessari attrezzi e strumenti per il controllo e misurazione dei lavori;
- 18) Gli esaurimenti di acqua di qualsiasi entità e provenienza per la esecuzione degli scavi, delle murature e delle opere di fondazione in genere;
- 19) La fornitura di fotografie, diapositive, video nel numero e dimensioni che saranno di volta in volta indicati dalla D.L., dello stato di fatto e delle opere in corso nei vari periodi dell'appalto e ad opere concluse;
- 20) L'esecuzione di quelle operazioni di tracciato, rilievo, saggi nel terreno, computi, calcoli, disegni, etc. necessarie, a giudizio insindacabile della D.L., alla contabilizzazione ed esecuzione delle opere, oltre quanto specificato ai successivi punti.
- 21) Il fornire se richiesto, con cadenza settimanale a decorrere dalla consegna dei lavori, le seguenti notizie statistiche in merito all'andamento dei lavori:
- elenco degli operai e dei tecnici (distinti per categoria) impiegati per l'esecuzione dei singoli lavori con la specifica dei giorni e delle ore;
  - tipo di lavoro eseguito.
- 22) L'esecuzione, presso gli Istituti autorizzati, di tutte le esperienze, saggi e prove che verranno in ogni tempo ordinati dalla direzione lavori, sui materiali impiegati o da impiegarsi nella costruzione in correlazione a quanto prescritto circa l'accettazione dei materiali stessi (art.28,29), nonché sui campioni da prelevarsi in opera. Dei campioni potrà essere ordinata la conservazione in luogo indicato dalla D.L., munendoli di sigilli a firma della stessa e dell'impresa, nei modi più adatti a garantirne l'autenticità.
- 23) La D.L. si riserva inoltre la facoltà di richiedere all'impresa che vengano effettuate tutte quelle prove necessarie ai fini della determinazione delle caratteristiche di qualità e resistenza delle strutture e dei materiali posti in opera. L'appaltatore sarà tenuto a far eseguire dette prove a proprie cure e spese presso un laboratorio ufficiale autorizzato ai sensi dell'art.20 della L.1086/1971 e di gradimento dell'Amministrazione; preferibilmente universitario o del C.N.R.;
- 24) L'esecuzione di ogni prova di carico, compreso la manovalanza e gli apparecchi di carico e le spese di laboratorio, delle opere in c.a., c.a.p. e carpenteria metallica e muratura, pali di fondazione e qualsiasi altra struttura portante, per la valutazione della capacità portante delle strutture, sia in corso d'opera che per il collaudo finale da parte di un soggetto professionalmente abilitato designato dalla Stazione appaltante, presso laboratorio ufficiale legalmente riconosciuto e di gradimento della D.L. e del collaudatore statico. La fornitura dell'energia elettrica per tutte le prove di funzionamento degli impianti e del gasolio o metano necessari per l'esecuzione delle prove di tenuta a caldo e, prima della consegna delle opere, per la verifica del funzionamento dell'impianto di riscaldamento.
- 25) L'accesso al cantiere e il libero passaggio nello stesso o nelle opere in costruzione, degli addetti ai lavori d'impresе diverse dall'aggiudicataria del presente appalto o che eseguono lavori per conto dell'Amm.ne appaltante. Nonché, a richiesta della

- D.L., l'uso parziale o totale da parte di dette imprese o persone, dei ponti di servizio, impalcature, costruzioni provvisorie e degli apparecchi di sollevamento, per la realizzazione di quei lavori od impianti che la Stazione Appaltante intenderà eseguire direttamente o a mezzo di altre ditte; resta inteso che né dalle medesime né dalla Stazione Appaltante l'appaltatore potrà pretendere compensi di sorta;
- 26) Per ogni lavoro ed opera indicati nell'elenco prezzi di contratto, si intende sempre e comunque compreso e compensato nel prezzo (salvo diversa ed espressa indicazione riportata nella descrizione del prezzo stesso) l'onere per l'esecuzione e successivo disfacimento di ponteggi, palchi di servizio e protezioni, a qualunque piano ed altezza si intervenga e qualunque sia l'entità del lavoro ed opera da completare (o compiuta); l'abbassamento o l'innalzamento dei materiali necessari per la realizzazione delle opere e quelli derivanti da demolizioni, per questi ultimi è altresì sempre compreso e compensato l'onere per il loro carico e trasporto in locali indicati dalla D.L. od alla discarica autorizzata per quel tipo di materiale a scelta dell'appaltatore. I materiali di risulta restano comunque di proprietà dell'amministrazione e, se riutilizzabili a giudizio della D.L., dovranno essere ripuliti e accatastati in luoghi indicati, per quelli ritenuti inutilizzabili si provvederà al loro smaltimento in discarica autorizzata a spese e cura della Ditta, compresi i materiali dannosi e nocivi e inquinanti a questo riguardo è fatto obbligo alla ditta appaltatrice di consegnare alla D.L. i documenti comprovanti il loro regolare smaltimento.
  - 27) L'immediata osservanza delle prescrizioni degli ordini di servizio comunicati per scritto dalla D.L.;
  - 28) L'osservanza scrupolosa delle norme e leggi in vigore sulla tutela dei lavoratori e il rispetto dei CCNL adottati.
  - 29) L'assistenza da parte di personale qualificato ed esperto al momento della consegna, per l'avvio degli impianti tecnologici di qualsiasi genere, detto personale dovrà rimanere a disposizione della stazione appaltante, senza nessuno onere a carico di questa, per tutto il periodo di garanzia.
  - 30) Il rilascio di tutta la documentazione, limitatamente alle opere oggetto dell'appalto, necessaria per la richiesta da parte dell'appaltante: dei collaudi delle opere e degli impianti, del C.P.I. e dei certificati di abitabilità o agibilità.
  - 31) Tutti i materiali, le apparecchiature, i dispositivi ecc., di tipo edile, impiantistico, arredi, finiture ecc. dovranno essere corredate dalle seguenti documentazioni:
    - certificazioni di omologazione in corso di validità rilasciata da ente o laboratorio autorizzato dalla competente Amm.ne;
    - dichiarazione attestante la conformità della fornitura a quella omologata;
    - dichiarazione dell'installatore attestante la conformità dell'installazione con quanto dal costruttore e/o dal certificato di omologazione.
  - 32) Le richieste di nullasto prescritti alla competente ASL e, in particolare, all'ISPESL per gli ascensori o altri impianti.
  - 33) Le cautele per la conservazione delle strutture preesistenti di interesse storico - architettonico e per la loro eventuale messa in luce.
  - 34) L'uso anticipato dei locali richiesti dalla D.L., previa verbalizzazione dello stato delle opere, e senza diritti e compensi aggiuntivi.
  - 35) La sorveglianza del personale della Stazione appaltante non esonera l'Impresa dalle responsabilità circa l'esatto adempimento degli ordini e la perfetta esecuzione delle opere stesse secondo i disegni nonché la scrupolosa osservanza delle regole dell'arte e l'ottima qualità di ogni materiale impiegato, anche se eventuali deficienze fossero passate inosservate al momento della esecuzione. La Stazione appaltante si riserva, quindi, ogni più ampia facoltà di indagine e di sanzione ivi compresa la demolizione e il rifacimento a complete spese dell'appaltatore delle opere male eseguite a giudizio insindacabile della D.L. in qualsiasi momento anche posteriore alla esecuzione delle opere e fino al collaudo definitivo. Qualunque sia l'importanza delle opere da eseguire spetta sempre all'Appaltatore la responsabilità piena ed unica della rispondenza della esecuzione alla progettazione non rimanendo detta responsabilità per nulla sminuita per effetto di revisione o di eventuali modifiche suggerite dalla D.L. ed accettate dall'Impresa;
  - 36) La pulizia di tutte le opere realizzate e degli spazi esterni, lo sgombero di ogni opera provvisoria, di detriti, residui e rifiuti di cantiere entro il termine indicato dalla direzione dei lavori in relazione alla data di presa in consegna.

Per l'inosservanza degli oneri previsti dal presente articolo, farà carico all'appaltatore una sanzione pecuniaria compresa tra **€1.000,00 (mille)** e **€ 2.500,00 (duemilacinquecento)** a giudizio della D.L. per ogni articolo non osservato. La sanzione non esenterà comunque dal rispetto delle specifiche prescrizioni del suddetto articolo, salvi i casi in cui è prevista la risoluzione del contratto.

Per quanto non espressamente sopra indicato si rimanda al D.Lgs. 50/2016, al Regolamento Attuativo vigente ed al Capitolato Generale d'Appalto e alla Legge R.T. n.38 del 13/07/2007 e al regolamento attuativo DPGR n.45/R 07/10/08.

#### **Art. 4 OBBLIGHI DELL'APPALTATORE NEI CONFRONTI DEGLI OPERAI DIPENDENTI.**

L'appaltatore è tenuto al rispetto degli obblighi relativi alle assicurazioni sociali e all'Istituto Nazionale Assicurazioni e Malattie. Si trascrivono le seguenti condizioni normative e retributive dei contratti collettivi di lavoro che l'appaltatore avrà l'obbligo di osservare.

1) Nell'esecuzione dei lavori che formano oggetto del presente appalto, l'impresa si obbliga ad applicare integralmente tutte le norme contenute nel contratto collettivo nazionale di lavoro per gli operai dipendenti dalle aziende industriali edili ed affini e negli accordi locali integrativi dello stesso, in vigore per il tempo e nella località in cui si svolgono detti lavori.

Ove non siano stati localmente stipulati i predetti contratti integrativi per le imprese artigiane, queste si obbligano ad applicare il locale contratto integrativo stipulato per i lavoratori dell'industria edile, le clausole di questo prevalendo su eventuali clausole incompatibili de C.C.N.L. dei lavoratori dell'impresa edili e artigiane.

Le imprese si obbligano ad osservare integralmente gli oneri di contribuzione e di accantonamento inerenti alle Casse Edili ed agli Enti Scuola contemplati dagli accordi collettivi per l'industria edile.

Tali obblighi potranno, in via alternativa, essere soddisfatti dalle imprese artigiane mediante contribuzioni ed accantonamenti a favore di Casse Edili ed Enti Scuole Artigiani, se ed in quanto costituiti ed operanti a norma della contrattazione collettiva di categoria.

Le imprese invitate si obbligano ad applicare i contratti e gli accordi di cui ai precedenti commi anche dopo la scadenza e fino alla loro sostituzione e, se cooperative, anche nei rapporti con i soci.

All'applicazione ed al rispetto dei contratti ed accordi predetti debbono obbligarsi anche le imprese eventualmente non aderenti alle associazioni di categoria stipulanti o che recedono da esse, ed indipendentemente dalla struttura e dimensione delle imprese stesse e da ogni altra loro qualificazione giuridica, economica e sindacale.

2) L'impresa è responsabile, in rapporto alla stazione appaltante dell'osservanza delle norme anzidette da parte degli eventuali subappaltatori nei confronti dei rispettivi loro dipendenti, anche nei casi in cui il contratto collettivo non disciplini l'ipotesi del subappalto.

Il fatto che il subappalto non sia stato autorizzato non esime l'impresa dalla responsabilità di cui al comma precedente e ciò senza pregiudizio degli altri diritti della stazione appaltante.

3) In caso di inadempienza contributiva risultante dal documento unico di regolarità contributiva relativo a personale dipendente dell'affidatario o del subappaltatore o dei soggetti titolari di subappalti e cottimi di cui all'articolo 105 del D.Lgs. 50/2016, impiegato nell'esecuzione del contratto, l'Amministrazione tratterà dal certificato di pagamento l'importo corrispondente all'inadempienza per il successivo versamento diretto agli enti previdenziali e assicurativi, compresa, nei lavori, la cassa edile..

L'Impresa appaltatrice sarà tenuta ad assumere personale dipendente tramite l'Ufficio di Collocamento di Livorno, qualora venga a trovarsi nella necessità di reperire manodopera per l'esecuzione dell'appalto dei lavori di cui trattasi.

4) La scrupolosa osservanza di tutti gli obblighi imposti dall'articolo 18 del D.Lgs 81 del 09/04/08

Tra i quali emerge l'obbligatorietà, nell'ambito dello svolgimento di attività in regime di appalto e di subappalto, di munire i lavoratori di apposita tessera di riconoscimento, corredata di fotografia, contenente le generalità del lavoratore e l'indicazione del datore di lavoro.

## **Art. 5 RESPONSABILITÀ DELL'APPALTATORE NEI CONFRONTI DEI SUBAPPALTATORI**

L'Impresa è tenuta ad eseguire in proprio le opere ed i lavori compresi nel Contratto. L'Amministrazione appaltante potrà tuttavia autorizzare affidamenti in subappalto o in cottimo nei limiti e secondo le disposizioni di cui all'articolo 105 del D.Lgs. 50/2016, testo pubblicato sulla G.U. n. 91 del 19/04/16.

Ai sensi dell'art. 105 comma 4 lettera b del D.Lgs. 50/16, il concorrente che in caso di aggiudicazione intenda subappaltare o concedere in cottimo, deve indicare in sede di offerta i lavori o le parti di opere ovvero i servizi e le forniture o parti di servizi e forniture che intendono subappaltare o concedere in cottimo; l'eventuale subappalto non può superare la quota del **30%** dell'importo complessivo del contratto.

Per le opere rilevanti, individuate all'interno del bando di gara, quali strutture, impianti e opere speciali, l'eventuale subappalto non può superare il **30%** dell'importo delle opere e non può essere, senza ragioni obiettive, suddiviso.

L'affidamento dei lavori in subappalto è vincolato alla previa autorizzazione da parte dell'Amministrazione.

Il contratto di subappalto dovrà essere depositato presso la Stazione Appaltante almeno venti giorni prima della data di effettivo inizio delle relative lavorazioni e in particolare il subappaltante dovrà applicare gli stessi prezzi risultanti dall'aggiudicazione, con ulteriore ribasso non superiore al 20% (c.14 art. 105 D.Lgs. 50/16).

Unitamente al contratto dovrà essere trasmessa la certificazione attestante il possesso dei requisiti previsti dalla normativa vigente per la qualificazione delle Imprese.

Nei cartelli esposti all'esterno del cantiere devono essere indicati anche i nominativi di tutte le imprese subappaltatrici.

L'esecuzione delle prestazioni affidate in subappalto non può formare oggetto di ulteriore subappalto.

In caso di subappalto senza che ci sia stata l'autorizzazione dell'Amministrazione verrà applicato quanto disposto dall'art.21 della L.13.09.1982 n.646, compresa la facoltà di chiedere la risoluzione del contratto.

Le imprese subappaltatrici sono tenute al rispetto del Piano di Sicurezza e Coordinamento nonché del Piano Operativo di Sicurezza o dell'eventuale Piano Sostitutivo della sicurezza.

## **Art. 6 SPESE CONTRATTUALI E ONERI FISCALI**

Tutte le spese di contratto, di registro, per diritti di segreteria, per ogni copia degli atti e disegni, per modelli, stampati e simili occorrenti per l'esecuzione del contratto, sono a carico dell'appaltatore.

In presente appalto è soggetto alle norme relative alla istituzione e disciplina dell'imposta sul valore aggiunto di cui al D.P.R.26.10.72 n.633 e successive modificazioni ed integrazioni, nonché alla disciplina dell'Imposta di Registro e di Bollo.

## **Art. 7 DOMICILIO DELL'APPALTATORE**

A tutti gli effetti legali relativi al presente atto, l'Impresa dichiara di eleggere domicilio presso la sede casa Comunale di Livorno e per qualsiasi competenza legale si rimanda al Foro di Livorno nei limiti da questo previsto.

## **Art. 8 CONSEGNA DEI LAVORI**

La consegna dei lavori, preceduta eventualmente dalla consegna dell'area di cantiere, intesa come ordine d'immediato inizio dei medesimi, potrà essere effettuata subito dopo che l'aggiudicazione definitiva è divenuta efficace.

Il direttore dei lavori comunica all'esecutore il giorno ed il luogo in cui deve presentarsi per ricevere la consegna dei lavori, munito del personale idoneo nonché delle attrezzature e materiali necessari per eseguire, ove occorra, il tracciamento dei lavori secondo i piani, profili e disegni di progetto. Sono a carico dell'esecutore gli oneri per le spese relative alla consegna, alla verifica ed al completamento del tracciamento che fosse stato già eseguito a cura dell'Amministrazione.

La consegna deve risultare da un verbale contenente i seguenti elementi:

a) le condizioni e circostanze speciali locali riconosciute e le operazioni eseguite, come i tracciamenti, gli accertamenti di misura, i collocamenti di sagome e capisaldi;

b) le aree, i locali, l'ubicazione e la capacità delle cave e delle discariche concesse o comunque a disposizione dell'esecutore, unitamente ai mezzi d'opera per l'esecuzione dei lavori;

c) la dichiarazione che l'area su cui devono eseguirsi i lavori è libera da persone e cose e, in ogni caso, che lo stato attuale è tale da non impedire l'avvio e la prosecuzione dei lavori.

Il verbale è redatto in doppio esemplare firmato dal direttore dei lavori e dall'esecutore.

Dalla sua data decorre il termine utile per il compimento dei lavori.

Tale verbale rappresenterà anche l'autorizzazione e i permessi per scarichi, ecc. e dovrà essere tenuto in cantiere.

In caso di consegna parziale a causa di temporanea indisponibilità delle aree e degli immobili, l'esecutore è tenuto a presentare un programma di esecuzione dei lavori che preveda la realizzazione prioritaria delle lavorazioni sulle aree e sugli immobili disponibili.

Qualora l'appaltatore non si presenti nel giorno stabilito a ricevere la consegna dei lavori, gli sarà assegnato un termine perentorio trascorso inutilmente il quale l'Amministrazione ha diritto di risolvere il contratto e a incamerare la cauzione provvisoria.

#### **Art. 9 TEMPO UTILE PER DARE COMPIUTI I LAVORI PENALE PER IL RITARDO**

Il tempo massimo per dare compiuti i lavori, è fissato in 365 (trecentosessantacinque) giorni consecutivi, decorrenti dalla data della consegna, da farsi risultare con apposito verbale sottoscritto dalle parti. Per ogni giorno di ritardo al compimento dei lavori, oltre al termine sopra stabilito, l'appaltatore sarà tenuto a pagare una pena pecuniaria pari all'uno per mille (1%) dell'ammontare netto contrattuale, e comunque complessivamente non superiori al 10%, da determinare in relazione all'entità delle conseguenze legate all'eventuale ritardo, incluse le spese di prorogazione. Qualora il ritardo nell'adempimento determina un importo massimo della penale superiore al dieci per cento dell'importo contrattuale il responsabile del procedimento propone all'organo competente la risoluzione del contratto per grave inadempimento.

#### **Art. 10 SOSPENSIONE E RIPRESA LAVORI - PROROGHE**

Le sospensioni dei lavori e le proroghe sono regolate dall'articolo 107 del D.Lgs. 50/2016.

I verbali di sospensione e ripresa dei lavori, redatti ai sensi delle norme vigenti, dovranno essere trasmessi dalla D.L. al Responsabile del procedimento entro 5 giorni dalla data della loro redazione.

L'appaltatore che per cause a lui non imputabili non sia in grado di ultimare i lavori nel termine fissato può richiederne la proroga, con congruo anticipo rispetto alla scadenza del termine contrattuale.

#### **Art. 11 DANNI DI FORZA MAGGIORE**

L'Impresa non avrà diritto ad alcun indennizzo per avarie, perdite o danni che si verificassero nel cantiere durante il corso dei lavori, se non in casi di forza maggiore e nei limiti consentiti dal contratto.

In particolare nessun compenso sarà dovuto dalla stazione appaltante per danni o perdite di materiali non ancora posti in opera, di utensili di ponti di servizio, ecc..

Non saranno considerati danni di forza maggiore: gli smottamenti e le solcature delle scarpate; i dissesti del corpo stradale; gli interrimenti degli scavi, delle cunette, dei fossi di guardia; gli ammaloramenti della sovrastruttura stradale, causati da precipitazioni anche di eccezionale intensità o geli.

L'Impresa è tenuta a prendere tempestivamente, ed efficacemente, tutte le misure preventive atte ad evitare questi danni e comunque è tenuta alla loro riparazione a sua cura e spese.

Nel caso di danni causati da forza maggiore l'appaltatore ne fa denuncia al direttore dei lavori entro cinque giorni da quello dell'evento, a pena di decadenza dal diritto al risarcimento. L'appaltatore non può sospendere o rallentare l'esecuzione dei lavori, tranne che in quelle parti per le quali lo stato delle cose debba rimanere inalterato sino a che non sia eseguito l'accertamento dei fatti.

4. Appena ricevuta la denuncia, il direttore dei lavori procede, redigendone processo verbale alla presenza dell'esecutore, all'accertamento:

- a) dello stato delle cose dopo il danno, rapportandole allo stato precedente;
  - b) delle cause dei danni, precisando l'eventuale causa di forza maggiore;
  - c) dell'eventuale negligenza, indicandone il responsabile;
  - d) dell'osservanza o meno delle regole dell'arte e delle prescrizioni del direttore dei lavori;
  - e) dell'eventuale omissione delle cautele necessarie a prevenire i danni;
- al fine di determinare il risarcimento al quale può avere diritto l'esecutore stesso.

Nessun indennizzo è dovuto quando a determinare il danno abbia concorso la colpa dell'appaltatore o delle persone delle quali esso è tenuto a rispondere.

I danni prodotti da piene ai lavori di difesa di corsi d'acqua o di mareggiate, quando non siano stati ancora iscritti a libretto, sono valutati in base alla misurazione provvisoria fatta dagli assistenti di cantiere. Mancando la misurazione, l'esecutore può dare la dimostrazione dei lavori eseguiti con idonei mezzi di prova, ad eccezione di quella testimoniale.

#### **Art. 12 RESCISSIONE DEL CONTRATTO**

La Stazione Appaltante si riserva la più ampia facoltà, liberamente riconosciuta ed accettata senza eccezione dalla ditta appaltatrice, di rescindere in ogni momento il contratto con un preavviso non inferiore a venti giorni, mediante l'invio di lettera raccomandata alla Impresa stessa.

In tal caso, ai sensi dell'art.109 D.Lgs. 50/2016, oltre al decimo dell'importo delle opere non eseguite spetterà all'Impresa il pagamento dei lavori regolarmente eseguiti e dei materiali utili forniti a piè d'opera ed accettati dalla D.L., valutati ai prezzi di elenco maggiorato dell'aumento o dedotto il ribasso d'asta senza che l'Impresa possa avanzare alcuna pretesa di indennizzi.

#### **Art. 13 ANTICIPAZIONE**

Per la corresponsione all'appaltatore dell'anticipazione si applica il comma 18 dell'articolo 35 del D.Lgs. 50/2016.



## **Art. 14 PAGAMENTI IN ACCONTO E MODI VALUTAZIONE LAVORI**

I lavori del progetto di cui il presente Capitolato è parte integrante saranno valutati **a misura**.

Per detti lavori, si procederà alla misurazione diretta delle quantità di lavoro eseguite per le categorie di lavoro affidate a misura.

Durante il corso dei lavori saranno rilasciati a favore dell'appaltatore, certificati di pagamento in acconto, sempre che l'importo dei lavori eseguiti e contabilizzati al netto: del ribasso d'asta, delle prescritte ritenute e delle precedenti rate, non sia inferiore a **€ 80.000,00**.

Su ogni certificato saranno effettuate le ritenute a garanzia secondo le norme vigenti.

Il Direttore dei Lavori ha facoltà di richiedere all'appaltatore e agli eventuali subappaltatori il DURC (Documento Unico di Regolarità Contributiva) in sede di emissione dei certificati di pagamento per gli stati di avanzamento lavori. Nei casi di irregolarità contributiva accertata, il Responsabile del Procedimento ha facoltà di applicare quanto disposto dall'art. 4 comma 3 del presente Capitolato.

Gli eventuali costi della sicurezza (non soggetti a ribasso d'asta) verranno liquidati ad ogni singolo SAL in maniera percentualmente proporzionale all'importo lordo del SAL stesso (vedi art. 2 del Capitolato Speciale d'Appalto).

Compilato il verbale di ultimazione dei lavori, si rilascerà il certificato per l'ultima rata di acconto qualunque sia l'importo, al netto come sopra.

Qualora l'appalto sia stipulato con ditta commerciale o società, dovrà essere designata la persona incaricata a riscuotere in nome e per conto della stessa ditta o società incaricata che dovrà risultare dallo statuto o dall'atto costitutivo della Società o da altro documento da allegarsi al contratto.

È comunque fatto obbligo alla ditta commerciale o società, in qualunque caso di decadenza o cessazione dalla carica della persona in precedenza autorizzata a riscuotere (anche se tale cessazione o decadenza avvenga ope-*legis* o per fatto previsto dallo statuto sociale e sia pubblicata nei modi di legge) di notificare tempestivamente all'Amm.ne appaltante l'avvenuta decadenza o cessazione.

In difetto di tale notifica la Stazione Appaltante non assume alcuna responsabilità per i pagamenti eseguiti alla persona precedentemente delegata alla riscossione.

Le cessioni anche parziali del corrispettivo di appalto sono regolate dall'art. 106 del D.Lgs. 50/2016.

## **Art. 15 CONTO FINALE**

Ai sensi dell'art. 200 del Regolamento di esecuzione e attuazione del codice, D.P.R. 207/2010, si stabilisce che, accertata l'ultimazione dei lavori da farsi risultare con apposito verbale, sarà provveduto alla compilazione del conto finale entro tre mesi da tale data.

## **Art. 16 CERTIFICATO DI REGOLARE ESECUZIONE O COLLAUDO**

Il certificato di collaudo sarà sostituito dal certificato di regolare esecuzione che sarà emesso entro sei mesi dalla data di ultimazione lavori; per i lavori d'importo inferiore alla soglia europea, sarà facoltà dell'Amministrazione sostituire il collaudo con il certificato di regolare esecuzione.

Il certificato di collaudo o certificato di regolare esecuzione ha carattere provvisorio e assume carattere definitivo decorsi due anni dall'emissione del medesimo.

Caso per caso l'Amministrazione ha la facoltà di adottare la procedura di "chiamata in cassa" delle somme e/o garanzie prestate.

Il collaudo, nei casi previsti dell'art. 150 del D. Lgs.50/2016, sarà eseguito in corso d'opera.

Il collaudo statico dovrà essere in ogni caso effettuato entro 60 giorni in base all'art.67 del D.P.R. 06/06/01 n.380 (Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia).

Resta però inteso che non appena ultimate in parte o in tutto le opere oggetto del presente appalto, l'Amm.ne appaltante potrà disporre per l'uso cui sono destinate, previo parziale collaudo provvisorio; l'appaltatore, mentre non ha diritto ad alcun speciale compenso, resta esonerato da ogni conseguente responsabilità, eccetto quelle dipendenti da imperfezioni di esecuzione od altre consimili manchevolezze, quali siano risultanti al momento del collaudo provvisorio dell'opera finita.

La manutenzione di tutte indistintamente le opere resta però sempre a carico dell'appaltatore fino al collaudo provvisorio.

Salvo quanto disposto dall'art.1669 del codice civile, l'impresa risponde per la difformità e i vizi dell'opera, ancorché riconoscibili, purché denunciati dalla Stazione appaltante prima che il certificato di collaudo/regolare esecuzione assuma carattere definitivo.

## **Art. 17 PAGAMENTO A SALDO**

Il pagamento della rata di saldo, disposto previa garanzia fidejussoria, sarà effettuato entro 90 giorni dalla emissione del certificato di collaudo provvisorio ovvero certificato di regolare esecuzione. La fideiussione a garanzia richiesta è costituita dall'importo pari alla rata di saldo maggiorata del tasso d'interesse legale applicato al periodo intercorrente tra il collaudo provvisorio o certificato di regolare esecuzione ed il rispettivo certificato definitivo.

In sede di pagamento del saldo finale, il Direttore dei Lavori ha facoltà di richiedere all'appaltatore e agli eventuali subappaltatori il DURC (Documento Unico di Regolarità Contributiva). Nei casi di irregolarità contributiva accertata, il Responsabile del Procedimento ha facoltà di applicare quanto disposto dall'art. 4 comma 3 del presente Capitolato.

Il pagamento della rata di saldo non costituisce presunzione di accettazione dell'opera ai sensi dell'art.1666 C.C..

## **Art. 18 DELLA MANUTENZIONE**

L'Impresa ha l'onere della gratuita manutenzione delle opere da lei eseguite sino al certificato di regolare esecuzione dell'intera opera, e pertanto fino a tale epoca dovrà eseguire tutte le riparazioni che si renderanno necessarie per mantenere in efficienza le opere stesse, senza avere alcun diritto a risarcimenti o rimborsi.

La D.L. potrà dare ordini all'impresa di procedere alla riparazione, prescrivendone il termine.

L'Impresa anche in presenza di traffico sulle sedi stradali già in esercizio, eseguirà la gratuita manutenzione, provvedendo a tutte le segnalazioni provvisorie necessarie alla sicurezza del cantiere.

Ove l'impresa non effettui le riparazioni ordinate, è in facoltà della stazione appaltante di farle eseguire senza altra procedura in economia o a mezzo di altre imprese a tutte spese dell'appaltatore, qualunque sia l'ammontare dei lavori effettuati.

## **Art. 19 VARIAZIONE DELLE OPERE PROGETTATE E NUOVI PREZZI**

I lavori e le prestazioni da realizzarsi risultano dal quadro complessivo degli elaborati progettuali allegati al contratto e posti a base di gara.

L'eventuale necessità di introdurre variazione ai lavori progettati avverrà nei limiti di cui all'art. 106 D. Lgs.50/2016; qualora l'importo dei lavori in variante resti compreso nel quinto dell'importo originario del contratto, l'impresa non potrà trarne motivo per avanzare pretese di compensi o indennizzi, di qualsiasi natura e specie, diversi da quelli stabiliti nel presente Capitolato.

Qualora si rendesse necessaria l'esecuzione di lavori non previsti nel contratto, l'Impresa ha l'obbligo di eseguirli e si procederà alla determinazione dei Nuovi Prezzi. I nuovi prezzi delle lavorazioni o materiali si valutano:

- a) desumendoli dal prezzario regionale ;
- b) ragguagliandoli a quelli di lavorazioni consimili compresi nel contratto;
- c) quando sia impossibile l'assimilazione, ricavandoli totalmente o parzialmente da nuove regolari analisi.

I nuovi prezzi sono determinati in contraddittorio tra il direttore dei lavori e l'esecutore, ed approvati dal responsabile del procedimento.

Tutti i nuovi prezzi, valutati a lordo, sono soggetti al ribasso d'asta.

Se l'esecutore non accetta i nuovi prezzi così determinati e approvati, la stazione appaltante può ingiungergli l'esecuzione delle lavorazioni o la somministrazione dei materiali sulla base di detti prezzi, comunque ammessi nella contabilità; ove l'esecutore non iscriva riserva negli atti contabili nei modi previsti dal presente regolamento, i prezzi si intendono definitivamente accettati.

Non sono considerati varianti in corso d'opera gli interventi disposti dal direttore dei lavori per risolvere aspetti di dettaglio, finalizzati a prevenire e ridurre i pericoli di danneggiamento o deterioramento dei beni tutelati, che non modificano qualitativamente l'opera e che non comportino una variazione in aumento o in diminuzione superiore al venti per cento del valore di ogni singola categoria di lavorazione, nel limite del dieci per cento dell'importo complessivo contrattuale

L'Impresa non potrà introdurre variazioni o addizioni di sorta al lavoro assunto senza aver ricevuto ordine scritto dalla D.L.. Non verranno del pari contabilizzati i lavori non previsti e non espressamente autorizzati.

## **Art. 20 LAVORI ESEGUITI IN ECONOMIA**

Per l'esecuzione dei lavori non previsti e per i quali non si intenda o non si possa procedere alla determinazione di nuovi prezzi, si provvederà in economia con operai, mezzi d'opera e provviste fornite dall'appaltatore.

Gli operai per i lavori in economia dovranno essere idonei ai lavori da eseguirsi e provvisti dei necessari attrezzi.

Le macchine e gli 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 perché siano sempre in buono stato di servizio.

I mezzi di trasporto per i lavori in economia dovranno essere tenuti in pieno stato di efficienza.

Le forniture di mano d'opera, materiali e mezzi d'opera in economia, da registrare nelle apposite liste settimanali, distinte per giornate, e suddivise per qualifiche della mano d'opera e provviste, come disposto dall'art. 187 del Regolamento Attuativo D.P.R. 207/10 saranno contabilizzate in base ai prezzi contrattuali e se mancanti si provvederà alla formulazione di Nuovi Prezzi.

## **Art. 21 PROGRAMMA DEI LAVORI E MODO DI ESECUZIONE**

Appena eseguita la consegna, l'appaltatore dovrà provvedere ad organizzare convenientemente il cantiere per essere in grado di sviluppare i lavori in relazione al tempo assegnato per compierli, nel rispetto del Piano della Sicurezza e Coordinamento allegato al contratto.

Sia la ditta che la D.L. potranno comunque proporre un diverso programma e modo di allestimento del cantiere; tali proposte potranno essere accettate e fatte proprie dal Coordinatore alla esecuzione dei lavori che provvederà ad adeguare i piani suddetti.

L'appaltatore sarà tenuto ad uniformarsi ai programmi e alle disposizioni che gli verranno impartite a riguardo, senza che per questo possa avanzare pretese o compensi di qualsiasi sorta. Tutti i lavori saranno eseguiti secondo le migliori regole d'arte ed in esecuzione delle prescrizioni che, in corso d'opera, verranno date dalla D.L. la quale potrà ordinare la demolizione ed il rifacimento di quanto non eseguito in conformità alle disposizioni contrattuali e alle buone regole dell'arte, restando salvo il diritto della Stazione appaltante al risarcimento di eventuali danni.

Sul luogo dei lavori l'Impresa dovrà sempre tenere un proprio incaricato, munito dei necessari poteri, al quale verranno comunicati, a tutti gli effetti, gli ordini verbali o scritti della D.L. (da annotare sul Giornale dei Lavori che andrà, ove possibile, conservato in cantiere).

L'Impresa non potrà rifiutarsi di dare immediata esecuzione alle disposizioni ed agli ordini della D.L., relativamente al modo di esecuzione dei lavori ed alla sostituzione del materiale giudicato non idoneo, fatta salva la facoltà dell'Appaltatore di fare le proprie osservazioni e riserve secondo quanto prescritto dall'art. 191 del Regolamento Attuativo D.P.R. 207/10.

L'Impresa è comunque responsabile, a tutti gli effetti, dell'esatto adempimento delle condizioni di contratto e della perfetta esecuzione e riuscita delle opere affidate, restando inteso esplicitamente che le prescrizioni contenute nel presente Capitolato sono da essa riconosciute idonee al raggiungimento di tali scopi; la loro osservanza non limita, né riduce, la sua responsabilità.

La presenza sul luogo dei lavori del personale dell'Amministrazione, sia esso di direzione o di sorveglianza, l'eventuale approvazione di opere, di disegni e di calcoli e l'accettazione di materiale da parte della D.L., non limitano né riducono la piena ed incondizionata responsabilità dell'Impresa.

L'Impresa attuerà sempre, a sue cure e spese, tutti i provvedimenti necessari per prevenire danni sia alle persone che alle cose, ed è responsabile del comportamento di tutti i suoi dipendenti per quanto attiene all'osservanza di quanto stabilito dalle disposizioni di legge, alle norme di comune prudenza ed al rispetto degli obblighi di cui ai piani di sicurezza, per prevenire ed evitare qualsiasi incidente.

Il Direttore Lavori è incaricato del solo controllo della corretta osservanza del contratto, non sovrintendendo in concreto al cantiere, non ha in conseguenza alcuna competenza né responsabilità diretta nell'organizzazione, conduzione e direzione del cantiere medesimo, e quindi non è destinatario delle norme di prevenzione ed infortuni sul lavoro.

Pertanto la Stazione Appaltante, il D.L. e tutto il personale addetto alla sorveglianza per l'esecuzione delle opere restano completamente sollevati da ogni responsabilità civile e penale per eventuali danni arrecati a persone ed a cose, sia per quanto si riferisce ai terzi, all'Impresa ed all'Amministrazione stessa, in conseguenza dell'esecuzione dei lavori oggetto dell'appalto.

## **Art. 22 DISPOSIZIONI GENERALI RELATIVE AI PREZZI E LORO INVARIABILITA'**

Nel presente articolo, per prezzi e/o loro descrizione si intendono, a seconda del tipo di gara esperito per l'aggiudicazione del lavoro, sia quelli di progetto messi a base d'asta, sia quelli offerti in fase di gara dall'aggiudicatario.

Tutti i prezzi relativi ad opere compiute si riferiscono a lavori interamente finiti in ogni parte a perfetta regola d'arte ed in piena rispondenza allo scopo cui sono destinati e sono comprensivi di tutti gli oneri ed allee relativi.

Nei prezzi, s'intendono sempre compresi e compensati (salvo diversa indicazione riportata nella descrizione dell'art. di elenco prezzi) i seguenti oneri:

- per le **MERCEDI** ogni spesa per fornire gli operai degli attrezzi ed utensili del mestiere e la loro manutenzione e, nel caso di lavoro notturno o di lavori da eseguirsi in locali scuri, anche la spesa per l'illuminazione dei cantieri di lavoro, nonché la quota per assicurazioni sociali per infortuni ed accessori di ogni specie, le spese generali ed il beneficio dell'impresa nei termini di legge.

- per i **NOLI E TRASPORTI** ogni spesa per dare a piè d'opera i macchinari e mezzi d'opera efficienti e pronti all'uso. Sono inoltre comprese le quote di ammortamento, le spese di manutenzione, i pezzi di ricambio, i periodi di inoperosità, le spese generali ed il beneficio dell'impresa. Nei prezzi per i trasporti, per il funzionamento dei mezzi d'opera, si intendono compresi altresì il personale necessario con tutti gli oneri del precedente capo dell'elenco prezzi, il carburante, gli oli, i grassi e quanto occorra per dare funzionanti i mezzi noleggiati.

- per i **MATERIALI A PIE' D'OPERA** ogni spesa per la fornitura dei materiali, il loro trasporto in sito, carico e scarico, tasse di ogni genere, nessuna esclusa, sprechi, spese generali e beneficio dell'impresa e quanto altro occorra per dare i materiali stessi pronti a piè d'opera sul luogo di impiego.

- per le **OPERE COMPIUTE** da compensarsi a misura od a corpo, tutte le spese per mezzi d'opera e assicurazioni di ogni genere, tutte le forniture occorrenti, la lavorazione dei materiali, il loro impiego e la posa in opera secondo le specificazioni contenute nel Capitolato Speciale di Appalto, le spese generali, il beneficio d'impresa, le spese e le indennità di passaggio attraverso proprietà private e di occupazione di suolo pubblico o privato.

Sono inoltre comprese le spese per opere provvisorie, nessuna esclusa; carichi, trasporti, scarichi, ponteggi e palchi di servizio e quant'altro occorre per dare il lavoro compiuto nei modi prescritti a perfetta regola d'arte, e ciò anche quando non sia esplicitamente dichiarato in corrispondenza di ciascun prezzo qualora questi siano offerti dall'Impresa.

Per i lavori a misura che dovessero richiedere prestazioni straordinarie notturne o festive di personale, non sarà corrisposto dall'Amministrazione alcun compenso o maggiorazione, restando ogni conseguente onere a carico dell'Impresa.

I prezzi medesimi, per lavori a misura o a corpo, nonché il compenso a corpo, diminuiti del ribasso offerto, si intendono accettati dall'Appaltatore in base a calcoli di sua convenienza, a tutto suo rischio.

Essi sono fissi e invariabili; l'Amministrazione si riserva comunque la facoltà di rivedere e modificare i prezzi di appalto alle condizioni e nei limiti di cui alle disposizioni legislative vigenti all'atto dell'aggiudicazione.

Rimangono compresi, anche se non specificatamente richiamati, gli oneri relativi a tutti gli obblighi di cui al presente Capitolato Speciale di Appalto e in particolare gli oneri per l'esecuzione dei lavori secondo le vigenti normative in materia di sicurezza e secondo i Piani di Sicurezza.

## **Art. 23 ADEGUAMENTO PREZZI**

Le variazioni di prezzo in aumento o in diminuzione possono essere valutate, sulla base del prezzario regionale di riferimento, solo per l'eccedenza rispetto al dieci per cento rispetto al prezzo originario e comunque in misura pari alla metà.

## **Art. 24 PRESCRIZIONI RELATIVE AI LAVORI DA ESEGUIRE**

Le prestazioni da fornire e i lavori da eseguire sono indicate nel progetto definitivo, costituito dal presente Schema di contratto, dal capitolato speciale, dalla relazione tecnica descrittiva delle opere da realizzare, dal computo metrico, dall'elenco descrittivo delle voci e dagli elaborati grafici.

Tali elaborati costituiscono gli elementi tra loro complementari ed integrativi del progetto e le indicazioni contenute nei documenti progettuali sono da valutarsi congiuntamente tra loro per la determinazione delle esatte dimensioni delle prestazioni e dei lavori da attuare.

Gli aspetti prestazionali richiesti dalla Stazione Appaltante costituiscono l'elemento caratterizzante del progetto rispetto al quale la ditta appaltatrice è obbligata all'esecuzione di tutte le opere necessarie di cui dovrà tenere conto nella propria offerta economica.

I lavori previsti comprendono l'insieme delle tipologie necessarie per la costruzione dell'opera citata e le varie categorie di lavoro sono state raggruppate omogeneamente e elencate nell'articolo 2 del Capitolato Speciale di Appalto.

I vari materiali, le categorie di lavori e le prestazioni da impiegarsi o realizzarsi nelle opere potranno subire piccole variazioni derivanti dall'adeguamento tecnico applicativo in sede di esecuzione, secondo le indicazioni che la Stazione Appaltante riterrà opportuno dare tramite la D.L., in modo che a lavori ultimati resti l'esatta documentazione tecnica.

Tali variazioni delle quantità non potranno comunque modificare il quadro economico dei lavori ad eccezione dei casi e con le procedure previste dall'art. 106 del D.Lgs. 50/2016.

## **Art. 25 DEFINIZIONE DELLE CONTROVERSIE**

Per la definizione delle controversie che potranno insorgere tra le parti si applicano le Norme in materia nonché gli artt. 205 e 209 del D.Lgs. 50/2016. Eventuali controversie che dovessero avere luogo fra la Stazione Appaltante e l'Impresa per le quali non sia stata raggiunta una definizione in via amministrativa, nonché per le riserve che quest'ultima avesse avanzato in corso d'opera pur uniformandosi sempre alle disposizioni della D.L., senza poter sospendere e ritardare l'esecuzione delle opere appaltate, potranno essere deferite ad arbitri. Resta inteso che in caso di riserve e controversie il Foro territorialmente competente sarà esclusivamente quello di Livorno.

#### **Art. 26 CLAUSOLE VESSATORIE**

Le eventuali clausole vessatorie saranno oggetto di apposita approvazione in forma specifica in fase di firma del contratto, ai sensi dell'art. 1341 del C.C..

## **CAPITOLATO SPECIALE DI APPALTO**

## Capo Primo

### OGGETTO E IMPORTO DELL'APPALTO DESIGNAZIONE DELLE PRINCIPALI OPERE

#### 1. OGGETTO DELL'APPALTO

L'appalto è dato a misura ed ha per oggetto "1° Lotto Lavori per interventi di risanamento del tetto e facciate della Scuola G.Micheli in piazza XI Maggio a Livorno".

#### 2. IMPORTO DELL'APPALTO, DISCIPLINA DELLE VARIANTI, QUALIFICAZIONE E DISCIPLINA DEL SUBAPPALTO

L'appalto ammonta complessivamente a € 441.500,00 di cui € 42.236,97 per oneri relativi all'attuazione dei Piani di Sicurezza e Coordinamento, non ribassabili.

L'importo della mano d'opera è di € 252.353,57 pari al 57,16% sui lavori.

Si precisa che le opere oggetto del presente Capitolato Speciale rientrano nelle categorie appresso riportate:

A	Opere della categoria prevalente				
			Inc. % mano d'opera	Importo mano d'opera	Valore incid. % mano d'opera su lavoro
	<b>OG2</b> subappaltabili entro il limite del 30%				
A.1	Mano d'opera	€ 1.579,20	0,36%	€ 1.247,52	79,00%
A.2	Opere provvisionali - sicurezza	€ 41.376,57	9,37%	€ -	0,00%
A.3	Demolizioni	€ 54.118,40	12,26%	€ 41.926,12	77,47%
A.4	Coperture	€ 138.782,55	31,43%	€ 72.495,81	52,24%
A.5	Intonaci	€ 170.706,28	38,67%	€ 111.315,12	65,21%
A.6	Tinteggiature	€ 34.937,00	7,91%	€ 25.369,00	72,61%
	<b>Totale opere della categoria prevalente OGI</b>	<b>€ 441.500,00</b>	<b>100,00%</b>	<b>€ 252.353,57</b>	<b>57,16%</b>
	Sommano lavori	€ 441.500,00	100,00%		
	Oneri di sicurezza non soggetti a ribasso d'asta	€ 42.236,97			
	Totale lavori soggetti a ribasso d'asta	€ 399.263,03			

Ai fini della disciplina delle varianti e degli interventi disposti dal direttore dei lavori ai sensi dell'articolo 149, comma 1, del Decreto Legislativo 50/2016, la verifica dell'incidenza delle eventuali variazioni è desunta dagli importi netti dei gruppi di lavorazione indicati nel suddetto quadro.

Ai sensi degli artt. 48, 89 c.11 e 105 del D.Lgs. 50/2016 e dell'art.10 del D.P.R. 207/10, si precisa che le opere oggetto del presente Capitolato rientrano nella categoria prevalente **OG2 - Restauro e manutenzione dei beni immobili sottoposti a tutela ai sensi delle disposizioni in materia di beni culturali e ambientali**.

Resta inteso che dopo l'aggiudicazione e prima della firma del contratto la ditta redigerà a sue spese e cura il Piano Operativo di Sicurezza di cui al D.Lgs. 81/08. Sono a carico dell'impresa tutte le procedure richieste per la lavorazione e smaltimento dei rifiuti speciali e/o tossici, tutte le spese e gli oneri per la redazione e presentazione dei piani di lavoro e sicurezza oltre a quelli per le certificazioni e le eventuali tasse o imposte, che sono sempre e comunque a carico della ditta appaltatrice.

E' facoltà dell'impresa presentare dopo l'aggiudicazione e prima della firma del contratto le eventuali proposte integrative al Piano di Sicurezza e Coordinamento ed al Piano Generale di Sicurezza così come previsto dall'art. 100 comma 5 del D.Lgs. 81/08, rimane altresì facoltà della Amm.ne accettarle o meno ed eventualmente integrare il Piano di Sicurezza e Coordinamento ed al Piano Generale di Sicurezza con le proposte fatte dall'impresa.

L'importo contrattuale sarà quello che risulterà dall'offerta aggiudicataria, ricadendo a carico dell'Appaltatore tutti gli oneri che si intendono compensati con l'importo dei lavori al netto del ribasso d'asta.

I prezzi contrattuali sono quelli ricompresi nell'offerta dell'Impresa aggiudicataria.

### 3. DESCRIZIONE SOMMARIA DELLE OPERE

Le opere oggetto dell'appalto, salvo quelle speciali prescrizioni e indicazioni che all'atto esecutivo potranno essere impartite dalla Direzione Lavori, possono sommariamente riassumersi come segue:

- *Rimozione manto e scempiato di copertura;*
- *Rifacimento copertura con posa di nuovo scempiato in pannelli, impermeabilizzazione e posa nuovo manto;*
- *Rifacimento intonaci di facciata con ricostruzione aggetto di gronda;*
- *Tinteggiatura facciata*

L'elencazione di cui sopra ha carattere esemplificativo e non esclude altre categorie di opere e di lavori previste nel progetto e meglio specificate negli elaborati progettuali.

## Capo secondo

### QUALITÀ E PROVENIENZA DEI MATERIALI MODO DI ESECUZIONE DI OGNI CATEGORIA DI LAVORO PROGRAMMA DEI LAVORI

#### 4. QUALITÀ E PROVENIENZA DEI MATERIALI IN GENERE

È regola generale intendere che i materiali, i prodotti ed i componenti occorrenti, realizzati con materiali e tecnologie tradizionali e/o artigianali, necessari per i lavori di conservazione, restauro, risanamento o manutenzione da eseguirsi sui manufatti potranno provenire da quelle località che l'Appaltatore riterrà di sua convenienza, purché, ad insindacabile giudizio della Direzione dei Lavori e degli eventuali organi competenti preposti alla tutela del patrimonio storico, artistico, architettonico, archeologico e monumentale, siano riconosciuti della migliore qualità, simili, ovvero il più possibile compatibili con i materiali preesistenti, così da non risultare incompatibili con le proprietà chimiche, fisiche e meccaniche dei manufatti oggetto di intervento.

Nel caso di prodotti industriali (ad es., malte premiscelate) la rispondenza a questo capitolato potrà risultare da un attestato di conformità rilasciato dal produttore e comprovato da idonea documentazione e/o certificazione.

L'Appaltatore avrà l'obbligo, durante qualsivoglia fase lavorativa, di eseguire o fare effettuare, presso gli stabilimenti di produzione e/o laboratori ed istituti in possesso delle specifiche autorizzazioni, tutte le campionature e prove preliminari sui materiali (confezionati direttamente in cantiere o confezionati e forniti da ditte specializzate) impiegati e da impiegarsi (in grado di garantire l'efficacia e la non nocività dei prodotti da utilizzarsi) prescritte nel presente capitolato e/o stabilite dalla Direzione Lavori. Tali verifiche dovranno fare 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 (da eseguirsi secondo le prescrizioni indicate nelle raccomandazioni NorMaL) dovrà essere effettuato in contraddittorio con l'Appaltatore e sarà appositamente verbalizzato.

In particolare, su qualsiasi manufatto di valore storico-architettonico-archeologico, ovvero sul costruito attaccato, in modo più o meno aggressivo da agenti degradanti, oggetto di intervento di carattere manutentivo, conservativo o restaurativo, e se previsto dagli elaborati di progetto l'Appaltatore dovrà mettere in atto una serie di operazioni legate alla conoscenza fisico materica, patologica in particolare:

- determinazione dello stato di conservazione del costruito oggetto di intervento;
- individuazione degli agenti patogeni in aggressione;
- individuazione delle cause dirette e/o indirette nonché i meccanismi di alterazione.

Nel caso che la Direzione dei Lavori, a suo insindacabile giudizio, non reputasse idonea tutta o parte di una fornitura di materiale sarà obbligo dell'Appaltatore provvedere prontamente e senza alcuna osservazione in merito, alla loro rimozione (con altri materiali idonei rispondenti alle caratteristiche ed ai requisiti richiesti) siano essi depositati in cantiere, completamente o parzialmente in opera. Sarà inteso che l'Appaltatore resterà responsabile per quanto ha attinenza con la qualità dei materiali approvvigionati anche se valutati idonei dalla D.L., sino alla loro accettazione da parte dell'Amministrazione in sede di collaudo finale.

#### 5. ACQUA, CALCI, GESSO

##### • ACQUA

L'acqua per l'impasto con leganti idraulici od aerei (UNI EN 1008) dovrà essere dolce e limpida con un pH neutro (compreso tra 6 ed 8) con una torbidità non superiore al 2%, priva di sostanze organiche o grassi ed esente di sali (particolarmente solfati, cloruri e nitrati in concentrazione superiore allo 0,5%) in percentuali dannose e non essere aggressiva per l'impasto risultante. In caso di necessità, dovrà essere trattata per ottenere il grado di purezza richiesto per l'intervento da eseguire. In taluni casi dovrà essere, altresì, additivata per evitare l'instaurarsi di reazioni chimico - fisiche che potrebbero causare la produzione di sostanze pericolose (DM 9 gennaio 1996 - Allegato I).

Tutte le acque naturali limpide (con l'esclusione di quelle meteoriche o marine) potranno essere utilizzate per le lavorazioni. Dovrà essere vietato l'uso, per qualsiasi lavorazione, di acque provenienti da scarichi industriali o civili. L'impiego di acqua di mare, salvo esplicita autorizzazione della D.L., non sarà consentito e, sarà comunque tassativamente vietato l'utilizzo di tale acqua per calcestruzzi armati, e per strutture con materiali metallici soggetti a corrosione.

##### • CALCI

Le calci aeree ed idrauliche, dovranno rispondere ai requisiti di accettazione di cui al RD n. 2231 del 16 novembre 1939, "Norme per l'accettazione delle calci" e ai requisiti di cui alla normativa europea UNI EN 459-1:2001 "Calci da costruzione. Definizione, specifiche criteri di conformità"; UNI EN 459-2:2001 "Calci da costruzione. Metodi di prova"; UNI EN 459-3:2001 "Calci da costruzione. Valutazione di conformità".

##### *Calci aeree*

Le calci aeree (costituite prevalentemente da ossido o idrossido di calcio con quantità minori di magnesio, silicio, alluminio e ferro) sono classificate in base al loro contenuto di  $(CaO+MgO)1$ ; si distinguono in:

1) Calci calciche (CL) calci costituite prevalentemente da ossido o idrossido di calcio (il calcare calcico è un calcare che dovrà contenere dallo 0% al 5% di carbonato di magnesio UNI 10319) senza alcuna aggiunta di materiali idraulico pozzolanici;

2) Calci dolomitiche (DL) calci costituite prevalentemente da ossido di calcio e di magnesio o idrossido di calcio e di magnesio (il calcare dolomitico è un calcare che dovrà contenere dal 35% al 45% di carbonato di magnesio) senza alcuna aggiunta di materiali idraulico pozzolanici. Questo tipo di calce potrà essere commercializzato nella versione semi-idratata2 (S1) o completamente idratata3 (S2).

Le calci aeree potranno, anche essere classificate in base alla loro condizione di consegna: calci vive (Q) o calci idrate (S).



a) Calci vive (Q) calci aeree (includono le calci calciche e le calci dolomitiche) costituite prevalentemente da ossido di calcio ed ossido di magnesio ottenute per calcinazione di rocce calcaree e/o dolomitiche. Le calci vive hanno una reazione esotermica quando entrano in contatto con acqua. Possono essere vendute in varie pezzature che vanno dalle zolle al materiale finemente macinato.

b) Calci idrate (S) calci aeree, (calci calciche o calci dolomitiche) ottenute dallo spegnimento controllato delle calci vive. Le calci spente sono prodotte, in base alla quantità di acqua utilizzata nell'idratazione, in forma di polvere secca, di grassello o di liquido (latte di calce):

– calce idrata in polvere di colore biancastro derivata dalla calcinazione a bassa temperatura di calcari puri con meno del 10% d'argilla; si differenzia dal grassello per la quantità di acqua somministrata durante lo spegnimento della calce viva (ossido di Calcio), nella calce idrata la quantità di acqua impiegata è quella stechiometrica (3,22 parti di acqua per 1 parte di CaO). Può essere utilmente impiegata come base per la formazione di stucchi lucidi, per intonaci interni e per tinteggiature;

– grassello di calce o calce aerea "spenta" (idrata) in pasta ottenuta per lento spegnimento ad "umido" (cioè in eccesso di acqua rispetto a quella chimicamente sufficiente circa 3-4 volte il suo peso) della calce con impurità non superiori al 5%. Le caratteristiche plastiche ed adesive del grassello, migliorano e vengono esaltate con un prolungato periodo di stagionatura in acqua, prima di essere impiegato. Il grassello, si dovrà presentare sotto forma di pasta finissima, perfettamente bianca morbida e quasi untuosa non dovrà indurire se esposto in ambienti umidi o immerso nell'acqua, indurrà invece in presenza di aria per essiccamento e lento assorbimento di anidride carbonica. La stagionatura minima nelle fosse sarà di 6 mesi per il confezionamento delle malte da allettamento e da costruzione e di 12 mesi per il confezionamento delle malte da intonaco o da stuccatura. Nel cantiere moderno è in uso ricavare il grassello mediante l'aggiunta di acqua (circa il 20%) alla calce idrata in polvere, mediante questa "procedura" (che in ogni caso necessita di una stagionatura minima di 24 ore) si ottiene un prodotto scadente di limitate qualità plastiche, adesive e coesive;

– latte di calce ovvero "legante" per tinteggi, velature e scialbature ricavato dal filtraggio di una soluzione particolarmente acquosa ottenuta stemperando accuratamente il grassello di calce (o della calce idrata) fino ad ottenere una miscela liquida e biancastra.

Le calci aeree possono essere classificate anche in rapporto al contenuto di ossidi di calcio e magnesio (valori contenuti RD n. 2231 del 16 novembre 1939, "Norme per l'accettazione delle calci"):

a) 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 m<sup>3</sup>/ton;

b) calce magra in zolle o calce viva, contenente meno del 94% di ossidi di calcio e magnesio e con resa in grassello non inferiore a 1,5 m<sup>3</sup>/ton;

b1) calce forte legante con deboli doti idrauliche, compresa tra le calci magre quando la presenza di componenti idraulici (presenza di argilla intorno al 5-5,5%) è considerata come impurità;

c) calce idrata in polvere ottenuta dallo spegnimento della calce viva, contenuto di umidità non superiore al 3% e contenuto di impurità non superiore al 6%, si distingue in:

– fiore di calce, quando il contenuto minimo di idrati di calcio e magnesio non è inferiore al 91%; il residuo al vaglio da 900 maglie/cm<sup>2</sup> dovrà essere ≤ 1% mentre il residuo al vaglio da 4900 maglie/cm<sup>2</sup> dovrà essere ≤ 5%; presenta una granulometria piuttosto fine ottenuta per ventilazione;

– calce idrata da costruzione quando il contenuto minimo di idrati di calcio e magnesio non è inferiore al 82%; il residuo al vaglio da 900 maglie/cm<sup>2</sup> dovrà essere ≤ 2% mentre il residuo al vaglio da 4900 maglie/cm<sup>2</sup> dovrà essere ≤ 15%; si presenta come un prodotto a grana grossa.

La composizione della calce da costruzione, quando provata secondo la norma UNI EN 459-2, deve essere conforme ai valori della tabella 2 sotto elencata. Tutti i tipi di calce elencati nella tabella possono contenere additivi in modeste quantità per migliorare la produzione o le proprietà della calce da costruzione. Quando il contenuto dovesse superare lo 0,1% sarà obbligo dichiarare la quantità effettiva ed il tipo.

*Tabella 2.1 Requisiti chimici della calce (valori espressi come percentuale di massa). I valori sono applicabili a tutti i tipi di calce. Per la calce viva questi valori corrispondono al prodotto finito; per tutti gli altri tipi di calce (calce idrata, grassello e calci idrauliche) i valori sono basati sul prodotto dopo la sottrazione del suo contenuto di acqua libera e di acqua legata. (UNI EN 459-1)*

Tipo di calce da costruzione	Sigla	CaO+MgO	MgO	CO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Calce libera %
Calce calcica 90	CL 90	≥ 90	≤ 5	≤ 4	≤ 2	-
Calce calcica 80	CL 80	≥ 80	≤ 5	≤ 7	≤ 2	-
Calce calcica 70	CL 70	≥ 70	≤ 5	≤ 12	≤ 2	-
Calce dolomitica 85	DL 85	≥ 85	≤ 30	≤ 7	≤ 2	-
Calce dolomitica 80	DL 80	≥ 80	≤ 5	≤ 7	≤ 2	-
Calce idraulica 2	HL 2	-	-	-	≤ 3	≥ 8
Calce idraulica 3,5	HL 3,5	-	-	-	≤ 3	≥ 6
Calce idraulica 5	HL 5	-	-	-	≤ 3	≥ 3
Calce idraulica naturale 2	NHL 2	-	-	-	≤ 3	≥ 15
Calce idraulica naturale 3,5	NHL 3,5	-	-	-	≤ 3	≥ 9
Calce idraulica naturale 5	NHL 5	-	-	-	≤ 3	≥ 3

Nella CL 90 è ammesso un contenuto di MgO fino al 7% se si supera la prova di stabilità indicata in 5.3 della EN 459-2:2001.

Nelle HL e nelle NHL è ammesso un contenuto di SO<sub>3</sub> maggiore del 3% e fino al 7% purché sia accertata la stabilità, dopo 28 giorni di maturazione in acqua, utilizzando la prova indicata nella EN 196-2 "Methods of testing cement: chemical analysis of cement".

Esempio di terminologia delle calci: la sigla EN459-1 CL90Q identifica la calce calcica 90 in forma di calce viva; la sigla EN459-1 DL85-S1 identifica la calce dolomitica 85 in forma di calce semi-idratata.

### Calci idrauliche

Le calci idrauliche oltre che ai requisiti di accettazione di cui al RD 16 novembre 1939, n. 2231 e a quelli della norma UNI 459, devono rispondere alle prescrizioni contenute nella legge 26 maggio 1965, n. 595 "Caratteristiche tecniche e requisiti dei leganti idraulici" ed ai requisiti di accettazione contenuti nel DM 31 agosto 1972 "Norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova degli agglomerati cementizi e delle calci idrauliche" e successive modifiche ed integrazioni. Le calci idrauliche si distinguono in:

1) calce idraulica naturale (NHL) ovverosia il prodotto ottenuto dalla cottura a bassa temperatura (inferiore ai 1000 C°) di marne naturali o calcari più o meno argillosi o silicei con successiva riduzione in polvere mediante spegnimento (con quantità stechiometrica di acqua) con o senza macinazione. Tutte le NHL dovranno avere la proprietà di far presa ed indurire anche a contatto con l'acqua e dovranno essere esenti o quantomeno presentare un bassissimo livello di sali solubili.

Questo tipo di calci naturali potrà a sua volta essere diviso in:

– calce idraulica naturale bianca, rappresenta la forma più pura: dovrà essere ricavata dalla cottura di pietre calcaree silicee con una minima quantità di impurezze, presentare una quantità bassissima di sali solubili. Risulterà particolarmente indicata per confezionare malte, indirizzate a procedure di restauro che richiedono un basso modulo di elasticità ed un'elevata traspirabilità. In impasto fluido potrà essere utilizzata per iniezioni consolidanti a bassa pressione;

– calce idraulica naturale "moretta" o "albazzana" a differenza del tipo "bianco" si ricaverà dalla cottura di rocce marnose; risulterà indicata per la confezione di malte per il restauro che richiedono una maggiore resistenza a compressione; il colore naturale di questa calce potrà variare dal nocciolo, al beige, all'avorio fino a raggiungere il rosato;

2) calce idraulica naturale con materiali aggiunti (NHL-Z) in polvere ovverosia, calci idrauliche naturali con materiale aggiunto cioè, quelle calci che contengono un'aggiunta fino ad un massimo del 20% in massa di materiali idraulicizzanti a carattere pozzolanico (pozzolana, coccio pesto, trass) contrassegnate dalla lettera "Z" nella loro sigla;

3) calci idrauliche (HL)4 ovverosia calci costituite prevalentemente da idrossido di calcio, silicati di calcio e alluminati di calcio prodotti mediante miscelazione di materiali appropriati. Questo tipo di calce dovrà possedere la caratteristica di far presa ed indurire anche in presenza di acqua.

Tabella 2.2 Caratteristiche meccaniche delle calci idrauliche naturali da utilizzare nel restauro

Tipo	NHL 2			NHL 3,5			NHL 5		
Caratteristiche	Calce delicata idonea per lavori su materiali teneri o fortemente decoesi, per legante di tinteggiature alla calce, per stucchi, e strati di finitura per modanature ed intonaci			Calce idonea per interventi su pietre e laterizi, anche parzialmente degradati, intervento di iniezione e sigillature consolidanti, per rappezzi di intonaci, e stillatura di giunti			Calce idonea per la ricostruzione di pietre e modanature, massetti, pavimentazioni, rinzaffi e arricci esposti a contatto con acqua o per betoncino con collaborazione statica		
PROVE	Rapporto impasto			Rapporto impasto			Rapporto impasto		
Resistenza a comp.	1:2	1:2,5	1:3	1:2	1:2,5	1:3	1:2	1:2,5	1:3
7 gg. N/mm2	0,62	0,53	0,47	0,75	0,57	0,53	1,96	1	0,88
7 gg. N/mm2	REQUISITI UNI EN 459-1 ---			REQUISITI UNI EN 459-1 ---			REQUISITI UNI EN 459-1 ---		
28 gg. N/mm2	1,48	1,36	1,25	1,88	1,47	1,34	2,20	2,00	1,50
7 gg. N/mm2	REQUISITI UNI EN 459-1 ≥2 a ≤7		REQUISITI UNI EN 459-1 ≥3,5 a ≤10				REQUISITI UNI EN 459-1 ≥5 a ≤15 (a)		
6 mesi N/mm2	3,848	3,00	2,88	7,50	5,34	3,94	7,30	5,90	5,31
12 mesi. N/mm2	4	2,90	2,90	7,50	5,90	3,90	9,28	8,44	6,50
La sabbia avrà una granulometria di 0,075-3 mm (a) La NHL 5, con massa volumica in mucchio minore di 0,90 kg/dm <sup>3</sup> , può avere una resistenza a compressione dopo 28 gg fino a 20 MPa									

Tabella 2.3 Caratteristiche fisiche delle calci idrauliche naturali

PROVE	NHL 2		NHL 3,5		NHL 5	
	REQUISITI UNI EN 459-1	MEDIA	REQUISITI UNI EN 459-1	MEDIA	REQUISITI UNI EN 459-1	MEDIA
Densità	0,4 a 0,8	0,45-0,55	0,5 a 0,9	0,6-0,66	0,6 a 1,0	0,65-0,75
Finezza a 90 µm	≤ 15%	2 a 5 %	≤ 15%	6,6	≤ 15%	3,12
Finezza a 200 µm	≤ 2	≤ 0,5 %	≤ 5 %	0,48	≤ 5	0,08
Espansione	≤ 2 mm	≤ 1 mm	≤ 2 mm	0,05	≤ 2 mm	0,61 mm
Idraulicità	---	15	---	25	---	43
Indice di bianchezza	---	76	---	72	---	67
Penetrazione	>10 e <20 mm	---	>10 e <50 mm	21	>20 e <50 mm	22,6
Tempo di inizio presa	>1 e <15 h	---	>1 e <15 h	2,5	>1 e <15 h	3,59
Calce libera	≥ 15 %	50-60%	≥ 9 %	20-25%	≥ 3%	15-20%

Le calce idrauliche sia naturali che artificiali potranno essere classificate anche in rapporto al grado d'idraulicità, inteso come rapporto tra la percentuale di argilla e di calce: al variare di questo rapporto varieranno anche le caratteristiche (valori contenuti nel DM 31 agosto 1972 "Norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova degli agglomerati cementizi e delle calce idrauliche").

*Tabella 2.4 Classificazione calce idrauliche mediante il rapporto di idraulicità (DM 31 agosto 1972)*

Calce	Indice di idraulicità	Argilla [%]	Calcare [%]	Presenza in acqua [giorni]
Debolmente idraulica	0,10-0,15	5,31-8,20	94,6-91,8	15-30
Mediamente idraulica	0,16-0,31	8,21-14,80	91,7-85,2	10-15
Propriamente idraulica	0,31-0,41	14,81-19,10	85,1-80,9	5-9
Eminentemente idraulica	0,42-0,50	19,11-21,80	80,8-78,2	2-4

#### • GESSO

Il gesso dovrà essere di recente cottura, perfettamente asciutto, di fine macinazione in modo da non lasciare residui sullo staccio di 56 maglie a centimetro quadrato, scevro da materie eterogenee e senza parti alterate per estinzione spontanea. Il gesso dovrà essere conservato in locali coperti, ben riparati dall'umidità e da agenti degradanti; approvvigionato in sacchi sigillati con stampigliato il nominativo del produttore e la qualità del materiale contenuto.

Questo legante non dovrà essere impiegato all'aperto o in ambienti chiusi con elevata umidità relativa, in atmosfere contenenti ammoniaca (ad es., all'interno di stalle) o a contatto con acque ammoniacali, in ambienti con temperature superiori ai 110 °C; infine, non dovrà essere impiegato a contatto di leghe di ferro.

Come legante di colore bianco latte potrà assumere varie caratteristiche a seconda della temperatura di cottura. I gessi per l'edilizia si distingueranno in base alla loro destinazione (per muri, per intonaci, per pavimenti, per usi vari) le loro caratteristiche fisiche (granulometria, resistenza, tempi di presa) e chimiche (tenore solfato di calcio, tenore di acqua di costituzione, contenuto di impurezze) vengono fissate dalla norma UNI 8377 la quale norma fisserà, inoltre, le modalità di prova, controllo e collaudo.

*Tabella 2.5 Classificazione dei gessi in base alla temperatura di cottura*

Temperature cottura [c°]	Denominazione prodotti	Caratteristiche ed impieghi consigliati
130-160	scagliola gesso da forma	malte per intonaci (macinato più grossolanamente) malte per cornici e stucchi (macinato finemente)
160-230	gesso da stuccatori gesso da intonaci	malte d'allettamento per elementi esenti da funzioni portanti, malte per intonaci, da decorazioni, per confezionare pannelli per murature
230-300	gesso da costruzioni gesso comune	malte d'allettamento o, in miscela con altri leganti, per formare malte bastarde per elementi con funzioni portanti
300-900	gesso morto gesso keene (+ allume)	polvere inerte usata in miscela con leganti organici (colla di pesce o colla animale) per la fabbricazione di stucchi da legno o da vetro o
900-1000	gesso da pavimenti gesso idraulico o calcinato	prodotto che presenta una certa idraulicità con tempi di presa molto lunghi; il gesso, dopo la posa in opera, raggiunge il massimo della

*Tabella 2.6 Proprietà dei gessi più comunemente usati*

Tipo di gesso	Finezza macinazione		Tempo minimo di presa, (minuti)	Resistenza a trazione minima (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistenza a flessione minima (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistenza a compressione minima (kg/cm <sup>2</sup> )
	Passante al setaccio da 0,2 mm % (minimo)	Passante al setaccio da 0,09 mm % (minimo)				
scagliola	95	85	15	20	30	40
da costruzione	70	50	7	8	20	50
allumato	90	80	20	12	30	70
da pavimenti	90	80	40			

L'uso di questo legante dovrà essere necessariamente autorizzato dalla D.L.; per l'accettazione di qualsivoglia tipologia di gesso valgono i criteri generali del punto 2.1 e la norma UNI 5371.

## 6. LEGANTI SINTETICI

Le resine sono polimeri ottenuti partendo da molecole di composti organici semplici. In qualsiasi intervento di manutenzione e restauro sarà fatto divieto utilizzare prodotti di sintesi chimica senza preventive analisi di laboratorio, prove applicative, schede tecniche e garanzie da parte delle ditte produttrici. Su manufatti di particolare valore storico-architettonico nonché archeologico il loro utilizzo sarà vietato, salvo comprovata compatibilità fisica, chimica e meccanica con i materiali direttamente interessati all'intervento o al loro contorno. I polimeri organici possono essere disponibili sotto varie forme:

- leganti sia per incollaggi (adesivi strutturali), stuccature, iniezioni e sigillature di quadri fessurativi, sia sotto forma di resine emulsionabili in acqua per pitture ed intonaci che presentano un basso grado di assorbimento dell'acqua liquida ed una elevata durabilità;
- additivi per malte e pitture al fine di migliorare l'idrorepellenza, la velocità d'indurimento e le caratteristiche fisico-chimiche dell'impasto ovvero della pittura;
- impregnanti consolidanti per materiali lapidei quali pietre naturali, laterizi, stucchi, cls ecc.;
- impregnanti idrorepellenti per materiali lapidei quali pietre naturali, laterizi, stucchi, cls ecc. capaci di costituire una efficace barriera contro l'acqua;

– impregnanti idro ed oleorepellenti per il trattamento di materiali porosi particolarmente esposti agli agenti inquinanti atmosferici.

Le caratteristiche meccaniche, le modalità applicative e gli accorgimenti antinfortunistici dei leganti sintetici sono regolati dalle norme UNICHIM. Mentre le analisi di laboratorio relative alle indagini preliminari per la scelta dei materiali saranno quelle stabilite dalle indicazioni fornite dalle raccomandazioni NorMaL.

La loro applicazione dovrà sempre essere eseguita da personale specializzato nel rispetto della normativa sulla sicurezza degli operatori/applicatori.

#### *Resine acriliche*

Prodotti termoplastici (molecole a catena lineare); si otterranno polimerizzando gli acidi acrilico, metacrilico e loro derivati. Questa classe di resine, nella maggior parte dei casi solubili in idonei solventi organici, presenterà buona resistenza all'invecchiamento, alla luce, agli agenti chimici dell'inquinamento, ma dimostrerà scarsa capacità di penetrazione tanto, che potrà risultare difficile raggiungere profondità superiori a 0,5-1 cm (con i solventi alifatici clorurati si potranno ottenere risultati migliori per veicolare la resina più in profondità). Possiedono in genere buona idrorepellenza che tenderà però, a decadere nel tempo; se il contatto con l'acqua si protrarrà per tempi superiori alle 90 ore, tenderanno, inoltre, a dilatarsi. I prodotti acrilici sono, di norma commercializzati solidi in polveri, granuli o scaglie, in emulsione acquosa in soluzione di solventi.

Le resine acriliche come del resto le emulsioni acriliche pure (ovvero al 100%) potranno essere utilizzate in dispersione acquosa (ovvero un miscuglio eterogeneo contenente una percentuale variabile di resina acrilica o di emulsione acrilica pura) sia come legante per pigmenti naturali e/o sintetici in polvere, sia come additivo per malte da sigillatura o iniezione (se non diversamente specificato per un impasto di calce ed inerti in rapporto di 1:3 si aggiungerà 5-10% di emulsione acrilica) conferendo a questi impasti un più veloce indurimento in superficie, un miglioramento delle caratteristiche fisico-chimiche (tenacità, durezza, resistenza nel tempo ed agli agenti chimici, resistenza all'abrasione, alla trazione, alla compressione, alla flessione, all'impatto ed agli effetti del gelo) e un netto aumento di adesività su materiali quali laterizio, legno e cemento.

#### *Resine epossidiche*

Prodotti termoindurenti (molecole tridimensionali); si otterranno dalla formazione di catene con due tipi di molecole con una gamma illimitata di variazioni possibili (questa caratteristica fa sì che non esista un solo tipo di resina epossidica, ma svariati formulati epossidici che cambieranno di volta in volta le proprie caratteristiche a seconda, sia del rapporto resina-indurente, sia degli eventuali additivi plastificanti, fluidificanti, acceleranti ecc.); presentano il vantaggio di poliaddizionarsi senza produrre sottoprodotti che porterebbero ad un aumento di volume. Si distinguono dalle resine acriliche per l'elevato potere collante che ne giustifica l'uso come adesivo strutturale; presentano una buona resistenza chimica (soprattutto agli alcali), resistono molto bene all'acqua ed ai solventi organici. I maggiori pregi delle resine epossidiche risiederanno nelle loro elevate proprietà meccaniche (resistenze a compressione, a trazione, a flessione), nella perfetta adesione al supporto e nel ritiro molto limitato durante l'invecchiamento (meno di 1%); gli svantaggi sono riconducibili alla difficoltà di penetrazione (dovuta all'elevata viscosità), alla bassa resistenza al calore ed ai raggi ultravioletti (con i conseguenti fenomeni d'ingiallimenti e sfarinamento superficiale).

Gli adesivi epossidici (ovvero resine utilizzate come leganti per ricongiungere frammenti distaccati), normalmente utilizzabili saranno liquide con indurente a lenta o a rapida reattività (da utilizzare per consolidamenti o più spesso per intasamento delle fessure o per imperniature) o in pasta lavorabili con indurente a lenta o a rapida reattività (per stuccature, ponti di adesione, piccole ricostruzioni e fissaggio perni) in questo secondo caso si provvederà ad intervenire, in fase di formulazione, aggiungendo additivi tissotropizzanti. Di norma questi adesivi saranno totalmente esenti da solventi, non subiranno ritiro durante l'indurimento e grazie alla loro natura tixotropica potranno essere facilmente applicabili anche su superfici verticali in consistenti spessori.

Orientativamente le caratteristiche richieste in relazione sia allo specifico utilizzo (formulati per iniezione, per impregnazione, per betoncini colabili, per incollaggi strutturali ecc.) sia al materiale (cemento armato, muratura, legno ecc.) dovranno essere le seguenti:

tipo di formulato ..... ;  
tipo di resina ..... ;  
colore impasto ..... ;  
consistenza impasto ..... ;  
peso specifico (g/cm<sup>3</sup>) ..... ;  
punto di infiammabilità °C ..... ;  
ritiro % ..... ;  
viscosità (impasto) mPas ..... ;  
pot life (a + 10 °C) ..... (a +24 °C) ..... (a + 30 °C) ..... ;  
tempo di presa (a + 10 °C) ..... (a +24 °C) ..... (a + 30 °C) ..... ;  
indurimento completo (giorni) ..... ;  
resistenza a trazione (N/mm<sup>2</sup>) ..... ;  
allungamento a trazione % ..... ;  
resistenza a flessotrazione (N/mm<sup>2</sup>) ..... ;  
resistenza a compressione (N/mm<sup>2</sup>) ..... ;  
modulo elastico (N/mm<sup>2</sup>) ..... ;

#### *Resine fluorurate*

Più precisamente copolimeri fluorurati, presentano notevoli proprietà elastiche e grande stabilità chimica; questi prodotti non polimerizzano dopo la loro messa in opera in quanto già pre-polimerizzati, pertanto non subiranno alterazioni nel corso dell'invecchiamento e di conseguenza non varieranno le loro proprietà. Disciolti in solventi organici (di norma acetone o acetato di butile) potranno essere utilizzati come legante per isolare in maniera efficace fessure e rotture da stuccature o sigillare; possono inoltre essere impiegati per ripristini da eseguirsi con lo stesso materiale oggetto di restauro. La preparazione dell'impasto, se non diversamente specificato, prevedrà l'unione di una parte in peso di resina a 3 parti di inerte ricavato, preferibilmente, dalla macinazione della stessa pietra. L'impasto dovrà essere ben mescolato fino ad ottenere la consistenza voluta. Sarà consigliabile non eseguire alcun intervento sulla stuccatura prima di 1 ora dalla stesura della stessa. Queste resine sono completamente reversibili in acetone anidro.

#### *Resine poliesteri*

Resine 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, o sintetiche così da migliorare la resistenza dei prodotti finali. Come riempitivi possono essere usati polveri di varia granulometria di calcari, gesso, o sabbie. La resistenza a raggi solari e U.V. è abbastanza bassa, specialmente per prodotti reticolari con monomeri aromatici, mentre la resistenza meccanica e le proprietà adesive sono abbastanza buone. La resina potrà presentare un certo ritiro del volume (sino ad 8-10%) che la rende non proprio adatta per riempire le fessure del materiale lapideo, al contrario potranno essere utilizzate come collanti per congiungimenti o il fissaggio di perni, barre filettate, tiranti ecc. anche se sarà necessario evitare che la resina raggiunga la superficie estrema poiché per esposizione alla luce darebbe marcate variazioni di colore. Orientativamente il pot life a 20 °C sarà di circa 5-7 minuti e il tempo di fissaggio intorno ai 40-60 minuti.

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

## 7. MATERIALI INERTI PER MALTE, STUCCHI E CONGLOMERATI

L'analisi granulometrica, atta a definire la pezzatura di sabbie, ghiaie e pietrischi dovrà essere eseguita utilizzando i crivelli ed i setacci indicati nelle norme UNI 2332-1 e UNI 2334. Sarà, pertanto, obbligo dell'Appaltatore, mettere a disposizione della D.L. detti crivelli così che possa eseguire il controllo granulometrico. Il diametro massimo dei grani dovrà essere scelto in funzione del tipo di lavorazione da effettuare: malta per intonaco, malta per stuccatura, malta per sagramatura, malta per riprese, impasti per getti, impasti per magroni ecc. Gli aggregati per le malte dovranno altresì essere conformi alle norme UNI EN 13139:2003.

### • GHIAIA E PIETRISCO

Le ghiaie saranno costituite da elementi di forma arrotondata di origine naturale, omogenei pulitissimi ed esenti da materie terrose argillose e limacciose e dovranno provenire da rocce compatte (calcaree o silicee), non gessose ad alta resistenza a compressione, dovrà, inoltre, essere ben assortita. Priva di parti friabili ed, eventualmente, lavata con acqua dolce al fine di eliminare materie nocive. I pietrischi (elementi di forma spigolosa di origine naturale o artificiale) oltre ad essere anch'essi scevri da materie terrose, sabbia e materie eterogenee, potranno provenire dalla spezzatura di rocce durissime, preferibilmente silicee, a struttura microcristallina, o calcari puri durissimi e di alta resistenza alla compressione (minimo 1200 kg/cm<sup>2</sup>), all'urto e all'abrasione, al gelo ed avranno spigolo vivo. Entrambe le tipologie di inerti dovranno avere dimensioni massime (prescritte dalla D.L.) commisurate alle caratteristiche di utilizzo. Le loro caratteristiche tecniche dovranno essere quelle stabilite dal DM 9 gennaio 1996, Allegato 1, punto 2 e dalla norma UNI 8520. In ogni caso le dimensioni massime dovranno essere commisurate alle caratteristiche geometriche della carpenteria del getto ed all'ingombro delle armature.

Nel dettaglio gli elementi costituenti ghiaie e pietrischi dovranno essere di dimensioni tali da:

- passare attraverso un setaccio con maglie circolari del diametro di 50 mm se utilizzati per lavori di fondazione o di elevazione, muri di sostegno, rivestimenti di scarpata ecc.
- passare attraverso un setaccio con maglie circolari del diametro di 40 mm se utilizzati per volti di getto;
- passare attraverso un setaccio con maglie circolari del diametro di 30 mm se utilizzati per cappe di volti, lavori in cemento armato, lavori a parete sottile.

In ogni caso, salvo alcune eccezioni, gli elementi costituenti ghiaie e pietrischi dovranno essere tali da non passare attraverso un setaccio con maglie circolari del diametro di 10 mm.

Tabella 2.7 Classificazione della ghiaia e del pietrisco in base alla loro granulometria

Tipo	Granulometria in mm	Utilizzo
Ciottoli o "pillole di fiume"	80-100	pavimentazioni stradali
GHIAIA rocce	grossa o ghiaione	riempimenti, vespai, massicciate, sottofondi
	mezzana	riempimenti, solai, getti
	ghiaietto o "pisello"	riempimenti, solai, getti
	granello o "risone"	rinzaffi ad alto spessore, zoccolature, bugnati, pavimentazioni, piccoli getti
PIETRISCO rocce	grosso	riempimenti, vespai, getti
	ordinario	pavimentazioni stradali, getti, riempimenti
	pietrischetto	pavimentazioni stradali, getti, riempimenti
GRANIGLIA marmo	graniglia grossa	pavimenti a seminato, a finto mosaico
	graniglia media	pavimenti a seminato, a finto mosaico, battuti
	graniglia minuta	marmette di cemento, pavimenti a seminato, battuti

### • SABBIE

Le sabbie vive o di cava, di natura silicea, quarzosa, granitica o calcarea ricavate dalla frantumazione di rocce con alta resistenza alla compressione, né gessose, né gelive dovranno essere: ben assortite, costituite da grani resistenti, prive di materie terrose, argillose, limacciose, polverulenti, di detriti organici e sostanze inquinanti; inoltre, avere un contenuto di solfati e di cloruri molto basso. Le sabbie dovranno, altresì essere scricchiolanti alla mano, ed avere una perdita di peso non superiore al 2% se sottoposte alla prova di decantazione in acqua. Sarà assolutamente vietato l'utilizzo di sabbie marine o di cava che presentino apprezzabili tracce di sostanze chimiche attive.

L'appaltatore dovrà mettere a disposizione della direzione lavori i vagli di controllo (stacci) di cui alla citata norma UNI 2332 per il controllo granulometrico. In particolare:

- la sabbia per murature in genere dovrà essere costituita da grani di dimensioni tali da passare attraverso lo staccio 2 (UNI 2332-1);
- la sabbia per intonaci, stuccature e murature di paramento od in pietra da taglio dovrà essere costituita da grani passanti attraverso lo staccio 0,5 (UNI 2332-1);
- la sabbia per i conglomerati cementizi dovrà essere conforme a quanto previsto nell'Allegato 1 del DM 3 giugno 1968 e dall'Allegato 1, punto 1.2, del DM 9 gennaio 1996 "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento

armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche". I grani dovranno avere uno spessore compreso tra 0,1 mm e 5,0 mm (UNI 2332) ed essere adeguati alla destinazione del getto ed alle condizioni di posa in opera.

Le miscele secche di sabbie silicee o di quarzo dovranno, salvo diverse specifiche di progetto, essere costituite da granuli del diametro di circa 0,10-0,30 mm per un 25%, di 0,50-1,00 mm per un 30% e di 1,00-2,00 mm per il restante 45%. La sabbia, all'occorrenza, dovrà essere lavata con acqua dolce, anche più volte, al fine di eliminare qualsiasi sostanza inquinante e nociva. L'accettabilità della sabbia verrà definita con i criteri indicati all'art. 6 del DR 16 novembre 1939, n. 2229, nell'Allegato 1 del DM 3 giugno 1968 e nell'Allegato 1, punto 2 del DM 27 luglio 1985; la distribuzione granulometrica dovrà essere assortita e comunque adeguata alle condizioni di posa in opera.

*Tabella 2.8 Classificazione delle sabbie in base alla loro granulometria*

Tipo		Granulometria in mm	Utilizzo
SABBIA silice, calcare	Grossa o sabbione	2/6	malta da costruzione, ariccio, rinzafo (spessore 2-5 cm), calcestruzzi
	media	1/2	malta da rasatura, ariccio, intonachino, malta da allettamento
	fina	0,5/1	finiture, stuccature, iniezioni di consolidamento
	finissima	0,05-0,5	rifiniture, decorazioni, stuccature, iniezioni di consolidamento

#### • POLVERI

Ricavate dalla macinazione meccanica di marmi (carrara, verona, botticino ecc.) e pietre (silice ventilata, silice micronizzata) dovranno possedere grani del diametro di circa 50-80 micron e saranno aggiunte, dove prescritto dal progetto o dalla D.L., alla miscela secca di sabbie in quantitativo, salvo diverse prescrizioni, di circa 10-15% in peso.

La silice micronizzata si presenta come una polvere bianca, amorfa ai raggi X, con grandezza delle particelle primarie di 5-30 nanometri. Le caratteristiche principali sono: effetto addensante, tixotropante, antisedimentante, rinforzante per elastomeri, miglioramento dell'effetto di scorrimento delle poveri ed effetto assorbente.

#### • PIETRA MACINATA

Inerti ottenuti dalla frantumazione naturale di rocce calcaree e/o sedimentarie, appartenenti al gruppo delle arenarie, proveniente direttamente da cave o da materiale di recupero della stessa fabbrica in questo caso, preventivamente alla macinazione, sarà cura dell'appaltatore provvedere ad una accurata pulizia seguita da cicli di lavaggio e asciugatura così da rimuovere eventuali tracce di sostanze inquinanti ed impurità varie. La pietra macinata, se non diversamente specificato, dovrà possedere le seguenti caratteristiche: buona resistenza a compressione; bassa porosità così da garantire un basso coefficiente di imbibizione; assenza di composti idrosolubili (ad es. gesso); assenza di sostanze polverose, argillose o di terreno organico.

Il materiale derivato dalla frantumazione delle pietre proveniente da cave (da utilizzare per intonaci e stuccature) dovrà, necessariamente, essere dapprima accuratamente ventilato ed in seguito lavato più volte con acqua dolce così da asportare la polvere di macinazione che ricoprendo i granuli dell'inerte potrebbe compromettere l'utilizzo. L'inerte macinato sarà, di norma, classificato, in base alla sua granulometria, in:

- fine da 0,3 a 1 mm;
- media da 1 a 3 mm;
- grossa da 3 a 5 mm;
- molto grossa da 5 a 10 mm.

Per il controllo granulometrico sarà cura dell'appaltatore fornire alla D.L. i crivelli ed i setacci indicati nelle norme UNI 2332-1 e UNI 2334.

#### • POZZOLANA

Le pozzolane (tufo trachitico poco coerente e parzialmente cementato di colore grigiastro, rossastro o bruno) dovranno essere ricavate da strati mondi da cappellaccio ed esenti da sostanze eterogenee o di parti inerti ed essere di grana fine (dimensione massima dei grani della pozzolana e dei materiali a comportamento pozzolanico inferiore ai 5 mm), asciutte ed accuratamente vagliate, con resistenza a pressione su malta normale a 28 gg di 2,4 N/mm<sup>2</sup>, resistenza a trazione su malta normale a 28 gg. di 0,4 N/mm<sup>2</sup> e residuo insolubile non superiore al 40% ad attacco acido basico. Qualunque sia la provenienza dovranno rispondere a tutti i requisiti prescritti dal RD 16 novembre 1939, n. 2230.

#### • COCCIO PESTO

Granulato di coccio macinato disidratato, dovrà essere ricavato dalla frantumazione di laterizio a pasta molle, mattoni, tavelle e coppi fatti a mano cotti a bassa temperatura (< a 950°C); a seconda delle zone di provenienza potrà presentare un colore da toni variabile dal giallo al rosso. Risulterà reperibile in diverse granulometria: a grana impalpabile 00-0, polvere 0-1,2 mm, fine 1,2-3 mm, media 3-8 mm, grossa 8-20 mm. La polvere di coccio pesto dovrà essere lavata al fine di eliminare qualsiasi sostanza inquinante e nociva. Per le sue caratteristiche di pozzolanicità e traspirabilità potrà essere usato per la produzione di malte ed intonaci naturali anche con spessori consistenti.

#### • METACAOLINO

Il metacaolino (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>2SiO<sub>2</sub>), ottenuto per calcinazione a 730 °C del caolino (argilla primaria caratterizzata da un alto contenuto di silice e allumina attive) per le sue caratteristiche di pozzolanicità e traspirabilità potrà essere usato per la produzione di malte ed intonaci a marmorino ma anche per il consolidamento d'intonaci mediante iniezioni in profondità. Caratteristiche: colore bianco (grado 85,5 metodo ISO); ossido di silicio 47%; ossido di alluminio 37,8%; ossido di ferro 0,6%; pH al 10% in acqua 5,0±0,5; peso specifico 2,3 gr/dm<sup>3</sup>.

#### • ARGILLE ESPANSE

Materiali da utilizzare principalmente come inerti per il confezionamento di calcestruzzi alleggeriti; in genere si ottengono tramite cottura di piccoli grumi ottenuti agglomerando l'argilla con poca acqua. Ogni granulo di colore bruno dovrà presentare: forma rotondeggiante (diametro compreso tra gli 8 e i 15 mm), essere scevro da sostanze organiche, polvere od altri elementi estranei, non essere attaccabile da acidi, e conservare le sue qualità in un largo intervallo di temperatura.

Di norma le argille espanse saranno in grado di galleggiare sull'acqua senza assorbirla. Sarà, comunque, possibile utilizzare argille espanse pre-trattate con resine a base silconica in grado di conferire all'inerte la massima impermeabilità evitando fenomeni di assorbimento di acque anche in minime quantità.

Con appositi procedimenti i granuli potranno anche essere sinterizzati e trasformati in blocchi leggeri (mattoni, mattoni forati) da utilizzare, eventualmente, per pareti isolanti.

#### ● **POMICE ED ALTRI INERTI NATURALI LEGGERI**

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. Per quanto riguarda gli aggregati leggeri nel caso di utilizzo per miscele strutturali dovranno necessariamente possedere resistenza meccanica intorno ai valori di 15 N/mm<sup>2</sup>.

### **8. MATERIALI DIVERSI (SIGILLANTI, ADESIVI, GEO-TESSUTI, TESSUTI-NON-TESSUTI)**

I prodotti del presente articolo, dovranno essere considerati al momento della fornitura. La D.L. ai fini della loro accettazione, potrà procedere ai controlli (anche parziali) su campioni della fornitura ovvero, richiedere un attestato di conformità della stessa alle prescrizioni di seguito indicate. Per il campionamento dei prodotti ed i metodi di prova dovrà essere fatto riferimento ai metodi UNI esistenti.

#### ● **SIGILLANTI**

La categoria dei sigillanti comprenderà i prodotti impiegati per colmare, in forma continua e durevole, i giunti tra elementi edilizi (in particolare nei serramenti, nelle pareti esterne, nelle partizioni interne ecc.) con funzione di tenuta all'aria, all'acqua ecc. Oltre a quanto specificato negli elaborati di progetto, o negli articoli relativi alla destinazione d'uso, i sigillanti dovranno rispondere alle seguenti caratteristiche:

- compatibilità chimica con il supporto sul quale verranno applicati;
- diagramma forza-deformazione (allungamento) compatibile con le deformazioni elastiche del supporto al quale sono destinati;
- durabilità ai cicli termoigrometrici prevedibili nelle condizioni di impiego intese come decadimento delle caratteristiche meccaniche ed elastiche tali da non pregiudicarne la sua funzionalità;
- durabilità alle azioni chimico-fisiche di agenti aggressivi presenti nell'atmosfera o nell'ambiente di destinazione.

Il soddisfacimento delle prescrizioni predette si intenderà comprovato allorché il prodotto risponderà agli elaborati di progetto od alle norme UNI 9611, UNI EN ISO 9047, UNI EN ISO 10563, UNI EN ISO 10590, UNI EN ISO 10591, UNI EN ISO 11431, UNI EN ISO 11432, UNI EN 28339, UNI EN 28340, UNI EN 28394, UNI EN 29046, UNI EN 29048 e/o in possesso di attestati di conformità; in loro mancanza si farà rimando ai valori dichiarati dal produttore ed accettati dalla D.L.

#### ● **ADESIVI**

La categoria degli adesivi comprenderà i prodotti utilizzati per ancorare un elemento ad uno attiguo, in forma permanente, resistendo alle sollecitazioni meccaniche, chimiche ecc. dovute alle condizioni ambientali ed alla destinazione d'uso. Saranno inclusi in questa categoria gli adesivi usati in opere di rivestimenti di pavimenti e pareti o per altri usi e per diversi supporti (murario, ferroso, legnoso ecc.); non saranno, invece, inclusi fuori gli adesivi usati durante la produzione di prodotti o componenti. Oltre a quanto specificato negli elaborati di progetto, o negli articoli relativi alla destinazione d'uso, gli adesivi dovranno rispondere alle seguenti caratteristiche:

- compatibilità chimica con il supporto sul quale si applicheranno;
- durabilità ai cicli termoigrometrici prevedibili nelle condizioni di impiego intesa come decadimento delle caratteristiche meccaniche tale da non pregiudicare la loro funzionalità;
- durabilità alle azioni chimico-fisiche dovute ad agenti aggressivi presenti nell'atmosfera o nell'ambiente di destinazione;
- caratteristiche meccaniche adeguate alle sollecitazioni previste durante l'uso.

Il soddisfacimento delle prescrizioni predette si intenderà comprovato quando il prodotto risponderà alle seguenti norme UNI:

- UNI EN 1372, UNI EN 1373, UNI EN 1841, UNI EN 1902, UNI EN 1903, in caso di adesivi per rivestimenti di pavimentazioni e di pareti;
- UNI EN 1323, UNI EN 1324, UNI EN 1346, UNI EN 1347, UNI EN 1348, in caso di adesivi per piastrelle;
- UNI EN 1799 in caso di adesivi per strutture di calcestruzzo.

In alternativa, ovvero in aggiunta il soddisfacimento delle prescrizioni predette, si intenderà attestato allorché il prodotto risulterà in possesso di attestati di conformità; in loro mancanza dovrà essere fatto riferimento ai valori dichiarati dal produttore ed accettati dalla D.L.

#### ● **GEO-TESSUTI**

La categoria dei geo-tessuti comprenderà i prodotti, ottenuti dalla combinazione di fibre di poliestere e caratterizzati da una forte resistenza alla trazione, di norma utilizzati per costituire strati filtranti, di separazione (interfaccia tra strati archeologici e strati di materiale di riporto), contenimento, drenaggio in opere di terra (rilevati, scarpate, strade, giardini, rinterrati di scavi ecc.) ed in coperture ovvero per foderature. Si distingueranno in:

- tessuti (UNI sperimentale 8986): stoffe realizzate intrecciando due serie di fili (realizzando ordito e trama);
- non tessuti (UNI 8279): feltri costituiti da fibre o filamenti distribuiti in maniera casuale, legati tra loro con trattamento meccanico (agugliatura) oppure chimico (impregnazione) oppure termico (fusione). Si avranno non tessuti ottenuti da fiocco o da filamento continuo.

Salvo diverse specifiche presenti negli elaborati di progetto, ovvero negli articoli relativi alla destinazione d'uso, si intenderanno forniti se risponderanno alle seguenti caratteristiche:

- tolleranze sulla lunghezza e larghezza:  $\pm 1\%$ ;
- spessore:  $\pm 3\%$ ;
- resistenza a trazione ..... (non tessuti: UNI 8279-4);
- resistenza a lacerazione ..... (non tessuti: UNI 8279-9; tessuti 7275);
- resistenza a perforazione con la sfera ..... (non tessuti: UNI 8279-11; tessuti: UNI 5421);
- assorbimento dei liquidi ..... (non tessuti: UNI 8279-5);
- ascensione capillare ..... (non tessuti: UNI 8279-7);
- variazione dimensionale a caldo ..... (non tessuti: UNI 8279-12);
- permeabilità all'aria ..... (non tessuti: UNI 8279-3).

Il soddisfacimento delle prescrizioni predette si intenderà confermato allorché il prodotto risponderà alle norme UNI sopra indicate ovvero sarà in possesso di attestato di conformità; in loro mancanza dovrà essere fatto riferimento ai valori dichiarati dal produttore ed accettati dalla D.L.

Dovrà, inoltre, essere sempre specificata la natura del polimero costituente (poliestere, polipropilene, poliammide ecc.).

Per i non tessuti dovrà essere precisato:

- se sono costituiti da filamento continuo o da fiocco;
- se il trattamento legante è meccanico, chimico o termico;
- il peso unitario.

#### • TESSUTI-NON-TESSUTI

Prodotti composti da sottili filamenti di Polipropilene stabilizzato ai raggi U.V., saldati tra loro per termo-pressione. Si presenteranno come teli non tessuti, ma formati da una massa disordinata molto morbida e resistente, traspirante e alcuni potranno essere dotati di una buona permeabilità all'acqua. Nelle grammature medio basse (15-30 g/m<sup>2</sup>) potranno essere utilizzati per protezione a contatto di reperti mobili.

## 9. SOLVENTI

La scelta del solvente rappresenta di norma un compromesso tra esigenze diverse: potere solvente, stabilità, non corrosività, tossicità ed infiammabilità. Considerando i parametri di solubilità (ovvero  $f_s$  forze di dispersione,  $f_p$  forze polari e  $f_h$  forze di legame a Idrogeno) dei solventi organici sarà consigliabile sostituire un solvente organico con un altro solvente o una miscela di solventi la cui terna di parametri di solubilità sia analoga a quella del solvente da sostituire specialmente se questo ultimo si rileva molto tossico. L'utilizzo di solventi gelificanti nelle operazioni di pulitura di superfici policrome sarà da preferire dal momento che consentirà di ottenere un'azione più controllata e selettiva sullo strato da rimuovere, oltre ad una minore volatilità dei solventi stessi, e maggiore sicurezza per l'operatore.

Per utilizzare, manipolare e/o conservare i suddetti prodotti si dovrà, obbligatoriamente, fare riferimento a quanto indicato sulle relative etichette e schede di sicurezza. I prodotti dovranno, inoltre, essere ad esclusivo uso di personale professionalmente qualificato. In ogni caso dovranno sempre essere utilizzati i dpi (dispositivi di sicurezza individuali) adeguati a protezione della pelle, degli occhi, del viso e delle vie respiratorie.

I solventi potranno essere suddivisi in due sottocategorie ovvero: solventi polari e solventi apolari.

– Acetato di amile solvente polare aprotico, penetrante volatile a media ritenzione. Ottimo per la rimozione di resine nitrocellulosiche, resine naturali non invecchiate, resine sintetiche. Infiammabilità +25 °C.

– Acetato di butile solvente polare aprotico, penetrante volatile a bassa ritenzione. Molto efficace per la rimozione di resine nitrocellulosiche, resine naturali non invecchiate, resine sintetiche. Infiammabilità +22 °C.

– Acido acetico liquido incolore di odore pungente, miscelabile con acqua. In forma concentrata (a titolo superiore al 99%) e detto acido acetico glaciale (congela a temperatura ambiente) solvente a pH acido utilizzabile per la pulitura di patine carbonatiche o per la pulitura di superfici affrescate.  $T_f = 16,6$  °C;  $T_e = +118,1$  °C.

– Acetato di etile solvente polare aprotico, penetrante volatile a bassa ritenzione di odore gradevole e caratteristico. Ottimo per la rimozione di resine nitrocellulosiche, resine naturali non invecchiate, resine sintetiche. Infiammabilità -3 °C.

– Acetone anidrite solvente polare, volatile atossico utilizzabile sia per la rimozione di olii, cere, grassi, resine naturali e sintetiche, inchiostri e per diluizione di vernici e prodotti a base di resine sintetiche protettive e/o consolidanti. Presenta un ottimo potere solvente, miscibile con molti liquidi può essere impiegato come solvente intermediario.  $T_f = -94$  °C;  $T_e = +56,5$  °C;  $V_e$  (relativa all'etere) = 1,9;  $d_s = 10,0$ .

– Acqua ragia minerale solvente apolare utilizzato come diluente di altri solventi o di vernici ovvero come solvente per resine. La versione dearomatizzata presenterà una tossicità inferiore; sarà, comunque, consigliabile utilizzarlo in ambiente areato.

– Alcool benzilico solvente a moderata tossicità, attivo per la rimozione di resine naturali e sintetiche, nonché per alcune sostanze di natura proteica. Valida alternativa alla dimetilformammide.

– Alcool butilico solvente polare protico, non molto volatile, a media ritenzione e media penetrazione. Buon potere solvente verso grassi, olii, resine naturali, comprese coppali e gommalacca.

– Alcool etilico denaturato 99% (Etanolo) solvente polare protico atossico risulta infiammabile, volatile e miscibile con acqua, acetone, etere usato efficace per la rimozione di resine naturali, comprese coppali e gommalacca.

$T_f = -117$  °C;  $T_e = +78,3$  °C;  $V_e$  (relativa all'etere) = 7;  $d_s = 12,7$ .

– Alcool isopropilico solvente polare protico atossico impiegabile per la diluizione di reattivi, protettivi e consolidanti.

– Benzina rettificata 100/140 solvente idrocarburo apolare mediamente volatile utilizzato per la rimozione di cere, paraffina, bitumi e grassi. Per benzina si intende miscele di idrocarburi saturi o limitatamente insaturi, più o meno ramificati, che si raccolgono nelle frazioni basso bollenti del petrolio (da 30 a 200 °C).

– Cloroformio liquido limpido, incolore, volatile di odore etereo, tossico. Ottimo solvente per oli, resine e grassi. Come tutti i solventi clorurati deve essere protetto dalla luce del sole. Data la sua tossicità se ne consiglia un uso limitato e controllato.  $T_e = +61,3$  °C;  $V_e$  (relativa all'etere) = 2,2;  $d_s = 9,3$

– Cloruro di metilene solvente polare volatile presenta una forte azione su materiali grassi, media azione su resine naturali. Al fine di diminuire la volatilità può essere impiegato in miscela con materiali addensanti.

– Diacetone alcool solvente incolore, inodore, mediamente polare tossico miscibile con acqua, presenta un punto di ebollizione elevato ed un buon potere solvente nei confronti di resine e alcune sostanze proteiche e polisaccaridiche. Data la sua tossicità se ne consiglia un uso limitato e controllato.

– Diluente nitro antinebbia miscela di vari solventi (toluene, acetone, dicloropropano, alcool isopropilico) alcuni tossici a polarità media a rapida evaporazione, possiede un buon potere solvente per vernici nitro e sintetiche in generale, olii ed alcuni materiali proteici.

– Dimetilformammide solvente polare aprotico altamente tossica, di odore sgradevole, miscibile con acqua, esteri, alcoli, etere, chetoni, idrocarburi aromatici e clorurati. Solvente indicato per moltissimi polimeri fra cui, resine epossidiche, poliuretaniche, e



viniliche. Data la sua alta tossicità se ne consiglia un uso limitato e controllato adottando le massime precauzioni di manipolazione ed aerazione.

– Esano denaturato idrocarburo alifatico di odore leggero, volatile. Ottimo solvente per cere, grassi, vernici. Tf = -95 °C; Teb = +69 °C.

– Essenza di petrolio solvente apolare usato come diluente di altri solventi o di vernici, come solvente per resine o per saturare, temporaneamente, un colore. Non lascia residui evaporando. La versione dearomatizzato presenterà una tossicità inferiore; sarà, comunque, consigliabile utilizzarlo in ambiente areato.

– Essenza di trementina solvente apolare, incolore la versione rettificata debolmente giallo la versione pura, di odore caratteristico, efficace sia come diluente per colori ad olio sia per la rimozione di vernici, grassi e parzialmente cere e paraffine.

– Etere etilico composto organico ottenuto per disidratazione dell'alcool etilico con acido solforico. Liquido incolore, di odore pungente, pochissimo miscelabile con acqua miscibile con solventi organici molto volatile e molto infiammabile. Utilizzabile come solvente per grassi, resine, cere e gomme. Tf = -116 °C; Teb = +34,6 °C.

– Etil laccato solvente ottimo per la diluizione e la rimozione di colori e vernici. Utilizzabile come ottima alternativa al più tossico xilolo nella pulitura di superfici policrome.

– Limonane solvente polare atossico con elevato potere sgrassante, utilizzabile in percentuale opportuna insieme ad altri così da ottenere miscele di polarità calcolata, ad es. come alternativa al diluente nitro o la clorotene.

– Ligroina solvente idrocarburo apolare impiegato tal quale o come diluente per altri solventi e per la pulitura di manufatti policromi. Valida alternativa all'essenza di petrolio.

– Meilpirrolidone solvente amidico penetrante, mediamente polare, nocivo, solvente molto forte per vernici, polimeri acrilici e resine; miscibile con essenza di petrolio, white spirit, alcool etilico. Solubile in acqua si rileva un ottimo sostituto della dimetilformamide.

– Metiletilchetone solvente polare aprotico penetrante, incolore con odore caratteristico (simile all'acetone). Omologo superiore all'acetone presenta, rispetto a quest'ultimo, una minore volatilità. Impiegabile per la rimozione o la diluizione di olii, cere, resine naturali e sintetiche (epossidiche, fenoliche, acriliche ecc.), inchiostri. ds = 9,3.

– Toluene, Toluolo solvente apolare, di odore caratteristico (simile al benzene) ottimo per la rimozione di resine naturali fresche, resine sintetiche, olii, grassi, cere e paraffine. Esente da benzene, contiene il 10% di dicloropropano. Teb = +110,6 °C; Ve (relativa all'etere) = 4,5; ds = 8,9.

– Tributilsolfato liquido leggero, incolore, inodore, stabile. Impiegato come agente bagnante prima dell'iniezione delle malte per affreschi ed intonaci murali, può essere impiegato anche come coadiuvante per la macinazione dei pigmenti e per facilitare la dispersione degli stessi in acqua. Miscibile con la maggior parte dei solventi e diluenti si rileva un buon solvente per lacche, resine viniliche ed inchiostri. È inoltre un sequestratore per solfati, 1 ml si scioglie in circa 165 ml di acqua.

– Tricloroetano liquido limpido, incolore, di odore etereo caratteristico. Solvente non infiammabile ottimo per oli, grassi, cere e resine sia naturali che artificiali. È moderatamente volatile e offre scarsi fenomeni di ritenzione.

– Tricloroetilene (trielina) liquido limpido, di odore caratteristico che ricorda il cloroformio. Buon solvente per olii, grassi, cere, bitumi. Impiegato per la pulitura e grassaggio di metalli e tessuti. Presenta, inoltre, un effetto insetticida.

– Xilene, Xilolo solvente apolare aprotico, di odore caratteristico ottimo per la rimozione di resine naturali fresche, resine sintetiche, olii, grassi, cere e paraffine. Esente da benzene, contiene il 10% di dicloro propano. ds = 8,8.

– White spirit (ragia dearomatizzato) miscela di idrocarburi, liquido limpido di odore caratteristico. Insolubile in acqua ma miscibile con la maggior parte dei solventi organici.

Le miscele più utilizzate saranno le cosiddette miscela 2A formata da acqua, ammoniaca (al 6%); miscela 3A formata da acqua, acetone, alcool etilico puro (di norma in rapporto 1:1:1), miscela 4A formata da acqua, acetone, alcool etilico puro, ammoniaca al 6% (in rapporto 1:1:1:1). Tutti i rapporti indicati sono da considerarsi orientativi e potranno essere modificati ribilanciando i componenti.

## 10. MATERIALI IMPREGNANTI – GENERALITA'

La procedura di impregnazione dei materiali costituenti le superfici esterne dei fabbricati sarà rivolta a tutelare le strutture architettoniche (ovvero archeologiche) da attacchi da agenti patogeni siano essi di natura fisica (che si otterrà mediante il consolidamento dei supporti al fine di accrescere o fornire quelle capacità meccaniche di resistenza al degrado che non hanno mai posseduto o che, col trascorrere del tempo, si sono indebolite) che chimica (che si effettuerà mediante idrofobizzazione dei supporti in modo da renderli adatti a limitare l'assorbimento delle acque meteoriche). I "prodotti" da utilizzarsi per l'impregnazione dei manufatti potranno essere utilizzati quali pre-consolidanti, consolidanti e protettivi. All'appaltatore sarà, vietato utilizzare prodotti impregnanti senza la preventiva autorizzazione della D.L. e degli organi preposti alla tutela del bene in oggetto, nonché fare uso generalizzato delle suddette sostanze. Ogni prodotto potrà essere utilizzato previa esecuzione di idonee prove applicative eseguite in presenza della D.L. e dietro sua specifica indicazione.

La scelta dei suddetti prodotti dovrà riferirsi alla natura e alla consistenza delle superfici che potranno presentarsi: privi di rivestimento con pietra a vista compatta e tenace ovvero con pietra a vista tenera e porosa; privi di rivestimento in cotti a vista albasì e porosi, mezzanelli (dolci o forti) o ferrioli; esenti di rivestimento in calcestruzzo; rivestite con intonaci e coloriture realizzati durante i lavori di restauro o, infine, rivestite con intonaco e coloriture preesistenti al restauro.

Altri fattori che dovranno influenzare la scelta delle sostanze impregnanti dovranno essere quelli risultati a seguito della campagna diagnostica condotta, necessariamente, dall'appaltatore secondo quanto prescritto dalle raccomandazioni NorMaL e da quanto indicato dalla D.L. Ogni fornitura dovrà, in ogni caso, essere sempre accompagnata da una scheda tecnica esplicitativa fornita dalla casa produttrice, quale utile riferimento per le analisi che si andranno ad eseguire. In specifico, le peculiarità richieste, in relazione al loro utilizzo, saranno le seguenti:

- atossicità;
- elevata capacità di penetrazione;
- resistenza ai raggi U.V.;
- 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 dalla reazione di indurimento;
- facilità di applicazione;
- solubilizzazione dei leganti.

I prodotti di seguito elencati (forniti nei contenitori originali e sigillati), saranno valutati al momento della fornitura. La D.L. ai fini della loro accettazione, potrà procedere ai controlli (anche parziali) su campioni della fornitura ovvero richiedere un attestato di conformità. Per il campionamento dei prodotti ed i metodi di prova dovrà essere fatto riferimento alle norme UNI vigenti.

#### • IMPREGNANTI PER IL CONSOLIDAMENTO

I prodotti impregnati da impiegarsi per il consolidamento e/o la protezione dei manufatti architettonici od archeologici, salvo eventuali prescrizioni o specifiche inerenti il loro utilizzo, dovranno possedere le seguenti caratteristiche comprovate da prove ed analisi da eseguirsi in situ o in laboratorio:

- 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 dar vita a sottoprodotti di reazione pericolosi (quali ad es. sali superficiali);
- capacità di fare traspirare il materiale così da conservare la diffusione del vapore;
- penetrazione in profondità così da evitare la formazione di pellicole in superficie;
- "pot-life" sufficientemente lungo tanto da consentire l'indurimento solo ad impregnazione completata;
- perfetta trasparenza priva di effetti traslucidi;
- spiccata capacità a mantenere inalterato il colore del manufatto.

I prodotti consolidanti più efficaci per materiali lapidei (naturali ed artificiali) apparterranno fondamentalmente alla classe dei composti organici, dei composti a base di silicio e dei composti inorganici la scelta sarà in ragione alle problematiche riscontrate.

#### *Composti organici*

A differenza dei consolidamenti inorganici, che basano il loro potere consolidante sull'introduzione nel materiale di molecole simili a quelle del substrato lapideo naturale o artificiale con il quale devono legarsi, i consolidamenti organici eserciteranno la loro azione mediante un elevato potere adesivo, capace di saldare tra loro i granuli decoesi del materiale lapideo.

Questi composti, in gran parte dotati anche di proprietà idrorepellente e quindi protettive, saranno per lo più polimeri sintetici noti come "resine" le quali opereranno introducendosi all'interno del sistema capillare dei materiali dove si deporranno successivamente all'evaporazione del solvente (soluzione) o del veicolo (emulsioni) che le racchiude, dando vita ad una rete polimerica che circonda le particelle.

I suddetti composti potranno essere termo-plastici o termo-indurenti: i primi sono costituiti da singole unità polimeriche (sovente con struttura quasi lineare) non stabilmente legate una con l'altra ma connesse solo da deboli forze. Tali polimeri garantiranno una buona reazione ad urti e vibrazioni, non polimerizzando una volta penetrati nel materiale; manterranno, inoltre, una certa solubilità che ne garantirà la reversibilità, saranno, in genere adoperati per materiali lapidei, per le malte e per i legnami (nonché per la protezione degli stessi materiali e dei metalli); la loro applicazione avverrà distribuendo una loro soluzione (ovvero anche un'emulsione acquosa) magari associando altri componenti (tensioattivi, livellanti ecc.), la successiva evaporazione del solvente lascerà uno strato più o meno sottile di materiale consolidante. I polimeri termoplastici risulteranno spesso solubili in appropriati solventi (sovente funzionalizzati come chetoni, idrocarburi clorurati, aromatici ecc.) e potranno essere, all'occorrenza plasmati attraverso un idoneo riscaldamento.

I prodotti termoidurenti (costituiti da catene singole che però sono in grado di legarsi fortemente tra loro dando vita ad una struttura reticolare che interessa tutta la zona di applicazione) avranno, al contrario, solubilità pressoché nulla, risulteranno irreversibili, piuttosto fragili e sensibili all'azione dei raggi U.V.; saranno, di norma, impiegati come adesivi strutturali. Al fine di migliorare il grado di reticolazione e di conseguenza le caratteristiche di aderenza può risultare utile operare una preliminare operazione di deumidificazione del supporto di applicazione.

#### *Resine acriliche*

Le resine acriliche sono composti termoplastici ottenuti dalla polimerizzazione di esteri etilici e metilici dell'acido acrilico e dell'acido meacrilico. Le caratteristiche dei singoli prodotti variano entro limiti abbastanza ampi in relazione al monomero (ovvero ai monomeri, se copolimeri) di partenza e la peso molecolare del polimero. La maggior parte delle resine acriliche liberano i solventi con una certa difficoltà e lentezza, pertanto un solvente ad evaporazione rapida come l'acetone (in rapporto 1:1), fornisce, generalmente, risultati migliori rispetto ad altri solventi tipo toluolo e xilolo (che inoltre presentano un grado di tossicità più elevato). Questa classe di resine presenterà una buona resistenza all'invecchiamento, alla luce, agli agenti chimici dell'inquinamento. Il loro potere adesivo è buono grazie alla polarità delle molecole, ma essendo polimeri termoplastici, non potranno essere utilizzati come adesivi strutturali; il limite risiede nella scarsa capacità di penetrazione, sarà, infatti, difficile raggiungere profondità superiori a 0,5-1 cm (con i solventi alifatici clorurati si possono ottenere risultati migliori per veicolare la resina più in profondità). Possiedono in genere buona idrorepellenza che tenderà, però a decadere nel tempo; se il contatto con l'acqua si protrarrà per tempi superiori alle 90 ore, inoltre, sempre in presenza di acqua, tenderanno a dilatarsi pertanto, risulteranno adatte per superfici interne o quantomeno per superfici non direttamente esposte agli agenti atmosferici.

Resine acriliche solide: tra le resine acriliche da utilizzare in soluzione, se non diversamente specificato da indicazioni di progetto, si può ricorrere ad una resina acrilica solida a base di Etil-metacrilato/metil-acrilato fornita in scaglie diluibile in vari solventi organici tra i quali i più usati sono diluente nitro, acetone, clorotene, sarà anche miscibile con etanolo con il quale formerà una soluzione lattiginosa e film completamente trasparente. Questa resina grazie all'eccellente flessibilità, trasparenza, resistenza agli acidi, agli alcali, agli oli minerali, vegetali e grezzi, alle emanazioni dei prodotti chimici ed al fuoco può essere impiegata per il consolidamento di manufatti in pietra, legno, ceramica e come fissativo ed aggregante superficiale di intonaci ed affreschi interni. In linea generale la preparazione della soluzione dovrà seguire i seguenti passaggi: unire per ogni litro di solvente scelto dalla D.L. a seconda del tipo di intervento, da 20 fino a

300 g di resina solida, in un contenitore resistente ai solventi. Il solvente dovrà essere messo per primo nel recipiente di diluizione e mentre verrà tenuto in agitazione, si inserirà gradualmente la resina fino a perfetta soluzione. Sarà consigliabile tenere in agitazione la miscela ed operare ad una temperatura di oltre 15°C così da evitare che i tempi di dissoluzione siano troppo lunghi. Dovranno, inoltre, essere evitate le soluzioni superiori al 30% perché troppo vischiose. Se richiesta dagli elaborati di progetto potranno essere aggiunti nella soluzione quali agenti opacizzanti: cera microcristallina (fino al 47% del solido totale) o silice micronizzata (fino al 18% del solido totale). Orientativamente le percentuali di resina utilizzate p/v potranno essere: 2-5% per il preconsolidamento di elementi lapidei; 10% per il consolidamento del legno e per la verniciatura fissativa a spray di dipinti; 20% per il fissaggio di frammenti di pietra, stucco decoeso, tessere di mosaico ecc. mediante fazzoletti di garza di cotone; 30% per il fissaggio di scaglie in pietra o laterizio.

I criteri di accettazione dovranno essere quelli enunciati nell'ultimo capoverso del punto 2.8 ("Materiali impregnanti – Generalità"), inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

#### *Resine epossidiche*

A questa categoria appartengono prodotti a base di resine epossidiche liquide che presenteranno le seguenti caratteristiche: bassa viscosità, elevato residuo secco, esenti da solventi con reattività regolare, polimerizzabile a temperatura ambiente (12-15 °C) ed in presenza di umidità. Questa classe di resine presenterà, inoltre, elevate caratteristiche di resistenza chimica (soprattutto agli alcali), meccanica e di adesione così da consentire il ripristino dell'omogeneità iniziale delle strutture lesionate. L'applicazione potrà avvenire a pennello, a tampono, con iniettori in ogni caso sotto stretto controllo dal momento che presenteranno un limitato pot-life. L'elevate caratteristiche meccaniche (in genere non compatibili con i materiali lapidei), la bassa permeabilità al vapore, il rapido invecchiamento con conseguente ingiallimento se esposte ai raggi U.V. non rende questo tipo di resine particolarmente adatto per superfici di materiali porosi quali pietra, legno, cotto, malta. Il loro impiego dovrà, pertanto, essere attentamente vagliato dall'appaltatore e sempre dietro specifica richiesta della D.L. orientativamente potranno essere messe in opera per il consolidamento/protezione di manufatti industriali, di superfici in cls e di costruzioni sottoposte ad un forte aggressione chimica.

I criteri di accettazione dovranno essere quelli enunciati nell'ultimo capoverso del punto 2.8 ("Materiali impregnanti – Generalità"), inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da foglio apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

#### *Resine fluorurate (perfluoropolietteri ed elastomeri fluorurati)*

Prodotti a doppia funzionalità, adatti come protettivi idro ed oleorepellenti i perfluoropolietteri, come aggreganti superficiali-protettivi per materiali lapidei porosi gli elastomeri fluorurati. Sono prodotti che non polimerizzano dopo la loro messa in opera in quanto già prepolimerizzati, pertanto il prodotto mantiene costanti nel tempo le proprie caratteristiche chimico-fisiche, assicurando un protezione costante contro l'invecchiamento oltre alla reversibilità del trattamento. Questi composti presenteranno sia discrete doti di aggreganti superficiali, utili per il preconsolidamento di materiali decoesi come marmi, pietre, laterizi ed intonaci (anche se non potranno essere considerati veri e propri consolidanti nonostante presentino il vantaggio di creare una struttura "non rigida" attorno ai granuli degradati della pietra eludendo, in questo modo, le tensioni dovute a sbalzi termici e ai differenti coefficienti di dilatazione termica dei materiali), sia, soprattutto, doti protettive idrofobizzanti: risulteranno permeabili al vapore d'acqua, completamente reversibili (anche quelli dotati di gruppi funzionali deboli di tipo ammidico) in acetone anidro o altro solvente impiegato per l'applicazione e stabili ai raggi U.V. Generalmente, saranno disciolte in solventi organici (ad es. acetone, acetato di butile ecc.) dal 2-3% fino al 7-10% in peso (la viscosità elevata consiglia tuttavia di utilizzare soluzioni a basse concentrazioni ad es., al 3% in 60% di acetone e 37% di acetato di butile) e potranno essere applicati a pennello o a spray in quantità variabili a seconda del tipo di materiale da trattare e della sua porosità.

I criteri di accettazione dovranno essere quelli enunciati nell'ultimo capoverso del punto 2.8 ("Materiali impregnanti – Generalità"), inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

#### *Resine acril-siliconiche*

Classe di prodotti a base di resine acriliche e siliconiche che, combinando le caratteristiche di entrambe le sostanze, risultano in grado di assolvere sia la funzioni consolidante riaggregante (propria della resina acrilica), sia quella protettiva idrorepellente (propria di quelle siliconiche); inoltre, grazie alla bassa viscosità del composto, l'impregnazione, rispetto alle resine acriliche, avverrà più in profondità (fino a 4-5 cm). Disciolte in particolari solventi organici risulteranno particolarmente indicate per interventi di consolidamento su pietra calcarea, arenaria, per superfici intonacate di varia natura, su mattoni in laterizio, su marmi e manufatti in gesso, elementi in cemento, opere in cemento armato e legno dolce e duro purché ben stagionato ed asciutto. Questo specifico tipo di resina trova particolare utilizzo in presenza di un processo di degrado provocato dall'azione combinata da aggressivi chimici ed agenti atmosferici: la resina penetrando nel manufatto, lo consoliderà senza togliergli la sua naturale permeabilità al vapore acqueo e, formando un sottilissimo velo superficiale, lo proteggerà rendendolo idrorepellente e resistente all'azione degli agenti atmosferici ed ai raggi ultravioletti.

Le resine acril-siliconiche dovranno essere utilizzate con idonei solventi organici (di natura preponderalmente polari al fine di favorirne la diffusione) prescritti dal produttore o indicati dalla D.L. così da garantire una bassa viscosità della soluzione (25±5 mPas a 25 °C), il residuo secco garantito dovrà 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.

Questa tipologia di resine non solo dovrà essere applicata su superfici perfettamente asciutte ma non potrà avere neanche in fase di applicazione (durante la polimerizzazione e/o essiccamento del solvente) contatti con acqua poiché questo fattore potrebbe comportare la formazione di prodotti secondari dannosi pertanto, dovrà essere cura dell'appaltatore proteggere tempestivamente dalla pioggia la superficie trattata prima, durante e dopo l'operazione di consolidamento. Al fine di evitare che il consolidante emetta il solvente troppo rapidamente e di conseguenza dia vita ad un film o una crosta sulla superficie del manufatto non sarà consentito operare con alte temperature (condizioni ottimali 15-25 °C) o con diretto irraggiamento solare.

La suddetta resina dovrà presentare le seguenti caratteristiche:

- elevata penetrazione;
- elevata traspirabilità;
- resistenza agli agenti atmosferici;
- nessuna variazione ai raggi U.V.;
- impermeabile all'acqua;

- permeabile al vapore;
- essere in grado di aumentare la resistenza agli sbalzi termici (così da eliminare i fenomeni di decoesione);
- non ingiallirsi nel tempo.

I criteri di accettazione dovranno essere quelli enunciati nell'ultimo capoverso del punto 2.8 ("Materiali impregnanti – Generalità"), inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

#### *Resine poliuretatiche*

Prodotti termoplastici o termoindurenti; in relazione ai monomeri utilizzati in partenza, presenteranno buone proprietà meccaniche, buona adesività ma bassa penetrabilità. Il prodotto dovrà possedere un'accentuata idrofilia in modo da garantire la penetrazione per capillarità, anche su strutture murarie umide inoltre, dovrà essere esente da ingiallimento (non dovranno pertanto contenere gruppi aromatici), presentare un basso peso molecolare, un'elevata resistenza agli agenti atmosferici e ai raggi U.V., un residuo secco intorno al 3%, un indurimento regolabile fino a 24 ore posteriore all'applicazione nonché una reversibilità entro le 36 ore dall'applicazione.

Sovente si potranno utilizzare in emulsione acquosa che indurrà rapidamente dopo l'evaporazione dell'acqua. Messe in opera per mezzo di iniezioni, una volta polimerizzate, le resine poliuretatiche dovranno trasformarsi in schiume rigide, utili alla stabilizzazione di terreni all'isolamento delle strutture dagli stessi, a sigillare giunti di opere in cls, e a risarcire fessurazioni nelle pavimentazioni e nelle strutture in elevazione sia di cemento armato sia in muratura. Queste resine, oltre che come consolidanti, potranno essere adoperate come protettivi e impermeabilizzanti: utilizzando l'acqua come reagente, si rileveranno confacenti per occlusioni verticali extramurari contro infiltrazioni. Questa classe di resine potrà essere considerata una buona alternativa alle resine epossidiche rispetto alle quali presentano una maggiore flessibilità ed una capacità di indurimento anche a 0 °C.

I criteri di accettazione saranno quelli enunciati nell'ultimo capoverso del punto 2.8 ("Materiali impregnanti – Generalità"), inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

#### *Composti a base di silicio*

Estere etilico dell'acido silicico (silicati di etile)

Sostanza monocomponente fluida, incolore, a bassa viscosità, dovrà essere applicata in diluizione in solventi organici in percentuali (in peso) comprese fra 60% e 80%. Al fine di stabilire la quantità di prodotto da utilizzare si renderanno necessari piccoli test da eseguirsi su superfici campioni. Questi test serviranno, inoltre, da spia per determinare l'eventuale alterazione dell'opacità della pietra e della sua tonalità durante e subito dopo il trattamento. Precipita per idrolisi, dando alcool etilico come sottoprodotto; è una sostanza bassomolecolare a base inorganica in solvente organico. Ha una bassissima viscosità, per cui penetra in profondità anche in materiali poco porosi, è applicabile a pennello, a spruzzo con irroratori a bassa pressione, a percolazione. Il materiale da trattare va completamente saturato sino a rifiuto; il trattamento potrà essere ripetuto dopo 2 o 3 settimane. Il supporto dovrà essere perfettamente asciutto, pulito e con una temperatura tra i 15 e i 20 °C.

Questo tipo di consolidante si rivelerà molto resistente agli agenti atmosferici e alle sostanze inquinanti, non verrà alterato dai raggi ultravioletti, e presenterà il vantaggio di possedere un elevato potere legante (dovuto alla formazione di silice amorfa idrata) soprattutto nei confronti di materiali lapidei naturali contenenti silice anche in tracce, quali arenarie, i tufi, le trachiti, ma anche su altri materiali artificiali quali i mattoni in laterizio, le terracotte, gli intonaci, gli stucchi, risultati positivi potranno essere ottenuti anche su materiali calcarei. Tale prodotto non risulta idoneo per il trattamento consolidante del gesso o di pietre gessose. Tra l'estere etilico dell'acido silicico e l'acqua che aderisce alle pareti dei capillari avviene una reazione che darà luogo alla formazione di gel di silice ossia un nuovo legante; come sottoprodotto si formerà alcool etilico che si volatilizzerà. La reazione chimica di consolidamento si completa entro circa 21-28 giorni dall'applicazione in condizioni normali (20 °C e 40-50% di umidità relativa).

Il consolidamento con silicato di etile dovrà rispondere ai seguenti requisiti fondamentali:

- prodotto monocomponente non tossico e di facile applicazione;
- ottima penetrazione nel supporto lapideo da trattare, dovuta al suo basso peso molecolare e alla scelta della miscela solventi;
- essiccamento completo senza formazione di sostenne secondarie appiccicose e di conseguenza nessuna adesione di depositi;
- formazione di sottoprodotti di reazione non dannosi al materiale trattato;
- formazione di un legante minerale, stabile ai raggi U.V., e affine al materiale lapideo;
- impregnazione senza effetto filmogeno di conseguenza il materiale lapideo trattato dovrà rimanere permeabile al vapore;
- assenza di variazioni cromatiche dei materiali lapidei trattati;
- il legante formatosi (SiO<sub>2</sub>) si presenterà resistente agli acidi e pertanto resisterà alle piogge ed alle condense acide.

L'impregnazione con silicato di etile dovrà essere evitata (se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto) nel caso in cui: il materiale da trattare non risultasse assorbente, in presenza sia di elevate temperature (> 25 °C) che di basse temperature (< 10 °C), con U.R. non > 70% e, se si tratta di manufatto esposto a pioggia, nelle quattro settimane successive al trattamento per questo, in caso di intervento su superficie esterne, si renderà necessario la messa in opera di appropriate barriere protettive.

In caso di sovradosaggio sarà possibile asportare l'eccesso di materiale, prima dell'indurimento, con tamponi imbevuti di solventi organici minerali. Alcuni esteri silicici, miscelati con silossani, conferiscono una buona idrorepellenza al materiale trattato.

I criteri di accettazione saranno quelli enunciati nell'ultimo capoverso del punto 2.8 ("Materiali impregnanti – Generalità"), inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

#### *Composti inorganici*

Presentano, generalmente, una grande affinità con i materiali da trattare; risulteranno duraturi, ma irreversibili e poco elastici. La loro azione avverrà tramite l'infiltrazione, in forma liquida, nel materiale oggetto del trattamento dove, per evaporazione del veicolo, la componente minerale del composto, precipitando, darà vita ad una rete che si legherà alle particelle minerali circostanti. Le caratteristiche fisico-chimiche del legame saranno, quindi, simili (anche se non sempre uguali) a quelle del legante perduto o degradato.

A seguito all'uso dei consolidanti inorganici potranno insorgere i seguenti inconvenienti: scarsa penetrazione all'interno del materiale lapideo da trattare (potrà provocare il distacco della crosta superficiale alterata e consolidata), scarsa resistenza agli stress meccanici (imputabile alla loro rigidità e fragilità), scarsa efficienza se la pietra risulterà totalmente decoesa da presentare fratture con distanze fra i bordi superiori a 100 micron.

#### *Idrossido di calce (calce spenta)*

La calce applicata alle malte aeree (ovvero sugli intonaci) e alle pietre calcaree in forma di latte di calce penetra nei pori riducendone il volume; aderendo alle superfici dei minerali componenti, dovrebbe presentare la capacità di risalzarli tra loro. Il Carbonato di Calcio di neoformazione<sup>10</sup>, non eserciterà, tuttavia, la stessa azione cementante avvenuto durante il lento processo di carbonatazione della calce pertanto, la similitudine tra processo naturale e la procedura di consolidamento si limiterà ad essere un'affinità chimica.

Questo tipo di trattamento potrà presentare l'inconveniente di lasciare depositi biancastri di carbonato di calce sulla superficie dei manufatti trattati, che, se non diversamente specificato negli elaborati di progetto (ovvero se previsto un successivo trattamento protettivo con prodotti a base di calce ad es., scialbatura), dovranno essere rimossi. In linea di massima, il consolidamento a base d'Idrossido di Calcio potrà essere applicato su intonaci debolmente degradati, situati in luoghi chiusi o sottoposti a limitate sollecitazioni termiche e, in ogni modo, al riparo da acque ruscellanti e cicli di gelo/disgelo.

I criteri di accettazione dovranno essere quelli enunciati nell'ultimo capoverso del punto 2.8 ("Materiali impregnanti – Generalità"), inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

#### *Idrossido di bario (barite)*

L'idrossido di Bario potrà essere utilizzato su pietre calcaree chiare e per gli interventi indirizzati a porzioni di intonaco dipinte a buon fresco di dimensioni ridotte quando vi sia l'esigenza di neutralizzare prodotti gessosi di alterazione. I vantaggi di questo prodotto sono sostanzialmente relativi al legante minerale, che verrà introdotto nel materiale e nella desolfatazione che converte il CaSO<sub>4</sub> (altamente solubile) in BaSO<sub>4</sub> (insolubile)<sup>11</sup>.

La porosità del materiale potrà essere ridotta solo parzialmente con il vantaggio nei riguardi dei meccanismi di alterazione legati all'assorbimento di acqua, ma non darà vita ad uno strato esterno impermeabile al vapore acqueo. Una controindicazione all'impiego di questo trattamento sarà rappresentata dal pericolo di sbiancamenti delle pietre o dei materiali scuri e nella formazione di patine biancastre superficiali, dovute alla precipitazione del Carbonato di Bario<sup>12</sup> causata dall'eventuale apporto diretto d'anidride carbonica. Questo "inconveniente" potrà essere facilmente evitato eliminando l'eccesso di Idrossido di Bario dalla superficie esterna dell'oggetto prima che precipiti il Carbonato di Bario. Sarà sconsigliato l'uso su materiali ricchi, oltre che di gesso, di altri sali solubili in modo da evitare possibili combinazioni che potrebbero produrre azioni degradanti.

Il trattamento con Idrossido di Bario viene spesso effettuato attraverso l'applicazione di soluzioni al 5-6% di sale in acqua demineralizzata supportate in forma di impacco in polpa di cellulosa per tempi variabili da caso a caso (dalle dodici alle quarantotto ore a seconda della permeabilità del substrato). L'elevata alcalinità ne impedisce l'applicazione in corrispondenza di pigmenti a base di rame, di lacche, e di leganti organici, materiali altamente sensibili a variazioni di pH.

I criteri di accettazione saranno quelli enunciati nell'ultimo capoverso del punto 2.8 ("Materiali impregnanti – Generalità"), inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

### **• IMPREGNANTI PER LA PROTEZIONE E L'IMPERMEABILIZZAZIONE**

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 utilizzabili per i trattamenti di protezione, di norma, dovranno possedere le seguenti caratteristiche comprovate da prove ed analisi da eseguirsi in laboratorio o direttamente in cantiere:

- 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 della 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%;
- non tossicità.

I protettivi più efficaci per i materiali lapidei (naturali ed artificiali tipo intonaci e cotti) apparterranno fundamentalmente alla classe dei composti organici e dei composti a base di silicio, la scelta sarà in ragione alle problematiche riscontrate. Sarà sempre opportuno, ad applicazione, avvenuta, provvedere ad un controllo (cadenzato nel tempo) sulla riuscita dell'intervento onde verificarne l'effettiva efficacia.

#### *Composti organici*

##### *Resine fluorurate*

Per le caratteristiche di questa resina si rimanda all'articolo precedente. I criteri di accettazione saranno, in ogni caso, quelli enunciati nell'ultimo capoverso del punto 2.8 ("Materiali impregnanti – Generalità"), inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

##### *Resine acril-siliconiche*

Per le caratteristiche di questa resina si rimanda all'articolo precedente. I criteri di accettazione saranno, in ogni caso, quelli enunciati nell'ultimo capoverso del punto 2.8 ("Materiali impregnanti – Generalità"), inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

##### *Resine poliuretaniche*

Per le caratteristiche di questa resina si rimanda all'articolo precedente. I criteri di accettazione saranno, in ogni caso, quelli enunciati nell'ultimo capoverso del punto 2.8 ("Materiali impregnanti – Generalità"), inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

#### *Composti a base di silicio*

### Silani

Più precisamente alchil-alcossi-silani monomeri che date le ridotte dimensioni delle molecole (uguali a quelle dell'acqua), presenteranno ottima penetrabilità e saranno capaci di idrofobizzare i capillari più piccoli e di opporre resistenza alla penetrazione dei cloruri e dei sali solubili. Presenteranno la capacità di trattare superfici umide grazie alla possibilità di solubilizzazione in solventi polari quali alcoli ed acqua; generalmente utilizzati su supporti alcalini e silicei, risultano perciò convenienti su oggetti in cotto, materiali lapidei, tufo, intonaci in malta bastarda, mattoni crudi ecc.; il loro uso sarà sconsigliato su marmi carbonatici e intonaci di calce aerea. Normalmente saranno utilizzati in soluzioni di solvente con concentrazione in secco variabile dal 20% al 40% in peso; in casi particolari si potranno utilizzare anche al 10%.

Il loro impiego sarà, in ogni modo, abbastanza limitato in quanto la notevole volatilità del composto ed un'eventuale pioggia battente a breve distanza di tempo dal trattamento (in pratica prima della polimerizzazione) potranno di-staccare gran parte del prodotto applicato, con il conseguente onere, necessario, di una maggior quantità di prodotto per avere gli effetti richiesti; inoltre, presenteranno l'inconveniente di generare un effetto perlante.

Questi prodotti potranno essere miscelati con silicato d'etile al fine di combinare le caratteristiche di entrambe le sostanze.

I criteri di accettazione saranno quelli enunciati nell'ultimo capoverso del punto 2.8 ("Materiali impregnanti – Generalità"), inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

### Silossani (alchilsilossani oligomeri)

Più precisamente alchil-alcossi-silossani oligomerici ossia polimeri reattivi a basso peso molecolare. Potranno essere utilizzati sia in forma pura, cioè senza solvente, (in questo caso sarà consigliabile l'uso di monomeri piuttosto che quello di oligomeri o polimeri), sia in soluzione di solvente organico (generalmente con contenuto attivo del 5-10% in peso). Si rileverà efficace l'utilizzo su supporti compatti e scarsamente assorbenti; in funzione della loro particolare struttura chimica saranno in grado di infiltrarsi all'interno dei più fini capillari con un'elevata diffusione. Oltre all'ottima capacità di penetrazione i suddetti prodotti dovranno presentare le seguenti caratteristiche:

- elevata stabilità agli alcali ed ai raggi ultravioletti;
- passaggio invariato del vapore acqueo delle superfici trattate consegnate all'assenza di formazione di pellicola superficiale e nessuna occlusione dei capillari o dei pori dei supporti trattati;
- essiccazione fuori polvere per sola emissione del solvente veicolante;
- assenza di sottoprodotti di reazione, dandosi ai manufatti trattati;
- possibilità di trattamento di superfici leggermente umide;
- assenza di variazioni cromatiche delle superfici trattate.

Il trattamento ai silossani modificherà lo stato di tensione superficiale del sottofondo in modo tale che le gocce di pioggia scorreranno sulla superficie verticale senza imbibirla; inoltre, il trattamento non creerà una pellicola continua sul supporto, lasciando in questo modo al sottofondo la possibilità di traspirare, senza modificare l'equilibrio. L'elevata riduzione d'assorbimento dei sali da parte dei manufatti impregnati con silossani renderà il trattamento particolarmente indicato nei casi di risalita capillare nelle murature. Due, essenzialmente, saranno i fattori determinanti in favore dei silossani rispetto a silani: ovvero la più celere reazione per formare la materia attiva e la non perdita di materiale causata dall'evaporazione.

Questi prodotti potranno essere miscelati con silicato di etile al fine di combinare le caratteristiche di entrambe le sostanze, orientativamente una miscela idrorepellente consolidante potrà essere composta da il 7% di silossani ed il 60% di silicato di etile.

Gli alchilsilossani oligomeri potranno essere utilizzati anche in micro emulsioni acquose i componenti di una microemulsione saranno:

- una fase acquosa che costituiranno il liquido disperdente;
- una fase oleosa composta da silani, silossani e polisilossani;
- un emulsificante formato da polisilossani con gruppi funzionali a base di acetato di ammonio, lo sviluppo di acido acetico da questo composto durante l'essiccazione serve da agente catalitico dei silicani;
- un co-emulsionante costituito da silani e silossani a basso peso molecolare

I criteri di accettazione saranno quelli enunciati nell'ultimo capoverso del punto 2.8 ("Materiali impregnanti – Generalità"), inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

### Composti a base naturale

#### Olio di lino e Cere

L'olio di lino è un prodotto essiccativo costituito per l'85-90% da gliceridi degli acidi grassi non saturi. Gli olii essiccativi si useranno, se non diversamente specificato, dopo essere stati sottoposti a una particolare cottura allo scopo di esaltarne il potere essiccativo. L'olio di lino dopo la cottura (a 150-300 °C) dovrà presentarsi ben depurato, con un colore giallo-bruno rossastro perfettamente limpido, di odore forte ed amarissimo al gusto, scevro da adulterazioni 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 ammessa dovrà essere 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. Troverà utilizzo prevalentemente per l'impregnazione del legno, di pavimenti e materiali in cotto.

Le cere potranno essere divise in tre categorie secondo la loro derivazione:

- cere animali derivanti da secrezioni animali o contenute in alcune parti di essi come nei cetacei, la più utilizzata è la cera d'api simile alle sostanze grasse, pur essendo di costituzione chimica diversa, non contiene glicerina e, a differenza dei grassi, saponifica difficilmente. È di colore giallo intenso, più o meno scura, rammollisce a circa 35 °C, fonde a ca. 62 °C e solidifica a 61 °C, pH 20,7; infiammabile brucia senza lasciare residuo; insolubile in alcool freddo solubile a caldo in assenza di trementina negli oli grassi, benzene, cloroformio ecc., insolubile in acqua ma permeabile al vapore. Questi tipi di cera solubilizzeranno anche a distanza di tempo pertanto si rilevano reversibili;

- cere vegetali contenute all'interno o in superficie di fibre vegetali, più dure delle cere animali e presentano un'alta brillantezza (cera di cotone, di lino, di tabacco ecc.): cera carnuba (detta anche cera brasiliana), è un prodotto molto pregiato di colore giallo verdastro pallido o grigio giallognolo prodotto ricavato dall'essudazione delle foglie della palma del Brasile (copernicia cerifera o corypha cerifera), si presenta in pezzi duri ma fragili a seconda dell'untuosità al tatto si classifica grassa o magra. Solubile a caldo nei comuni solventi organici tipo alcool etilico, benzene, trementina, ragia minerale ecc.; punto di fusione 82-85 °C. di norma difficilmente solubile a

freddo, resistente e brillante sovente utilizzata per aumentare il punto di fusione delle altre cere o per dare più lucentezza e durezza ovvero per diminuire l'effetto appiccicoso;

– cere minerali possono essere di origine fossile (cera montana, ozocerite) o frutto di sintesi del petrolio (paraffine): cera microcristallina miscela d'idrocarburi alifatici saturi a peso molecolare medio alto, punto di fusione da 90 °C a 95 °C, punto di goccia 106-110 °C, si presenta come piccole scaglie bianche o leggermente giallognole con una particolare struttura microcristallina. Particolarità positive risiedono nell'elevato potere adesivo a freddo, l'inerzia chimica, ottima reversibilità ed idrorepellenza. Poco solubili a freddo nei solventi polari solubili a caldo e a freddo nei solventi clorurati e nell'essenza di trementina.

Le cere potranno essere impiegate in forma di soluzione o dispersione. Tutte le cere troveranno, in ogni caso, impiego ristretto nel trattamento dei materiali lapidei e porosi a causa dell'ingiallimento e dell'opacizzazione delle superfici trattate; inoltre, in presenza di umidità e carbonato di calcio, potranno dare luogo alla formazione di saponi che scoloriranno l'oggetto trattato. Se non diversamente specificato non andranno utilizzati su manufatti in esterno, esposti agli agenti atmosferici in quanto poco resistenti e possibili terreni di coltura per batteri ed altri parassiti. Le cere potranno trovare utilizzo nei trattamenti protettivi per strutture in legno e manufatti in cotto.

Oli e cere dovranno essere, se non diversamente specificato, applicati a pennello.

I criteri di accettazione saranno quelli enunciati nell'ultimo capoverso del punto 2.8 ("Materiali impregnanti – Generalità"), inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

#### • **IMPREGNANTI PER INTERVENTI DI DEUMIDIFICAZIONE**

La tipologia dei formulati impregnanti per questo tipo di trattamenti sarà varia (silossano oligomero in solvente alifatico dearomatizzato, microemulsione silossilanic in solventi eteropolari idrolizzati, silano in acqua demineralizzata ecc.), le caratteristiche che accrediteranno una buona miscela idrofobizzante dovranno essere:

- bassa tensione superficiale, bassa viscosità, basso peso specifico e buon potere bagnante al fine di conferire la massima facilità di penetrazione del liquido nella muratura;
- bassa velocità di polimerizzazione e capacità di polimerizzazione anche in presenza di acqua per consentire un rapido funzionamento della barriera ed evitare che, nel tempo successivo all'operazione, agenti estranei ne disperdano l'efficacia;
- valore di pH nullo, assenza di componenti tossici, nessuna efflorescenza in asciugatura.

In ogni caso i formulati dovranno rispettare i requisiti richiesti dalla Raccomandazione NorMaL 20/85.

I criteri di accettazione saranno quelli enunciati nell'ultimo capoverso del punto 2.8 ("Materiali impregnanti – Generalità"), inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

## **11. MATERIALI VARI**

### • **MATERIALI VARI PER IL CONSOLIDAMENTO**

#### *Alcool polivinilico*

Sostanza ad alto peso molecolare, solubile in acqua, alla quale si impartisce forte viscosità e proprietà emulsionanti. Si rileva poco solubile in solventi organici viene sovente utilizzato in miscele di acqua e alcool etilico denaturato (in soluzioni dal 3 al 10%) nelle operazioni di preconsolidamento per fissaggi di scaglie e/o frammenti oppure per fissaggi mediante velinature con garza di cotone o carta giapponese.

#### *Acetato di polivinile*

Resina sintetica termoplastica, preparata per polimerizzazione dell'acetato di vinile, a sua volta ottenuto da acetilene e acido acetico. Utilizzata in soluzione dal 3 al 10% in alcool etilico o isopropilico oppure in miscele a base di acido etilico denaturato e acqua come fissativo di pellicole pittoriche o per eseguire "ponti di cucitura" di frammenti scaglie decoese. Punto di rammollimento 155-180 °C, viscosità a 20 °C della soluzione 20% in estere etilico dell'acido acetico 180-240 mPas.

#### *Polyfilla*

Stucco riempitivo per esterni o interni da impastare con acqua (2-2 1/2 parti in polvere con 1 parte di acqua), privo d'amianto e resistente all'acqua, applicabile con temperature variabili da 5 a 30 °C. Può essere impiegato per stuccare lesioni, fessure, cavillature, per pareggiare superfici o per ripristini di modeste dimensioni. La polyfilla presenta un'elevata durezza dopo l'essiccazione (minimo 6 ore) conservando la forma datagli. Questo stucco può essere colato, colorato, modellato e, dopo l'essiccazione, intagliato, levigato e lucidato.

### • **MATERIALI VARI PREMISCELATI**

#### *Malta premiscelata per iniezioni di consolidamento e riadesione di intonaci*

La malta da iniezione dovrà essere composta da calci naturali e leganti idraulici speciali, chimicamente stabili ed a bassissimo contenuto di sali solubili, inerti silicei, ardesia, pozzolana superventilata e da una speciale combinazione di additivi fluidificanti, ritentivi ed aeranti. La speciale formulazione, prodotta in dispersione planetaria 1/10.000 per un tempo inferiore a 20 minuti, dovrà formare un premiscelato omogeneo di colore grigio chiaro. Il prodotto, dovrà, inoltre, presentare un'ottima penetrabilità nelle murature senza preeliminare bagnatura dei supporti, facile pulitura delle fuoriuscite, compatibilità chimico/meccanica con calce e pozzolana, bassa resistenza meccanica, assenza di efflorescenze anche in ambienti molto umidi. La malta dovrà essere impastata energicamente (per circa 3 minuti) con acqua demineralizzata (sarà consigliabile filtrare la boiaccia ottenuta al fine di eliminare eventuali piccoli grumi formati in fase di impasto). Il prodotto non dovrà essere addizionato nella preparazione e posa con nessun altro componente oltre all'acqua di impasto e non dovrà essere assolutamente aggiunta acqua una volta che avrà iniziato la presa. Sarà consigliabile utilizzare siringhe con aghi di tipo veterinario (diametro di uscita superiore ai 2 mm).

Il premiscelato, per la particolarità dell'applicazione, deve essere sperimentato da almeno 10 anni in ricerche promosse dal Ministero BB.AA.CC. Del prodotto utilizzato dovranno essere dichiarate le principali caratteristiche chimico-fisiche, i luoghi e la data dell'avvenuta sperimentazione. Il produttore dovrà, inoltre, fornire gli elaborati relativi all'attività di ricerca svolta, ratificati dall'Ente pubblico preposto al controllo della stessa.

Le caratteristiche chimico-fisiche medie dovranno essere: peso specifico 1,02 kg/dm<sup>3</sup>, lavorabilità 1 h, essudamento assente, aderenza 0,8 N/mm<sup>2</sup>, inizio presa a +20 °C 24 h, fine presa a +20 °C 48 h, resistenza a compressione a 28 gg 6 N/mm<sup>2</sup>, resistenza a flessione a 28 gg 2 N/mm<sup>2</sup>, modulo elastico 5000 N/mm<sup>2</sup>, ritiro 0,7-1,8 mm, ritenzione acqua > 80%, permeabilità al vapore 6 m; ritiro 0,7-1,8 mm.

#### *Malta premiscelata per riadesione e riempimento di vuoti a basso peso specifico*

La malta da iniezione dovrà presentare basso peso specifico (0,4 kg/dm<sup>3</sup>) e basse resistenze meccaniche così da risultare idonea per eseguire riempimenti di grosse cavità presenti fra strati di intonaco (3-4 cm), sigillatura di lesioni superficiali, reincollaggio di parti di intonaco degradate e friabili, riadesione di elementi privi di funzioni statiche e non appesantibili. L'impasto dovrà essere composto da calci naturali e leganti idraulici speciali (C30), chimicamente stabili ed a bassissimo contenuto di sali solubili, pozzolana, perlite ventilata ed una particolare combinazione di additivi fluidificanti, ritentivi ed aeranti. La speciale formulazione, prodotta in dispersione planetaria 1/10.000 per un tempo inferiore a 20', dovrà formare un premiscelato omogeneo di colore bianco. La malta può essere additivata con microfibre al fine di migliorarne le caratteristiche meccaniche in impieghi particolari; in ogni caso dovrà essere impastata energicamente (con trapano elettrico a bassa velocità per circa 6-8 minuti) con acqua demineralizzata (sarà consigliabile filtrare la boiaccia ottenuta al fine di eliminare eventuali piccoli grumi formati in fase di impasto). Se non diversamente specificato, questi prodotti dovranno essere iniettati entro 30 minuti dalla preparazione. Il prodotto non dovrà essere addizionato nella preparazione e posa con nessun altro componente oltre all'acqua di impasto e non dovrà essere assolutamente aggiunta acqua una volta che avrà iniziato la presa. Sarà consigliabile utilizzare siringhe di tipo veterinario prive di ago (diametro di uscita superiore ai 6 mm).

Il premiscelato, per la particolarità dell'applicazione, deve essere sperimentato da almeno 10 anni in ricerche promosse dal Ministero BB.AA.CC. Del prodotto utilizzato dovranno essere dichiarate le principali caratteristiche chimico-fisiche, i luoghi e la data dell'avvenuta sperimentazione. Il produttore dovrà, inoltre, fornire gli elaborati relativi all'attività di ricerca svolta, ratificati dall'Ente pubblico preposto al controllo della stessa.

Le caratteristiche chimico-fisiche medie dovranno essere: peso specifico 0,4 kg/dm<sup>3</sup>, lavorabilità 4 h, essudamento assente, aderenza 0,9 N/mm<sup>2</sup>, inizio presa a +20 °C 20 h, fine presa a +20 °C 44 h, resistenza a compressione a 28 gg 31 N/mm<sup>2</sup>, resistenza a flessione a 28 gg 8 N/mm<sup>2</sup>, modulo elastico 5200 N/mm<sup>2</sup>, ritiro 0,4-1,2 mm, ritenzione acqua > 85%, permeabilità al vapore 3 m; ritiro 0,4-1,2 mm.

#### *Malta premiscelata per iniezione di consolidamento strutturale*

La malta per iniezioni dovrà essere a base di calce idraulica naturale, priva di sali solubili, rafforzata con metacaolino purissimo ad alta reattività pozzolanica (od in alternativa con polvere di cocchio pesto) caricata con carbonato di calcio scelto e micronizzato, (o perlite superventilata se si ricerca una malta a basso peso specifico) a cui andranno aggiunti additivi quali ritenitori d'acqua di origine naturale e superfluidificanti al fine di poter iniettare la miscela a bassa pressione. Se non diversamente specificato l'acqua da utilizzare nell'impasto dovrà, essere demineralizzata. Il prodotto non dovrà essere addizionato nella preparazione e posa con nessun altro componente oltre all'acqua di impasto, possibilmente demineralizzata, e non dovrà essere assolutamente aggiunta acqua una volta che avrà iniziato la presa.

Le caratteristiche chimico-fisiche medie dovranno essere: peso specifico 1,4 kg/dm<sup>3</sup>, lavorabilità 2 h, bleeding trascurabile, aderenza 1,4 N/mm<sup>2</sup>, inizio presa a +20 °C 18 h, fine presa a +20 °C 72 h, resistenza a compressione a 28 gg 13 N/mm<sup>2</sup>, resistenza a flessione a 28 gg 3,5 N/mm<sup>2</sup>, modulo elastico 11000 N/mm<sup>2</sup>, temperatura massima durante l'indurimento < 30 °C, ritiro 0,7-1,2 µm, ritenzione acqua > 70%, permeabilità al vapore 9 µ.

#### *Malta premiscelata per betoncino di collaborazione statica*

La malta dovrà presentare un modulo elastico basso così da limitare eventuali inconvenienti legati all'instabilizzazione per carico di punta; a tal fine si potranno utilizzare malte a base di calce idraulica naturale caricata con inerti a comportamento pozzolanico (ad es., pozzolana, metacaolino, cocchio pesto ecc.), sabbie silicee (granulometria 0,1-2 mm) con l'eventuale aggiunta di additivi aeranti naturali, fibre minerali inorganiche atossiche (così da ridurre le tensioni generate dall'evaporazione dell'acqua e limitare le fessurazioni da ritiro plastico) ed espansivi minerali (così da controllare il ritiro igrometrico).

Le malte, a ritiro compensato, da utilizzare per i betoncini dovranno, in ogni caso, presentare le seguenti caratteristiche: granulometria inerti 0,1-2,0 mm, inizio presa 5 h, fine presa 15 h, resistenza a compressione a 28 gg > 18 N/mm<sup>2</sup>; modulo elastico a 28 gg < 15000 N/mm<sup>2</sup>; espansione contrastata a 7 gg > 300 µm/m; coefficiente di permeabilità al vapore < 150 µ.

L'utilizzo di premiscelati a base di calce idraulica naturale o idraulica pozzolanica (calce aerea miscelata a cariche con reattività pozzolaniche), rispetto all'uso del cemento presenterà il vantaggio di ottenere un impasto più plastico e maggiormente lavorabile, inoltre l'uso della calce idraulica garantirà capacità di traspirazione delle pareti.

#### *Malta premiscelata a base di calce idraulica naturale da rinzaffo*

Il rinzaffo, che dovrà essere applicato a copertura totale del supporto, sarà costituito da una malta a grana grossa, costituita esclusivamente da materie prime naturali quali legante di pura calce idraulica naturale NHL 3.5, calce idraulica HL 5, pozzolana naturale micronizzata, inerti di sabbia silicea e calcare dolomitico in curva granulometrica 0-2,5 mm. Le caratteristiche richieste, ottenute esclusivamente con l'impiego di materie prime di origine rigorosamente naturale, dovranno garantire una totale resistenza ai sali (Tabella 1 - ASTM C 1012-95a ≤ 0,034%). La malta da rinzaffo dovrà soddisfare i requisiti della norma EN 998/1 - GP/CS III / W1, adesione 0,7 N/mm<sup>2</sup>, reazione al fuoco classe A1. Il rinzaffo avrà uno spessore medio di 10 mm ed una finitura a rustico in unico strato stollato. L'applicazione, eseguita a mano dovrà avere una resa media circa 15 kg/m<sup>2</sup> per centimetro di spessore.

Le caratteristiche finali dell'impasto dovranno essere: coefficiente di resistenza alla diffusione del vapore d'acqua (m) ≤ 20 EN 1015-19; assorbimento d'acqua per capillarità Categoria W1 EN 998-1; profondità d'infiltrazione dell'acqua 1 h ≥ 5 mm EN 1015-18; profondità d'infiltrazione dell'acqua 24 h ≥ 20 mm EN 1015-18; reazione al fuoco Classe A1 EN 13501-1; resistenza a compressione a 28 gg Categoria CS III EN 998-1; aderenza al supporto (laterizio) ≥ 0,7 N/mm<sup>2</sup> - FP: B EN 1015-12; resistenza ai solfati (Tabella 1 ≤ 0,034%) Superata ASTM C 1012-95a; conducibilità termica (l 10, dry) 0,83 W/mK (valore tabulato) EN 1745; durabilità (al gelo-disgelo) valutazione basata sulle disposizioni valide nel luogo di utilizzo previsto della malta EN 998-1; indice di radioattività I = 0,27 UNI 10797/1999.

#### *Malta premiscelata a base di calce idraulica naturale da arriccio*

L'arriccio, che dovrà essere steso al fine di realizzare uno strato "protettivo e deumidificante" ad altissima porosità, igroscopicità, traspirabilità e ridotto assorbimento capillare d'acqua, sarà costituito da una malta a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5, pozzolana naturale extrafine e inerti di sabbia silicea e calcare dolomitico in curva granulometrica 0-2,5 mm. Le caratteristiche richieste,



ottenute esclusivamente con l'impiego di materie prime di origine rigorosamente naturale, dovranno garantire un'altissima traspirabilità dell'intonaco (coefficiente di resistenza al vapore acqueo  $\mu \leq 3$ ), un'elevata porosità della malta indurita ( $\geq 40\%$ ), una naturale conducibilità termica (pari a 0,47 W/mK), una notevole aria occlusa in fase d'impasto ( $\geq 25\%$ ), una totale resistenza ai sali (WTA 2-2-91/0 Superata) e una ridotta profondità d'infiltrazione d'acqua (nelle 24 h  $\leq 5$  mm). L'impasto dovrà soddisfare i requisiti della norma EN 998/1 - R/CS II/W24  $\geq 0,3$  kg/m<sup>2</sup>, adesione 0,2 N/mm<sup>2</sup>, reazione al fuoco classe A1. L'intonaco dovrà avere uno spessore minimo di 20 mm, costituito da due strati dello spessore medio di 10 mm, ed una finitura a rustico fine. L'applicazione, eseguita a mano, dovrà avere una resa media di circa 12 kg/m<sup>2</sup> per ogni centimetro di spessore.

Le caratteristiche finali dell'impasto dovranno essere: coefficiente di resistenza alla diffusione del vapore d'acqua ( $\mu$ )  $\leq 3$  EN 1015-19; assorbimento idrico capillare W24  $\geq 0,3$  kg/m<sup>2</sup> EN 1015-18; profondità d'infiltrazione dell'acqua 24 h  $\leq 5$  mm EN 1015-18; porosità  $\geq 40\%$  WTA 2-2-91/D; reazione al fuoco Classe A1 EN 13501-1; resistenza a compressione a 28 gg Categoria CS II EN 998-1; aderenza al supporto (laterizio)  $\geq 0,2$  N/mm<sup>2</sup> - FP: B EN 1015-12; rapporto resistenza compressione/flessione  $\leq 3$  WTA 2-2-91/D; resistenza ai sali Superata WTA 2-2-91/D; conducibilità termica (l 10, dry) 0,47 W/mK (valore tabulato) EN 1745; durabilità (al gelo-disgelo) valutazione basata sulle disposizioni valide nel luogo di utilizzo previsto della malta EN 998-1; indice di radioattività I = 0,30 UNI 10797/1999.

#### • MATERIALI COMPOSITI FRP

I prodotti denominati FRP (acronimo di Fiber Reinforced Polymers) sono "sistemi compositi" fibrosi a matrice polimerica. Il materiale base sarà il rinforzo fibroso costituito da lunghe fibre aventi un diametro di circa 8mm, accostate le une alle altre ed impregnate in situ con una matrice a base di resine (epossidiche o poliestere bicomponenti a bassa viscosità) che polimerizzeranno a temperatura ambiente o industrialmente mediante il processo di pultrusione. La matrice polimerica avrà il compito di trasferire le sollecitazioni alle fibre di rinforzo, di proteggere la fibra da attacchi di tipo chimico o meccanico o da variazioni di temperatura, ed infine, di dare forma al composito.

Le fibre, commercialmente prodotte, per la realizzazione dei FRP potranno essere di quattro tipi:

- fibre di carbonio presentano elevata resistenza e rigidità, modesta sensibilità alla fatica, eccellente resistenza all'umidità ed agli agenti chimici; per contro presentano un modesto valore di deformazione ultima, bassa resistenza agli urti e sono danneggiabili all'intaglio, in conseguenza di una limitata deformabilità in direzione trasversale. Le fibre di carbonio potranno essere classificate in: ad alta tenacità (HT con E < 250 GPa), alto modulo (HM con E < 440 GPa), ed altissimo modulo (UHM con E > 440 GPa);
- fibre in vetro sono prodotte per estrusione, presenteranno un'elevata resistenza a trazione che però sarà accompagnata da una limitata resistenza ai carichi ciclici e da una forte sensibilità agli ambienti alcalini. I tipi di vetro comunemente utilizzati saranno il tipo E, il tipo S e ad alta resistenza chimica di tipo AR;
- fibre aramidiche sono di natura polimerica, oltre che per la buona resistenza e rigidità sono caratterizzate da un'ottima resistenza agli agenti chimici: una forte deperibilità delle caratteristiche meccaniche può essere causata dai raggi U.V. Le fibre aramidiche potranno essere classificate in: alto modulo (HM), ed altissimo modulo (UHM);
- fibre polivinilalcol (PVA) estremamente leggere e con una maggiore deformabilità rispetto alle fibre in vetro, presenteranno al contempo una maggiore capacità di sopportazione alle deformazioni e una grande compatibilità con il cemento.

Tabella 2.9 Caratteristiche meccaniche delle fibre

	CARBONIO	VETRO	ARAMIDE	POLIVINILALCOL
Resistenza a trazione	2500-4800 MPa	1800-3500 MPa	2800-3500 MPa	1400- MPa
Modulo Elastico (E)	200-600 GPa	70-85 GPa	80-140 GPa	29-30 GPa
Allungamento a rottura	1-2 %	3-4 %	2-3 %	6%
Densità	1,7-1,9 g/cm <sup>3</sup>	2,5 g/cm <sup>3</sup>	1,4 g/cm <sup>3</sup>	1,3 g/cm <sup>3</sup>

Le tipologie dei compositi FRP utilizzate saranno rappresentate da: i tessuti, le lamine e le barre.

I tessuti (utilizzabili nel rinforzo esterno a flessione, a taglio e per il confinamento a compressione) potranno essere realizzati in fibre secche (carbonio, aramide, vetro) unidirezionali (fibre orientate secondo un'unica direzione), bi-direzionali (fibre orientate secondo direzioni 0° e 90°) o bi-assiale (fibre inclinate a  $\pm 45^\circ$ ). Le larghezze delle strisce potranno variare da un minimo di 10 cm ad un massimo di 100 cm in tessuto di fibra con spessore a secco variabile a seconda della natura della fibra se non diversamente specificato (ad es., per fibre unidirezionali si potranno avere: carbonio circa 0,16 mm, vetro circa 0,23 mm, aramide circa 0,21 mm); anche il peso sarà variabile in rapporto al materiale ed alla tipologia della fibra (per es. fibre di carbonio unidirezionali peseranno circa 300-600 g/m<sup>2</sup>, le fibre di carbonio bi-direzionali peseranno circa 230-360 g/m<sup>2</sup>, mentre quelle bi-assiali circa 450-600 g/m<sup>2</sup>).

Le lamine (utilizzabili nel rinforzo esterno a flessione) rappresenteranno piattine pultruse in fibre secche (carbonio, aramide, vetro) di spessore superiore a quello del tessuto (rapporto circa 1:8 o superiore) e variabile (per le fibre di carbonio) da 1,4 a 50 mm così come la larghezza variabile da 50 a 150 mm.

Le barre (utilizzabili nel rinforzo interno a flessione come tiranti o come armature) potranno essere realizzate in fibra di carbonio, di vetro o di aramide con diametro circolare (f 5, 7, 10 mm) o rettangolare di varie sezioni (da 1,5 x 5 mm a 30 x 40 mm). Le suddette barre pultruse potranno presentare, se richiesto dagli elaborati di progetto, un'aderenza migliorata ottenuta mediante sabbiatura superficiale di quarzo sferoidale e spirallatura esterna. Questo tipo di prodotto dovrà, inoltre, presentare un'elevata durabilità nei confronti di tutti gli aggressivi chimici (quali ad es., idrossidi alcalini, cloruri e solfati).

A complemento di quanto specificato negli elaborati di progetto, o negli articoli relativi alla destinazione d'uso, i materiali compositi FRP si intenderanno forniti con le seguenti caratteristiche:

Tipologie dei compositi FRP

- tessuto .....
- lamina .....
- barra .....

Tipologia di filamento

- carbonio .....

- vetro .....
- aramide .....
- polivinilalcol .....
- .....
- Orientamento fibre
- unidirezionale .....
- bi-direzionale .....
- bi-assiale .....
- Spessore della fibra per il calcolo (mm) .....
- Larghezza nastro o lamina (mm) .....
- Peso fibra (g/m<sup>2</sup>).....
- Densità fibra (kg/m<sup>3</sup>).....
- Modulo Elastico (GPa) .....
- Tensione di rottura a Trazione fibra (MPa) .....
- Allungamento a rottura (%) .....
- Caratteristiche matrice polimerica .....
- Caratteristiche dell'adesivo .....

I prodotti sopra elencati verranno considerati al momento della fornitura; la D.L. ai fini della loro accettazione potrà procedere a controlli (anche parziali) su campioni della fornitura oppure richiedere un attestato di conformità della fornitura alle prescrizioni indicate negli articoli specifici. In caso di contestazione si intende che le procedure di prelievo dei campioni, i metodi di prova e valutazione dei risultati saranno quelli indicati nelle norme UNI vigenti e in mancanza di queste ultime quelli indicati dalle norme estere o internazionali.

## Capo terzo

### MODALITA' DI ESECUZIONE DEI LAVORI

#### 12. PROCEDURE OPERATIVE DI RESTAURO

##### • ASPORTAZIONI

###### Generalità

Le operazioni di demolizioni e smontaggi dovranno essere conformi a quanto prescritto nel DPR 7 gennaio 1956, n. 164 (in modo particolare negli articoli 10, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76). Le demolizioni e/o le asportazioni totali o parziali di murature, intonaci, solai ecc., nonché l'operazione di soppressione di stati pericolosi in fase critica di crollo, anche in presenza di manufatti di pregevole valore storico-architettonico, dovranno essere eseguite con ordine e con le necessarie precauzioni, al fine sia di non provocare eventuali danneggiamenti alle residue strutture, sia di prevenire qualsiasi infortunio agli addetti al lavoro; dovranno, inoltre, essere evitati incomodi, disturbi o danni collaterali. Particolare attenzione dovrà essere fatta allo scopo di evitare la formazione d'eventuali zone d'instabilità strutturale.

Sarà vietato demolire murature superiori ai 5 m d'altezza senza l'uso d'idonei ponti di servizio indipendenti dalla struttura oggetto d'intervento. Per demolizioni da 2 m a 5 m d'altezza sarà obbligo, per gli operatori, indossare idonee cinture di sicurezza complete di bretelle e funi di trattenuta.

Sarà assolutamente interdetto: gettare dall'alto i materiali, i quali dovranno essere, necessariamente, trasportati o meglio guidati a terra, attraverso idonei sistemi di canalizzazione (ad es. tubi modulari telescopici) la cui estremità inferiore non dovrà risultare ad altezza maggiore di 2 m dal livello del piano di raccolta; l'imboccatura superiore del canale, dovrà, inoltre, essere protetta al fine di evitare cadute accidentali di persone o cose. Ogni elemento del canale dovrà imboccare quello successivo e, gli eventuali raccordi, dovranno essere opportunamente rinforzati. Il materiale di demolizione costituito da elementi pesanti od ingombranti (ad es. la carpenteria lignea), dovrà essere calato a terra con idonei mezzi (gru, montacarichi ecc.). Al fine di ridurre il sollevamento della polvere prodotta durante i lavori sarà consigliabile bagnare, sia le murature, sia i materiali di risulta.

Prima dell'inizio della procedura dovrà, obbligatoriamente, essere effettuata la verifica dello stato di conservazione e di stabilità delle strutture oggetto di intervento e dell'eventuale influenza statica su strutture corrispondenti, nonché il controllo preventivo della reale disattivazione delle condutture elettriche, del gas e dell'acqua onde evitare danni causati da esplosioni o folgorazioni. Si dovrà, inoltre, provvedere alle necessarie opere di puntellamento ed alla messa in sicurezza temporanea (mediante idonee opere provvisorie) delle parti di manufatto ancora integro o pericolanti per le quali non saranno previste opere di rimozione. Sarà, inoltre, necessario delimitare ed impedire l'accesso alla zona sottostante la demolizione (mediante tavolato ligneo o d'altro idoneo materiale) ed allestire, in corrispondenza dei luoghi di transito o stazionamento, le doverose protezioni e barriere parasassi (mantovane) disposte a protezione contro la caduta di materiali minuti dall'alto. L'accesso allo sbocco dei canali di scarico del materiale di demolizione per le operazioni di carico e trasporto dovrà essere consentito soltanto dopo che sarà sospeso lo scarico dall'alto. Preliminarmente all'asportazione ovvero smontaggio di elementi da ricollocare in situ sarà indicato il loro preventivo rilevamento, classificazione e posizionamento di segnali atti a facilitare la fedele ricollocazione dei manufatti.

Questo tipo di procedura dovrà essere strettamente limitata e circoscritta alle zone ed alle dimensioni prescritte negli elaborati di progetto. Nel caso in cui, anche per l'eventuale mancanza di puntellamenti o di altre precauzioni, venissero asportate altre parti od oltrepassati i confini fissati, si dovrà provvedere al ripristino delle porzioni indebitamente demolite seguendo scrupolosamente le prescrizioni enunciate negli articoli specifici.

Tutti i materiali riutilizzabili (mattoni, piastrelle, tegole, travi, travicelli ecc.) dovranno essere opportunamente calati a terra, scalcinati, puliti (utilizzando tecniche indicate dalla D.L.), ordinati e custoditi, nei luoghi di deposito che saranno segnati negli elaborati di progetto (in ogni caso dovrà essere un luogo pulito, asciutto, coperto eventualmente con teli di pvc e ben ventilato; sarà, inoltre, consigliabile non far appoggiare i materiali di recupero direttamente al contatto con il terreno interponendovi apposite pedane lignee o cavalletti metallici), usando cautele per non danneggiarli, sia nelle operazioni di pulitura, sia in quelle di trasporto e deposito. Detti materiali, se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, resteranno tutti di proprietà della stazione appaltante, la quale potrà ordinare all'appaltatore di impiegarli in tutto od in parte nei lavori appaltati.

I materiali di scarto provenienti dalle demolizioni e/o rimozioni dovranno sempre essere trasportati (dall'appaltatore) fuori dal cantiere, in depositi indicati ovvero alle pubbliche discariche nel rispetto delle norme in materia di smaltimento delle macerie, di tutela dell'ambiente e di eventuale recupero e riciclaggio dei materiali stessi.

Per demolizioni di notevole estensione sarà obbligo predisporre un adeguato programma nel quale verrà riportato l'ordine delle varie operazioni.

Indagini preliminari (accertamento sulle caratteristiche costruttive-strutturali)

Prima di iniziare qualsiasi procedura di demolizione e/o rimozione e, più in generale, qualsiasi procedura conservativa e non (specialmente su manufatti di particolare pregio storico-architettonico) sarà opportuno operare una serie di indagini diagnostiche preventive finalizzate alla sistematica e scientifica acquisizione di dati inerenti la reale natura del materiale e il relativo stato di conservazione. Sarà, pertanto, necessario redigere una sorta di pre-progetto capace di far comprendere il manufatto, interessato dall'intervento, nella sua totalità e complessità. Tali dati risulteranno utili al fine di poter ricostruire le stratigrafie murarie così da procedere in maniera corretta e attenta. Il progetto d'indagine diagnostica non dovrà, soltanto, anticipare l'intervento vero e proprio, ma ne dovrà far parte, guidando i lavori previsti, verificandone la validità, indicando, casomai, nuove soluzioni.

Demolizione di strutture murarie di fondazione

La demolizione parziale o totale d'elementi di fondazione avverrà a mano o con l'ausilio di piccoli mezzi meccanici (ad es. piccoli martelli pneumatici) in funzione del materiale, delle dimensioni, della tipologia e della sicurezza. Quando sarà possibile il manufatto da demolire dovrà essere reso agibile da ogni lato (avendo cura però di non scalzare l'intera struttura) mediante precedente scavo a sezione obbligata del terreno circostante preferibilmente eseguito a mano o con l'ausilio di piccoli scavatori (per maggiori specifiche si rimanda a quanto indicato agli articoli specifici sugli scavi) e successive opere di sbatacchiature al fine di eludere eventuali frane. Le suddette sbatacchiature dovranno essere controllate periodicamente, specialmente in seguito a piogge o gelate ed, eventualmente, incrementate se necessario.

La procedura si attuerà dall'alto verso il basso (tenendo sempre ben presente il ruolo strutturale dell'elemento interessato e delle eventuali azioni di spinta, di contropinta o di contenimento che esso esercita rispetto ad altre strutture o al terreno) per modesti cantieri, in senso longitudinale allorché il manufatto oggetto di intervento costituisca contrasto con il terreno, che non sia contemporaneamente o anteriormente rimosso. Precedentemente alla demolizione si renderà necessario costituire un presidio d'opere provvisoriamente atte sia alla puntellazione delle eventuali strutture adiacenti o limitrofe, sia alla puntellazione del terreno; inoltre, per altezze superiori a 1,50 m, sarà opportuno costituire dei ponti di servizio indipendenti dall'opera da demolire.

#### Demolizione di strutture murarie

La demolizione delle murature, di qualsiasi genere esse siano, dovrà essere preceduta da opportuni saggi per verificare la tipologia ed il reale stato di conservazione. Gli operatori addetti alla procedura dovranno lavorare su ponti di servizio indipendenti dal manufatto in demolizione: non si potrà intervenire sopra l'elemento da demolire se non per altezze di possibile caduta inferiore ai 2 m. Nel caso di demolizioni di murature soprastanti il perimetro di solai o strutture a sbalzo sarà indispensabile attuare ogni cautela al fine di non innescare, di conseguenza alla diminuzione del grado d'incastro, eventuali cedimenti od improvvise cadute delle strutture (anche sotto carichi limitati o per solo peso proprio). Particolare attenzione dovrà essere fatta in presenza di tiranti annegati nella muratura oggetto di intervento; una loro involontaria rottura, o quantomeno lesione, potrebbe innescare fenomeni di dissesto non previsti in fase di progetto pertanto, in presenza di tali dispositivi, sarà opportuno operare con la massima cautela liberando perimetralmente la catena e proteggendola da eventuali cadute di materiali che potrebbero compromettere il suo tiraggio.

#### Strutture portanti e/o collaboranti

Prima esecuzione di tutte le procedure preliminari (saggi, puntellamenti, opere di contraffortatura ecc.) al fine di individuare esattamente tutti gli elementi che saranno direttamente od indirettamente sostenuti dalle strutture portanti o collaboranti oggetto d'intervento (al fine di eludere crolli improvvisi e/o accidentali), la demolizione di setti murari portanti in mattoni pieni, in pietra o misti dovrà procedere dall'alto verso il basso per successivi cantieri orizzontali di estensione limitata (così da controllare l'avanzare dei lavori e le loro eventuali conseguenze nelle zone limitrofe); di norma i blocchi non dovrebbero superare i quattro mattoni od analoga dimensione, quando si tratta di pietre od altro materiale (circa 10-15 kg), così da consentire la rimozione e la manovrabilità diretta da parte del singolo operatore. La rimozione sarà preferibilmente eseguita manualmente con l'ausilio di mazzetta e scalpello (ovvero punta o raschino) oppure, se l'apparecchio presenta elevata compattezza, con scalpello meccanico leggero; solo in casi particolari e sempre sotto prescrizione della D.L. si potrà utilizzare il piccone, mentre dovrà essere bandito l'uso di strumenti a leva.

#### Tramezzature

La demolizione parziale e/o totale di tramezzature seguirà le modalità descritte per la procedura riguardante le strutture portanti e collaboranti; spesso, infatti, semplici tramezzi in mattoni pieni od anche forati apparentemente destinati a portare esclusivamente se stessi, si possono rilevare dei rompitratta, ovvero l'inflessione (con la conseguente deformazione) della struttura lineare del solaio sovrastante potrebbe, di fatto, aver trasformato il tramezzo devolvendolo, almeno in parte, in un carico strutturale, spesso imprevisto, ma, in certe circostanze, essenziale alla stabilità del manufatto. Una demolizione arbitraria di un tramezzo di questo tipo potrebbe, pertanto, portare anche al collasso delle strutture orizzontali.

#### Demolizioni di strutture a telaio in c.a.

Nel caso di demolizione parziale di strutture a telaio in c.a. dovranno essere precedentemente rimosse completamente le eventuali tramezzature e tamponature al fine di evitare la possibilità di crollo spontaneo d'elementi scarsamente collegati; inoltre una volta liberata la struttura portante dalle tamponature sarà più facilmente valutabile la scelta dei punti da cui iniziare la demolizione. Durante la demolizione (che avverrà con l'ausilio di piccoli martelli pneumatici), in special modo di travi, si renderà necessario il controllo ripetuto della direzione delle armature che, se posizionate in maniera errata rispetto alla collocazione teorica, potranno indicare le reali sezioni di minor resistenza.

#### Smontaggio di strutture orizzontali

La demolizione delle strutture orizzontali dovrà essere eseguita mediante la realizzazione di ponti di lavoro e d'opere di protezione (teli, pannelli rigidi ecc.) per evitare, sia la caduta di materiale, sia quella degli addetti ai lavori; procedendo con ordine si provvederà a rimuovere tutte le eventuali travature, cornici, profilati ecc.

La preparazione delle puntellature, necessarie per sostenere le parti che dovranno restare in opera, dovrà essere eseguita con particolare cura, così come tutti gli accorgimenti finalizzati al non deterioramento dei materiali riutilizzabili, come, ad esempio, la chiusura accurata dei fori delle vecchie imposte, non idonee per la nuova struttura; si dovrà, inoltre, porre attenzione ad effettuare lo scarico immediato dei materiali di risulta evitando qualsiasi accumulo o caduta di materiali sugli orizzontamenti sottostanti. In presenza di tiranti annegati nelle solette delle strutture orizzontali si seguiranno le disposizioni prescritte nell'articolo sulla demolizione di strutture murarie.

#### Solai piani

Lo smontaggio dei solai piani avverrà seguendo in senso inverso le fasi esecutive del montaggio; demoliti o smontati pertanto i pavimenti (si rimanda all'articolo specifico) si procederà a rimuovere il sottofondo e l'eventuale caldana, avanzando di seguito con lo scempiato che potrà essere costituito da mezzane, tavelloni, tavolato di legno o da voltine in mattoni (forati o pieni) od ancora pignatte o volterrane previa dislocazione di idonei tavolati in legno (spessore minimo 3-4 cm, larghezza minima 40-50 cm) od altro materiale atto al sostegno degli operatori. La carpenteria lignea (travi, travetti e travicelli) dovrà essere sfilata dagli appoggi evitando di fare leva sulle murature mediante opportune disposizioni quali: puntellamenti, sospensioni (mediante utilizzo di idonei apparecchi di sollevamento o montacarichi) od eventuale taglio a filo muro in corrispondenza dell'appoggio, lasciando le teste all'interno della muratura (successivamente si dovrà provvedere alla loro rimozione). Particolare attenzione dovrà essere fatta nel caso di smontaggio di solai precedentemente consolidati come, ad esempio, travi munite di staffe metalliche di ancoraggio alla muratura perimetrale; in questo caso la trave, essendosi trasformata in catena, contribuisce direttamente alla stabilità dei setti murari; andrà, pertanto, evitato il semplice "sfilamento" delle travi dalle loro sedi al fine di evitare eventuali degradi irreparabili o dissesti imprevisti alle murature (si vedano gli articoli specifici sugli ancoraggi dei solai alle murature e sul collegamento fra solai complanari e contigui).

Nel caso in cui gli elaborati di progetto prevedano uno smontaggio preordinato al recupero del materiale assumerà notevole importanza l'eventuale presenza di connessioni tra degli elementi costitutivi il solaio. La presenza di chiodi o viti tiraffondi richiederà, infatti, particolari cautele e l'adozione di idonei strumenti al fine di evitare ulteriori degni alle strutture lignee.

Di norma, quando si dovranno demolire solai sovrapposti, si procederà, se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto, dall'alto verso il basso.

#### Strutture voltate

Lo smontaggio delle strutture voltate si distinguerà in rapporto alla tipologia ed all'apparecchiatura della volta, alla natura del dissesto ed alle condizioni d'ambito. Previa esecuzione di "saggi di scoperta" (al fine di ricavare le informazioni necessarie) e la messa in opera d'idonei puntellamenti (ad es. strutture provvisorie di centinatura) e sbatacchiature atte non solo ad agevolare l'operazione in oggetto ma anche a garantire la stabilità dei manufatti confinanti (in modo particolare dovrà essere posta molta attenzione a controbilanciare l'assenza di spinta esercitata dalla volta da "smontare" o demolire) si procederà alla demolizione della volta: per volte in laterizio in foglio a crociera, a vela od a padiglione la procedura di smontaggio dovrà iniziare, sempre, dalla chiave e seguire un andamento a spirale, così come nel caso di volte a botte con apparecchiatura a spina di pesce diritta o spina reale; mentre per le volte a botte, a botte con teste a padiglione, o a schifo con apparecchiature con filari longitudinali o trasversali si procederà per cantieri frontali avanzando dal centro verso le imposte.

#### Strutture in aggetto

Lo smontaggio di parti a sbalzo (cornicioni di gronda, balconi, gradini ecc.) seguirà le procedure riguardanti i solai; occorre, tuttavia, precisare che l'eventuale demolizione di porzioni soprastanti il punto di incastro potrebbe diminuire il momento con la conseguente improvvisa caduta (per peso proprio) del manufatto a sbalzo. Per evitare tale fenomeno sarà indicato prevedere opportune opere di presidio degli elementi aggettanti, prima di procedere alla rimozione delle strutture soprastanti. Le unità originarie a sbalzo, o quelle che si dovessero trovare in questa situazione a causa di opere parziali di demolizione, dovranno essere celermente rimosse da posizioni instabili e/o pericolanti in altrettante collocazioni sicure e stabili.

#### Collegamenti verticali

Lo smontaggio parziale o totale delle strutture di collegamento verticale seguirà le modalità precedentemente descritte agli articoli dei solai piani o delle strutture voltate nel caso di scale in muratura costruite su strutture di sostegno a volta, fermo restando che dovrà sempre essere coperta la stabilità complessiva utilizzando, eventualmente, opere di puntellamento. Una specifica propria delle scale riguarda i gradini a sbalzo i quali, se non adeguatamente puntellati, non potranno essere utilizzati come piano di lavoro, quando sia in atto la demolizione dei muri soprastanti l'incastro (si veda la demolizione di strutture murarie). Le scale, come del resto gli altri orizzontamenti, non dovranno essere, in ogni caso, caricate con materiali di risulta.

#### Manti e strutture di copertura

Lo smontaggio della copertura procederà, quando sarà possibile, dall'intradosso: contrariamente gli addetti dovranno lavorare su appositi tavolati di ripartizione posti sull'orditura principale, mai su quella secondaria. Allorché l'altezza di possibili cadute sul piano sottostante superi i 2 m si dovrà, necessariamente, predisporre un sotto piano di lavoro; qualora non sia possibile mettere in opera detto sottopalco sarà obbligo munirsi d'apposite cinture di sicurezza. Lo smontaggio e la scomposizione della carpenteria principale (arcarecci, terzere, puntoni, capriate ecc.) qualunque sia il materiale legno, ferro o c.a., seguirà la procedura inversa a quella della messa in opera, ovverosia prima si monteranno a mano le canne fumarie ed i comignoli, poi il manto di copertura (le tegole saranno asportate a sezione, simmetricamente da una parte e dall'altra, procedendo dal colmo verso le gronde avendo cura di non rompere o danneggiare i singoli pezzi), il sottofondo e lo scempiato di mezzane od il tavolato ligneo, in seguito si passerà a sfilare l'orditura minuta e/o media (travicelli, correnti, morali, palombelli, mezzanelle ecc.) e, per ultimo, quella principale che dovrà essere imbracata e calata a terra mediante idonei dispositivi (gru, paranchi, montacarichi ecc.). Particolare attenzione si dovrà avere in presenza di eventuali connessioni (chiodature, cavicchi, gattelli lignei, piastrelle metalliche di ancoraggio ecc.) presenti tra le varie orditure o tra gli elementi della medesima orditura od ancora tra l'orditura principale e la muratura d'imposta. Il loro smontaggio richiederà, infatti, particolari cautele e l'adozione d'idonei strumenti al fine di evitare ulteriori degni delle strutture lignee o delle murature (ad es. per sfilare i chiodi dalle assi di un tavolato si potrà tranciare le teste e segare i gambi o, in alternativa, esercitare una trazione sull'elemento da rimuovere, in corrispondenza della giunzione, sfruttando il principio della leva ed utilizzando a tale scopo strumenti quali tenaglie, scalpelli ecc. avendo cura di non danneggiare, né la tavola dell'assito da rimuovere, né il travicello cui sarà ancorata).

Lo smontaggio di carpenteria lignea complessa (ad es. le capriate) oppure quello inerente gli elementi di finitura intradossale dovrà essere, necessariamente, preceduto da un preciso rilievo degli elementi costitutivi e delle reciproche connessioni oltre che, naturalmente, dalla loro numerazione e catalogazione.

Nel caso di smontaggio di cornicioni di gronda a sbalzo, siano questi ancorati all'ultimo solaio o, più frequentemente, trattenuti dal peso del coperto sarà opportuno attenersi a quanto prescritto all'articolo specifico riguardante le strutture in aggetto.

#### Asportazione di intonaci

La procedura di rimozione dovrà, necessariamente, sempre essere preceduta da un'operazione di "saggiatura" preventiva eseguita mediante percussione sistematica con le nocche della mano sulla muratura al fine di individuare con precisione le zone compatte e per delimitare (ad es. con un segno tratteggiato a gesso) il perimetro di quelle in fase di distacco (zone gonfiate e formanti "sacche").

L'asportazione parziale o totale degli intonaci dovrà essere eseguita rimuovendo accuratamente dalla superficie degradata, per strati successivi, tutto lo spessore dell'intonaco fino ad arrivare al vivo della muratura senza però intaccare il supporto murario che, alla fine dell'intervento, si dovrà presentare integro senza visibili scanalature e/o rotture degli elementi componenti l'apparecchio murario. L'azione dovrà, quindi, essere sempre controllata e limitata alla rimozione dell'intonaco senza intaccare la muratura di supporto ed eventuali aree vicine da conservare. La demolizione dovrà procedere dall'alto verso il basso rimuovendo porzioni limitate e di peso modesto ed eliminando manualmente lembi d'intonaco rigonfiati di notevole spessore. La procedura sarà, preferibilmente, eseguita con mezzi manuali (mediante mazzetta, punta e scalpello oppure martelline); allorché la durezza dello strato di intonaco o l'estensione delle superfici da rimuovere lo esigessero potranno essere utilizzati anche mezzi meccanici di modeste dimensioni (vibroincisori o piccoli martelli pneumatici) fermo restando di fare particolare attenzione, in fase esecutiva, a non intaccare il supporto murario od altre superfici non interessate alla procedura.

Durante l'operazione d'asportazione si dovrà avere cura di evitare danneggiamenti a serramenti, pensiline, parapetti e a tutti i componenti edilizi (stucchi, modanature, profili da conservare ecc.) nelle vicinanze o sottostanti la zona d'intervento. Nel caso in cui si dovesse intervenire su di un particolare decorativo da ripristinare, (ad es. finte bozze di bugnato o cornici marcapiano ecc.) sarà obbligo, prima della rimozione, eseguire un attento rilievo ed un eventuale successivo calco (in gesso o in resina) al fine di poterlo riprodurre in maniera corretta.

Il materiale di scarto, (soprattutto in presenza di intonaci a calce), se non diversamente specificato dalla D.L., dovrà essere recuperato, mediante la disposizione di idoneo tavolato rivestito da teli di nylon, e custodito in pile accuratamente coperti (per proteggerli dagli agenti atmosferici) al fine di riutilizzarlo per la messa in opera di eventuali rappezzi.

L'operazione di spicconatura terminerà con pulizia di fondo a mezzo di scopinetti e/o spazzole di saggina, con lo scopo di allontanare dalla muratura tracce di sporco e residui pulverulenti.

Rimozione e smontaggio di pavimenti

La rimozione dei pavimenti dovrà essere eseguita, preferibilmente, con mezzi manuali (mazzetta e scalpello) o, in presenza di battuti (di cemento o di graniglia) o pastelloni alla veneziana particolarmente tenaci, con l'ausilio di martelli da taglio o, in alternativa e solo sotto esplicita richiesta della D.L. modesti mezzi meccanici. In ogni caso l'operazione dovrà essere limitata al solo pavimento ed alla malta di allettamento. Il restante sottofondo dovrà essere pulito e spianato accuratamente eliminando qualsiasi irregolarità. Bisognerà, inoltre, prestare molta attenzione agli impianti posti sotto il pavimento, dei quali si dovrà, necessariamente, curarne il ripristino nel caso di rottura causata durante le demolizioni.

Nell'eventualità in cui gli elaborati di progetto prevedano uno smontaggio preordinato al recupero del materiale assumerà notevole importanza la cura dello smontaggio: in questo caso sarà, per ovvie ragioni, bandito l'uso di mezzi meccanici (ad es. martelli pneumatici) e la procedura avrà inizio laddove si presenterà una soluzione di continuità (ad es. rottura dell'elemento o mancanza di fuga) procedendo di conseguenza. A seconda del tipo e della consistenza della giunzione tra gli elementi si sceglieranno gli strumenti e le tecniche più idonee, fermo restando la cura di non danneggiare gli elementi stessi e quelli limitrofi:

- unioni mediante infissione a forza (ad es. pavimentazioni in cubetti di porfido, in ciottoli di fiume ecc.): si potranno rimuovere gli elementi con l'uso di leve;
- unioni chiodate (ad es. tavolati, parquet ecc.): si potranno sfilare i chiodi mediante tenaglie o pinze, tranciare le teste ed i gambi dei chiodi o, in alternativa, si potrà esercitare una trazione sull'elemento da rimuovere, in corrispondenza della giunzione, sfruttando il principio della leva ed utilizzando a tale scopo strumenti quali tenaglie, scalpelli ecc.;
- unioni mediante collanti o malte (ad es. mattonati, lastre lapidee ecc.) si procederà mediante punte e scalpelli utilizzando come leve ponendo attenzione a non spezzare l'elemento da asportare;
- unioni continue (ad es. battuti di graniglia, pastelloni veneziani ecc.) si potrà intervenire solo attraverso il taglio meccanico (con l'ausilio di seghe circolari e flessibili) di porzioni, previa la loro individuazione e numerazione in fase di rilievo. Il taglio (eventualmente guidato da appositi segnali guida o da carrelli) dovrà evitare di pregiudicare i contorni al fine, sia di rendere possibile il successivo accostamento dei pezzi in fase di rimontaggio, sia di non avere eccessive fughe e linee irregolari di giuntura.

L'operazione di smontaggio dovrà essere preceduta da un accurato rilievo dello stato di fatto del pavimento con conseguente numerazione dei pezzi e segnatura delle facce combacianti, nel caso in cui la disposizione degli elementi dovesse seguire uno specifico disegno oppure laddove si abbia a che fare con pezzi speciali per forma e dimensioni inseriti in un disegno esente da schemi fissi e ripetitivi. Sarà consigliabile, nonché vantaggioso, tenere conto nella numerazione e marcatura dei singoli elementi e l'ordine con cui gli stessi verranno disancorati e rimossi dal supporto, così da organizzare una corretta sequenza operativa necessaria al rimontaggio.

Rimozione e smontaggio di rivestimenti lapidei

La procedura di smontaggio di pannelli lapidei dovrà necessariamente adottare, ogni volta, la metodologia, la tecnica e gli strumenti più consoni per separare i componenti di ancoraggio che potranno variare dalle unioni con chiodature, perni e zanche in ferro a mastici e malte adesive. Qualsiasi procedura sarà adottata l'operazione di smontaggio dovrà essere preceduta da un accurato rilievo dello stato di fatto delle lastre di rivestimento, con conseguente numerazione dei pezzi e segnatura delle facce combacianti tenendo conto dell'ordine secondo cui gli elementi saranno disancorati dal supporto, così da facilitare l'organizzazione di una corretta sequenza operativa indispensabile per l'eventuale rimontaggio. In questa fase sarà, inoltre, necessario sia valutare le dimensioni e il peso dei singoli manufatti da rimuovere (ovvero delle parti risultanti dallo smontaggio), sia verificare se lo smontaggio possa interessare il singolo elemento o più elementi contemporaneamente (ad es. il caso in cui la singola lastra sia collegata o composta con altri pezzi). In linea generale si dovrà evitare il più possibile di ricorrere all'uso di tagli, se questi non potessero essere evitati si dovrà cercare di effettuarli (mediante l'ausilio di frullini elettrici manuali muniti di idoneo disco in ragione della consistenza del litotipo da tagliare) in punti appropriati come, ad esempio, sulla stuccatura del giunto tra lastra e torello o nella giuntura d'angolo di due pannelli, facendo attenzione a non danneggiare i bordi così da rendere possibile il loro successivo raccostamento.

Precedentemente alla rimozione, sarà necessario predisporre idonea attrezzatura di sollevamento e calo a terra in ragione del peso e della manovrabilità delle lastre (ad es. montacarichi). Allo stesso tempo, potrà risultare utile realizzare dei presidi di sostegno ed un'opportuna operazione di preconsolidamento degli elementi (si vedano gli articoli specifici) affinché il loro smontaggio possa avvenire in piena sicurezza e tutela degli operatori e dei pannelli stessi.

La prima operazione di smontaggio vero e proprio sarà quella di rimuovere gli elementi (perni, zanche ecc.) o i materiali (malte, mastici ecc.) che garantiscono la connessione dei pannelli alla struttura muraria. Nel caso di elementi metallici questa operazione potrà avvenire: se sono di modeste dimensioni (ad es. chiodature), esercitando sugli elementi una controllata trazione sfruttando il principio della leva, mentre, se si tratta di elementi di una certa consistenza (ad es. zanche in ferro), ricorrendo al taglio che consente una facile asportazione successiva; in ogni caso, questa operazione, dovrà essere realizzata avendo cura di non danneggiare il pannello lapideo. Prima di distaccare del tutto il pannello dal supporto, la lastra dovrà essere messa in sicurezza imbracandola con idonei nastri telati collegati all'organo di posa a terra.

Se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, la procedura avrà inizio partendo da un elemento privo di decorazioni già sconnesso o degradato cosicché, in caso di perdita, non verrà a mancare una parte rilevante del rivestimento, altrimenti si potrà iniziare da un pannello (anch'esso privo di decorazioni o appartenente ad eventuali disegni di rivestimento) posto in posizione defilata; sovente, infatti, la prima operazione di smontaggio può comportare la rottura o la perdita del pannello.

## • ASPORTAZIONE DI TINTE

Raschiatura parziale di tinte

La procedura ha lo scopo di rimuovere parziali strati di coloriture staccate o in fase di distacco (coloriture organiche) evitando di intaccare gli strati superficiali del sottofondo nonché eventuali coloriture ancora ben aderenti al supporto (soprattutto quando si tratta di coloriture inorganiche). Prima di procedere con l'intervento di raschiatura dovranno essere eseguite delle prove preliminari circoscritte a più punti della superficie da asportare in modo da poter verificare l'effettiva adesione della tinta al supporto; per questo risulterà opportuno realizzare campioni, di 10 cm di lato, suddivisi, a loro volta, in porzioni di grandezza variabile (da 2 mm a 1 cm di lato), tramite l'ausilio di righe metalliche. Nel caso in cui le parti che si distaccano conseguentemente all'operazione di quadrettatura risultino inferiori al 20% della superficie campione potrà essere realizzata una raschiatura parziale, contrariamente, in riferimento a quanto prescritto dalla D.L., la raschiatura potrà essere anche totale. L'operazione di raschiatura dovrà essere realizzata ricorrendo a mezzi meccanici (spatole, raschietti, bisturi ecc.) facilmente controllabili e non traumatici per il supporto. In presenza di rinvenimenti di strati sottostanti di pitture organiche la procedura potrà essere ripetuta così da poter valutare l'eventuale possibilità di rimuoverli.

#### Raschiatura totale di tinte

L'operazione di raschiatura totale della tinta dovrà, necessariamente, essere preceduta sia dalle indagini preliminari esplicitate nella procedura inerente la raschiatura parziale di tinte sia da ulteriori accertamenti diagnostici e stratigrafici: per questo l'Appaltatore dovrà provvedere a fornire la strumentazione idonea per consentire tali verifiche in riferimento a quanto riportato negli specifici articoli. L'intervento, poiché potrà essere compiuto oltre che meccanicamente (seguendo le indicazioni riportate nella procedura di raschiatura parziale) anche chimicamente o a fiamma, potrà essere effettuato solo dopo aver comprovato l'effettiva tenuta del supporto a stress chimici e termici. La selezione della metodologia di rimozione (chimica o a fiamma) potrà essere fatta solo dopo aver eseguito delle prove campione sulla superficie in modo da poter essere in grado di comparare il risultato raggiunto dalle diverse risoluzioni valutandone, al contempo, i relativi vantaggi e svantaggi.

#### Raschiatura chimica

La raschiatura con sistemi chimici prevedrà la stesura superficiale di prodotti decapanti ricorrendo all'uso di pennelli; i prodotti dovranno essere prescelti seguendo le specifiche indicazioni della D.L., e applicati previa protezione di tutto ciò che potrebbe danneggiarsi durante l'applicazione del prodotto. Il decapante verrà applicato e tenuto in opera in riferimento a quanto desunto dalle prove preliminari eseguite sui campioni. A reazione avvenuta il prodotto dovrà essere rimosso dalla superficie, mediante strumentazione meccanica (raschietti). La superficie dovrà essere, infine, lavata (seguendo le indicazioni riportate negli specifici articoli) così da asportare qualsiasi traccia residua di decapante evitandone l'essiccazione sul supporto.

#### Raschiatura a fiamma

La raschiatura a fiamma potrà essere realizzata mediante l'utilizzo di bombole di GPL e di sistemi di erogazione della fiamma (conformi alla normativa antincendio e di sicurezza). La superficie di intervento dovrà essere riscaldata fino a che la tinta da asportare non risulti annerita o rigonfia (prestando particolare attenzione a non procurare bruciature o annerimenti al supporto); a questo punto, ricorrendo all'utilizzo di spatole o raschietti, si procederà alla raschiatura. La superficie dovrà essere, infine, lavata (seguendo le indicazioni riportate negli specifici articoli) così da asportare qualsiasi traccia residua.

Asportazione opere musive

## • CONSOLIDAMENTI

### ***OPERAZIONE DI CONSOLIDAMENTO MATERIALI LAPIDEI***

Con il termine "materiale lapideo" dovranno sempre essere intesi (in accordo alle raccomandazioni NorMaL) oltre che i marmi e le pietre propriamente detti, anche gli stucchi, le malte, gli intonaci (affrescati, dipinti a secco, graffiti) ed i prodotti ceramici come laterizi e cotti.

#### Generalità

Le procedure di consolidamento risultano essere sempre operazioni particolarmente delicate, e come tali, necessitano di un'attenta analisi dello stato di fatto sia dal punto di vista della conservazione dei materiali sia del quadro fessurativo, così da poter comprendere a fondo e nello specifico la natura del supporto e le cause innescanti le patologie di degrado; in riferimento a queste analisi si effettuerà la scelta dei prodotti e delle metodologie di intervento più idonee; ogni operazione di consolidamento dovrà essere puntuale, mai generalizzata; sarà fatto divieto di effettuare qualsiasi procedura di consolidamento o, più in generale, utilizzare prodotti, anche se prescritti negli elaborati di progetto, senza la preventiva esecuzione di campionature pre-intervento eseguite sotto il controllo della D.L.; ogni campione dovrà, necessariamente, essere catalogato ed etichettato; sull'etichetta dovranno essere riportati la data di esecuzione, il tipo di prodotto e/o le percentuali dell'impasto utilizzato, gli eventuali solventi e di conseguenza il tipo di diluizione o di concentrazione utilizzati, le modalità ed i tempi di applicazione.

Ad operazione eseguita dovrà, sempre, essere verificata l'efficacia, tramite prove e successive analisi, anche con controlli periodici cadenzati nel tempo (operazioni che potranno essere inserite nei programmi di manutenzione periodica post-intervento). I consolidamenti che si potranno realizzare sono diversi:

– consolidamento coesivo, il prodotto consolidante verrà applicato localmente o in modo generalizzato sulla superficie del materiale (consolidamento corticale) per ristabilire la coesione di frazioni degradate con gli strati sani sottostanti: l'obiettivo che si porrà sarà di ristabilire con un nuovo prodotto il legante degradato o scomparso. Le sostanze consolidanti potranno essere leganti dello stesso tipo di quelli contenuti nel materiale (consolidanti inorganici o a base di silicio), oppure sostanze sintetiche (consolidanti organici) estranee alla composizione originaria del materiale ma comunque in grado di migliorarne le caratteristiche fisiche; di norma si realizzerà con impregnazione fino al rifiuto;

– consolidamento adesivo, con questo termine s'intenderà un'operazione di "rincollaggio" di rivestimenti distaccati dal loro supporto originale come, ad esempio, un frammento di pietra o uno strato di intonaco per i quali si renderà necessario ristabilire la continuità fra supporto e rivestimento. Questo tipo di consolidamento avverrà tramite iniezioni di malte fluide o resine acriliche in emulsione ovvero, con ponti di pasta adesiva a base di calce idraulica o resina epossidica. Sarà obbligatorio verificare, anche

sommariamente, il volume del vuoto da riempire al fine di scegliere la giusta “miscela” da iniettare. Cavità piuttosto ampie dovranno essere riempite con malte dense e corpose; al contrario, modeste cavità necessiteranno di betoncini più fluidi con inerti piuttosto fini.

#### *Fissaggio e riadesione di elementi sconnessi e distaccati (mediante perni)*

La procedura ha come obiettivo quello di far riaderire parti in pietra staccate o in fase distacco mediante idonei adesivi sia a base di leganti aerei ed idraulici (calci) sia leganti polimerici (soprattutto resine epossidiche). Si ricorrerà a questa procedura allorché si dovranno incollare, o meglio far riaderire, piccole scaglie di materiale, porzioni più consistenti, riempire dei vuoti o tasche associate a un distacco di strati paralleli alla superficie esterna della pietra (dovuti, ad es. a forti variazioni termiche). La procedura applicativa varierà in ragione dello specifico materiale di cui sarà costituito l'elemento da incollare, dei tipi di frattura che questo presenterà e che occorrerà ridurre e dei vuoti che sarà necessario colmare affinché l'operazione risulti efficace.

Nel caso di interventi su manufatti e superfici particolarmente fragili e degradate e su frammenti molto piccoli, l'adesivo dovrà presentare una densità e un modulo elastico il più possibile simile a quello del o dei materiali da incollare, in modo tale che la sua presenza non crei tensioni tra le parti; per la riadesione di pellicole pittoriche, se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto, sarà opportuno utilizzare un'emulsione acrilica (tipo Primal) al 2-3% diluita in alcool incolore stesa a pennello a setola morbida.

Allorché si dovranno riaderire dei frammenti o porzioni più consistenti, sarà preferibile inserire adeguati sistemi di supporto costituiti da perni in acciaio inossidabile AISI 316L (minimo  $\geq 4$  mm), in titanio o, se l'incollaggio interesserà parti non sottoposte a particolari sollecitazioni meccaniche, barre in vetroresina. La procedura operativa seguirà quella descritta nell'articolo sulle stuccature degli elementi lapidei.

In alternativa alla malta di calce idraulica, per il fissaggio e la riadesione di parti più consistenti si potranno utilizzare modeste porzioni di resina epossidica (bicomponente ed esente da solventi) in pasta stesa con l'ausilio di piccole spatole ed eventualmente, se indicato dagli elaborati di progetto, caricate con aggregati tipo carbonato di calcio o sabbie silicee o di quarzo, al fine di conferire maggiore consistenza alla pasta e consentire il raggiungimento degli spessori previsti. I rinforzanti da impiegare per la formazione di betoncini di resina dovranno avere un tasso d'umidità in peso non superiore allo 0,09% ed un contenuto nullo d'impurità o di sostanze inquinanti; salvo diverse prescrizioni di progetto, le miscele secche di sabbie silicee o di quarzo dovranno essere costituite da granuli puri del diametro di circa 0,10-0,30 mm per un 25%, di 0,50-1,00 mm per un 30% e di 1,00-2,00 mm per il restante 45%.

In ogni caso si ricorrerà ad un impasto d'adeguata tixotropicità o fluidità in relazione alla dimensione e caratteristiche degli elementi da far riaderire. Durante la fase di indurimento dell'adesivo sarà necessario predisporre dei dispositivi di presidio temporaneo costituiti, a seconda delle dimensioni del frammento, da carta giapponese, nastro di carta, morsetti di legno ecc. facendo attenzione a non danneggiare in alcun modo il manufatto.

Al fine di coprire gli eventuali ponti di resina epossidica, stesi per il consolidamento, si potrà utilizzare un betoncino elastico del colore simile al supporto originario, ottenuto dall'impasto fra polvere della stessa pietra e da un legante fluorurato al 10% in acetone. La preparazione dell'impasto, se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto, avverrà amalgamando una parte in peso di prodotto con 0,75 parti d'inerte della stessa granulometria e colore dell'originale (in alternativa si potrà utilizzare sabbia silicea con granulometria tra 0,10-1,5 mm e aiutare il colore con pigmenti in polvere) mescolando bene fino ad ottenere una consistenza simile ad una malta. Sarà consigliabile non preparare grandi quantità di stucco al fine di evitare la presa prima della completa messa in opera, sarà, inoltre, consigliabile non eseguire alcun intervento sulla stuccatura prima di un'ora dalla stesura dello stucco. Il prodotto sarà completamente reversibile tramite acetone.

#### *Specifiche sui materiali*

Gli adesivi epossidici (ovvero resine utilizzate come leganti per ricongiungere frammenti distaccati), normalmente utilizzabili, saranno liquidi con indurente a lenta o a rapida reattività (da utilizzare per consolidamenti o più spesso per intasamento delle fessure o per impernature) o in pasta lavorabili con indurente a lenta o a rapida reattività (per stuccature, ponti di adesione, piccole ricostruzioni e fissaggio perni); in questo secondo caso si provvederà ad intervenire, in fase di formulazione, aggiungendo additivi tissotropizzanti. Di norma questi adesivi saranno totalmente esenti da solventi, non subiranno ritiro durante l'indurimento e grazie alla loro natura tixotropica potranno essere facilmente applicabili anche su superfici verticali in consistenti spessori.

Resine poliesteri 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 o sintetiche, così da migliorare la resistenza dei prodotti finali. Come riempitivi possono essere usati polveri di varia granulometria di calcari, gesso, o sabbie. La resistenza a raggi solari e UV è abbastanza bassa, specialmente per prodotti reticolari con monomeri aromatici, mentre la resistenza meccanica e le proprietà adesive sono abbastanza buone. La resina potrà presentare un certo ritiro del volume (sino ad 8-10%) che la rende non proprio adatta per riempire le fessure del materiale lapideo, al contrario potranno essere utilizzate come collanti per congiungimenti o fissaggio di perni, barre filettate, tiranti ecc. anche se sarà necessario evitare che la resina raggiunga la superficie estrema poiché per esposizione alla luce darebbe marcate variazioni di colore. Orientativamente il pot life a 20 °C sarà di circa 5-7 minuti e il tempo di fissaggio intorno ai 40-60 minuti.

Copolimeri fluorurati, legante incolore elastomerico per stuccature, dotato di notevole elasticità alle dilatazioni, isola in maniera efficace la fessura o rottura da stuccare. L'elevata inerzia chimica anche verso aggressivi molto energici, la stabilità termica ed alla radiazioni, oltre alla permeabilità all'aria e alla reversibilità in acetone anidro, lo rendono particolarmente adatto su supporti lapidei.

#### *Consolidamento dello strato corticale mediante impregnazione con consolidanti organici*

La procedura di impregnazione può essere eseguita su manufatti in pietra, intonaco, laterizio e legno allorché si renda necessario garantire il consolidamento non solo corticale ma anche in profondità. Questa procedura si basa sul principio fisico della capillarità, ovverosia la capacità dei fluidi in genere (i liquidi in particolare), di riuscire a penetrare naturalmente per adesione dentro lo spazio tra due superfici molto vicine di una cavità. Grazie all'impiego di sostanze organiche, che penetreranno all'interno del manufatto, si potranno ristabilire o migliorare sia le proprietà fisiche (riduzione della porosità e aumento della coesione) sia meccaniche (incremento della resistenza a compressione) dei materiali trattati. Il consolidante entrerà all'interno del manufatto, in una prima fase, per capillarità e solo in un secondo tempo si distribuirà per diffusione; al fine di permettere questa seconda fase che, sovente, si sviluppa molto lentamente è opportuno che il prodotto scelto non polimerizzi troppo velocemente così da poter riuscire a diffondersi in maniera uniforme nel manufatto. I parametri da valutare prima di iniziare la procedura sono:

- viscosità del fluido consolidante;
- diametro dei pori e dei capillari e loro distribuzione all'interno dell'elemento da trattare;
- bagnabilità del materiale.



La procedura d'intervento varierà in ragione del consolidante indicato dagli elaborati di progetto (silicato di etile, resine acriliche in dispersione o in soluzione, fluoroelastomeri ecc.) in ogni caso saranno necessarie alcune operazioni preliminari comuni a tutti i trattamenti. Prima di iniziare il trattamento sarà opportuno eseguire delle campionature al fine di valutare la quantità di consolidante (percentuale di diluizione e scelta del solvente), la riuscita della procedura e la reale penetrazione di impregnazione; inoltre dovranno essere predisposte opportune protezioni sulle superfici limitrofe a quelle da consolidare in modo da evitare che queste vengano a contatto con il prodotto consolidante.

Qualsiasi trattamento consolidante prescelto dovrà essere applicato su superficie perfettamente pulita e sgrassata (in modo da evitare che depositi superficiali impediscano la penetrazione) così come, in presenza di scaglie in fase di distacco o superfici particolarmente decoese, sarà indispensabile effettuare un preconsolidamento al fine di evitare che l'eventuale passaggio ripetuto del pennello possa rimuovere tali frammenti.

La procedura di consolidamento per impregnazione dovrà essere ripetuta più volte (in genere non più di 5 passaggi) fino ad ottenere la saturazione dell'elemento (fino "a rifiuto") in ragione sia del fluido prescelto sia, soprattutto, della porosità del materiale oggetto di intervento. La scarsa penetrabilità dei materiali poco porosi dovrà essere ovviata con passaggi alternati di soluzione diluita e nebulizzazione di solvente puro (in tal modo si faciliterà l'ingresso della soluzione consolidante e, nello stesso tempo, si ridurrà al minimo l'effetto bagnato) oppure ricorrendo all'impiego di soluzioni particolarmente diluite, aumentando gradualmente la concentrazione nelle ultime mani. La procedura dovrà, comunque, essere operata per zone limitate e non simultaneamente su tutta la superficie al fine di agevolare la fuoriuscita dell'aria dall'interno dei fori e dalle discontinuità presenti nel manufatto così da migliorare la penetrazione e la distribuzione interna del consolidante.

#### Specifiche sui materiali

Tra i materiali consolidanti utilizzabili con questa tecnica il silicato di etile (si veda l'articolo specifico), le resine acriliche (in emulsione o in soluzione), le resine acrilico-siliconiche, le emulsioni acquose di silicato di potassio e i silossani oligomericici in solventi organici sono i prodotti più versatili e di conseguenza più comunemente utilizzabili. La scelta, in ogni caso, dovrà essere fatta in ragione delle problematiche e del materiale riscontrato.

I prodotti impregnanti da impiegarsi per il consolidamento e/o la protezione dei manufatti architettonici od archeologici, salvo eventuali prescrizioni o specifiche inerenti il loro utilizzo, dovranno possedere le seguenti caratteristiche comprovate da prove ed analisi da eseguirsi in situ o in laboratorio:

- a) elevata capacità di penetrazione nelle zone carenti di legante;
- b) resistenza chimica e fisica agli agenti inquinanti ed ambientali;
- c) spiccata capacità di ripristinare i leganti tipici del materiale oggetto di intervento senza dar vita a sottoprodotti di reazione pericolosi (quali ad es. sali superficiali);
- d) capacità di fare traspirare il materiale così da conservare la diffusione del vapore;
- e) penetrazione in profondità così da evitare la formazione di pellicole in superficie;
- f) "pot-life" sufficientemente lungo tanto da consentire l'indurimento solo ad impregnazione completata;
- g) perfetta trasparenza priva di effetti traslucidi;
- h) spiccata capacità a mantenere inalterato il colore del manufatto;
- i) presentare un coefficiente di dilatazione termica simile a quello del materiale da consolidare al fine di evitare fenomeni di fessurazione che costituirebbero vie preferenziali per l'ingresso dell'acqua e di possibili distacchi.

#### *Consolidamento mediante impregnazione a pennello, tampone o rullo*

Di norma è la tecnica più usuale per eseguire il consolidamento per impregnazione; ci si servirà di pennelli a setola morbida di medie dimensioni, rulli, o tamponi (in questo caso gli stracci o i tamponi saturi di prodotto dovranno essere mantenuti in contatto prolungato al fine di assicurare l'assorbimento nella superficie). L'applicazione dovrà procedere dall'alto verso il basso per settori omogenei con uso di addetti in numero appropriato alla natura e alla tipologia del manufatto; tra una mano e l'altra il prodotto non dovrà essere lasciato asciugare. Sarà opportuno che gli attrezzi (pennelli, rulli o tamponi) siano sempre ben puliti (sarà, pertanto, consigliabile lavarli spesso) e il consolidante non sia "contaminato" d'eventuali residui rimasti sul pennello o rullo da trattamenti operati su aree limitrofe. Nel caso di consolidamenti di superfici lapidee particolarmente disgregate ed esfoliate (specialmente su pietre arenarie come ad es. pietra serena, pietra forte ecc.) o pellicole pittoriche in fase di distacco, l'impregnazione risulterà più efficace se eseguita "attraverso" una velatura provvisoria della zona da trattare utilizzando fogli di carta giapponese, precedentemente fissata con resina acrilica in soluzione (ad es. al 10-20% p/v, in solvente volatile come acetone o diluente nitro).

#### *Consolidamento mediante impregnazione a spruzzo*

Questa tecnica di norma verrà eseguita con l'utilizzo di specifiche apparecchiature in grado di nebulizzare il liquido messo in pressione da una pompa oleo-pneumatica (massimo 0,5 bar) o più semplicemente a mano; questo trattamento potrà essere migliorato realizzando intorno alla parte da trattare uno spazio chiuso mediante fogli di polietilene resistente ai solventi e continuando la nebulizzazione anche per giorni. La sola applicazione a spruzzo sarà sufficiente se il materiale risulterà essere poco poroso ed il degrado interesserà uno spessore di pochi millimetri (degrado corticale); nel caso di interventi su lapidei porosi, dove si renderà necessaria una penetrazione maggiore, sarà preferibile utilizzare pennelli o applicazioni per percolazione (per maggiori dettagli si rimanda agli articoli specifici). In zone particolarmente degradate o su pellicole pittoriche in fase di distacco sarà necessario, dopo un primo trattamento a spruzzo, applicare (mediante emulsione acquosa di alcool polivinilico o resina acrilica in soluzione al 20% in diluente nitro) dei fogli di carta giapponese: a superficie asciutta si applicherà una nuova mano di consolidamento a pennello morbido. Dopo che il solvente sarà totalmente evaporato si rimuoveranno i fogli mediante tampone inumidito con acqua.

L'interfaccia da trattare dovrà essere pulita e ben asciutta al fine di assicurare l'assenza di reazioni secondarie e buona penetrazione del prodotto. La nebulizzazione consolidante (// area coperta dal getto 25-30 cm) sul manufatto dovrà essere ripetuta più volte (senza lasciare asciugare il prodotto fra una ripresa e l'altra) fino a completa saturazione del manufatto, distribuita uniformemente per aree omogenee partendo dalle parti più elevate per poi scendere a quelle più basse; contemporaneamente si dovrà aver cura di rimuovere eventuali sbavature od eccessi di consolidante mediante tampone imbevuto di solvente od acqua a seconda del prodotto utilizzato. Questo metodo risulterà idoneo solo in condizioni favorevoli di temperatura (+10 °C +25 °C) con prodotti (ad es. silicato di etile) in diluizione molto alta al fine di migliorare l'assorbimento. Per migliorare la penetrazione del consolidante dato a spruzzo si potrà ricorrere all'applicazione, da effettuarsi posteriormente al trattamento, di almeno tre mani di solvente puro.

#### *Consolidamento mediante impregnazione a tasca o ad impacco*

La procedura rientrerà in quelle "a contatto diretto" e si baserà sul principio della capillarità. Questo metodo verrà utilizzato per l'impregnazione di particolari come decori, cornici, capitelli lavorati ecc. particolarmente degradati che presenteranno la necessità di essere tenuti a contatto, per un determinato periodo, con la sostanza consolidante. I fattori che regolano il processo sono la tensione superficiale, la viscosità del prodotto e la bagnabilità del materiale da trattare. La procedura prevedrà la messa in opera, intorno alla zona da trattare, di una tasca chiusa con particolari guarnizioni in poliuretano, così da renderla stagna; nella parte inferiore verrà posizionata una piccola "gronda impermeabilizzata" allo scopo di recuperare il prodotto consolidante in eccesso. La zona da consolidare verrà ricoperta da strati di materiale bagnante (ad es. cotone idrofilo, carta giapponese ecc.) che verranno alimentati, dall'alto e molto lentamente, dalla soluzione consolidante e coperti da teli di polietilene, allo scopo di ridurre l'eventuale troppo rapida evaporazione del solvente. L'operazione di distribuzione dovrà essere interrotta quando la quantità di prodotto immesso dall'alto sarà uguale a quella del prodotto recuperato dal basso. Il distributore potrà essere costituito da un tubo o da un canaletto munito di tanti piccoli fori o da una serie di spruzzatori che creeranno il fronte di consolidante discendente. L'eccesso di prodotto sarà raccolto nella grondaia, e rimesso in circolo; per la buona riuscita di questo metodo sarà necessario assicurarsi che il materiale assorbente sia sempre perfettamente in contatto con la superficie interessata. Ad assorbimento avvenuto (in genere 8-10 ore) le tasche saranno rimosse e il manufatto dovrà essere ricoperto con cellofan al fine di isolarlo dall'atmosfera per almeno 10-12 giorni. Dal momento che aumentando la superficie da trattare aumenterà anche la quantità di consolidante e di conseguenza il peso, sarà opportuno, onde evitare costose operazioni di presidio, procedere per settori di dimensioni limitate, migliorando in questo modo il controllo della procedura.

#### *Consolidamento mediante impregnazione a percolazione*

Metodo "a contatto diretto" molto simile a quello a tasca, ma più semplice: un distributore, collocato nella parte superiore della superficie da trattare, erogherà il prodotto per gravità impregnando la superficie da trattare per capillarità. La quantità del trattamento in uscita dall'impianto dovrà essere calibrata dalla valvola di Offman localizzata nella parte terminale del tubo di distribuzione (seguendo le indicazioni di progetto) in modo tale da assicurare un lento e continuo assorbimento evitando eccessi di formulato tali da coinvolgere aree non interessate. Anche in questo caso il distributore potrà essere costituito da un tubicino in plastica o da un canaletto forato munito, nella parte inferiore, di un pettine, tamponi di cotone o di una serie di pennellesse con funzione di distributore.

L'eccesso di prodotto sarà raccolto in una sorta di grondaia e rimesso in circolo; a trattamento terminato dovranno essere eliminati gli eccessi di consolidante utilizzando un idoneo solvente o, nel caso in cui il progetto preveda l'utilizzo d'emulsioni acquose, la superficie dovrà essere lavata con spugne assorbenti ed acqua deionizzata. Questa operazione si renderà sempre necessaria al fine di evitare la formazione di patine superficiali che potrebbero ridurre la permeabilità al vapore del manufatto e conferire, all'interfaccia un effetto perlante innaturale (effetto bagnato) e/o il generarsi di locali sbiancamenti.

I tempi d'impregnazione varieranno secondo le dimensioni e il materiale del manufatto; al fine di accelerare tale processo si potrà ricorrere a trattare preventivamente il supporto con nebulizzazione di solvente puro (così che possa penetrare con facilità sfruttando la bassa viscosità) e, solo in seguito, applicare il fluido consolidante che, trovando una via di accesso più agevole, potrà distribuirsi in modo più diffuso.

#### *Consolidamento (riaggregazione) mediante silicato di etile*

Un buon consolidante per laterizi decoesi o pietre arenarie e silicatiche, da applicare su superfici assolutamente asciutte, è il silicato di etile composto da esteri etilici dell'acido silicico: monocomponente fluido, incolore, a bassa viscosità, si applicherà in solvente organico (ad es. metil etil chetone), in percentuali (in peso) comprese fra 60% e 80%. Al fine di stabilire la quantità di prodotto da utilizzare si renderanno necessari piccoli test da eseguirsi su superfici campione; questi test serviranno, inoltre, da spia per determinare l'eventuale alterazione dell'opacità della pietra e della sua tonalità durante e subito dopo il trattamento. In linea generale si potrà utilizzare una quantità pari a 500-600 g/m<sup>2</sup> per il consolidamento di apparecchi in cotto e 300-400 g/m<sup>2</sup> per superfici intonacate con malta di calce.

Il silicato di etile, precipitando a seguito di una reazione spontanea con l'umidità atmosferica, libererà, come sottoprodotto, alcool etilico che evaporerà con i solventi impiegati nella soluzione, pertanto l'uso di questo consolidante, presenterà il vantaggio di far sì che, nella pietra trattata, oltre all'acido silicico non rimangano altre sostanze che potrebbero in qualche forma (ad esempio efflorescenze) danneggiare l'aspetto e soprattutto le caratteristiche del materiale lapideo consolidato; la reazione si completerà nell'arco di 2 o 3 settimane in ragione delle condizioni atmosferiche, della porosità del materiale, della sua natura e struttura chimica ecc. Il trattamento potrà essere eseguito a pennello, a spruzzo mediante irroratori a bassa pressione (massimo 0,5 bar), per percolazione, a tampone mediante spugne (nel caso di manufatti modellati tipo le volute dei capitelli) o per immersione (esclusivamente per piccoli manufatti mobili); la superficie da trattare andrà completamente saturata "sino a rifiuto", evitando però eventuali accumuli di prodotto sulla superficie; nel caso in cui dopo il trattamento il supporto rimanesse bagnato o si presentassero raccolte in insenature si dovrà procedere a rimuovere l'eccedenza con l'ausilio di tamponi asciutti o inumiditi con acetone o diluente nitro. Solitamente sarà sufficiente un solo ciclo di applicazione, ma se sarà necessario e solo dietro specifica autorizzazione della D.L., sarà possibile ripetere il trattamento dopo 2 o 3 settimane.

Questo tipo di consolidante si rivelerà molto resistente agli agenti atmosferici e alle sostanze inquinanti, non verrà alterato dai raggi ultravioletti e presenterà il vantaggio di possedere un elevato potere legante (dovuto alla formazione di silice amorfa idrata) soprattutto nei confronti di materiali lapidei naturali contenenti silice anche in tracce, quali arenarie, tufi, trachiti, ma anche su altri materiali artificiali quali mattoni in laterizio, terracotte, intonaci, stucchi; risultati positivi potranno essere ottenuti anche su materiali calcarei (ad es. pietra leccese, pietra di Vicenza ecc.). Tale prodotto non risulta idoneo per il trattamento consolidante di superfici in gesso o di pietre gessose.

La natura chimica dei silicati sarà tale per cui potranno esercitare soltanto un'azione consolidante, ma non avranno alcun effetto protettivo nei riguardi dell'acqua, pertanto, al trattamento di superfici esterne con un silicato, generalmente, si dovrà far seguire l'applicazione di una sostanza idrorepellente, salvaguardando le caratteristiche di traspirabilità e di permeabilità al vapore acqueo dei materiali lapidei, garantendo la conservazione nel tempo, nel rispetto della loro fisicità (per maggiori dettagli sulle procedure di protezione si rimanda agli articoli specifici).

#### *Avvertenze*

Si rivelerà di fondamentale importanza non esporre le superfici da trattare all'irraggiamento del sole né procedere all'applicazione su superfici riscaldate dai raggi solari; sarà pertanto cura degli operatori proteggere le superfici mediante opportune tende parasole; l'impregnazione con silicato di etile sarà, inoltre, da evitare (se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto) nel caso in cui il

materiale da trattare non sia assorbente, in presenza di temperatura troppo alta (>25 °C) o troppo bassa (< 10 °C), con U.R. non superiore al 70% o se il manufatto trattato risulti esposto a pioggia nelle quattro settimane successive al trattamento; pertanto in caso di intervento su superfici esterne, si renderà necessaria la messa in opera di appropriate barriere protettive.

Indicativamente per una soluzione contenente il 60% in peso di estere etilico dell'acido silicico su supporti in medio stato di conservazione si potranno effettuare i seguenti consumi al metro quadrato: intonaco da 0,3 a 0,5 l/m<sup>2</sup>; pietre porose e tufi da 0,5 a 2,5 l/m<sup>2</sup>; laterizi da 0,6 a 3,0 l/m<sup>2</sup>; pietre arenarie da 0,8 a 3,5 l/m<sup>2</sup>.

#### *Sigillatura materiali lapidei (mediante resine sintetiche)*

La procedura prevedrà l'esecuzione di stuccature delle soluzioni di continuità mediante intasamento eseguito con iniezione, colatura o spatola in profondità di miscela adesiva costituita da polimeri sintetici acrilici in soluzione, o in emulsione, caricata con carbonato di calcio o polvere di pietra macinata (in alternativa si potranno utilizzare polveri di cocchiopesto o cariche pozzolaniche); le resine acriliche non potranno, causa la loro natura termoplastica, essere impiegate come adesivi strutturali, pertanto se si rendesse necessario effettuare una sigillatura con tale caratteristica sarà opportuno ricorrere ad un adesivo epossidico bicomponente (componente A = resina, componente B = indurente; i più utilizzati sono indurenti che reagiscono a temperatura ambiente come gli amminici o ammidici, il rapporto tra A e B sarà variabile da 1:1 a 1:4) esente da solventi, dietro specifica indicazione di progetto, il composto potrà essere caricato con sabbia silicea (granulometria massima 0,3 mm), filler, quarzo. I rinforzanti da impiegare per la formazione di betoncini di resina dovranno avere un tasso d'umidità in peso non superiore allo 0,09% ed un contenuto nullo d'impurità o di sostanze inquinanti; salvo diverse prescrizioni di progetto, le miscele secche di sabbie silicee o di quarzo dovranno essere costituite da granuli puri del diametro di circa 0,10-0,30 mm per un 25%, di 0,50-1,00 mm per un 30% e di 1,00-2,00 mm per il restante 45%. Normalmente il composto di resina epossidica verrà preparato a piè d'opera e, a seconda del tipo di impasto (fluidico, colabile, tissotropico), in relazione alle necessità di progetto, potrà essere applicato a pennello con setole rigide, con iniettori, o con spatole, in ogni caso sotto scrupoloso controllo dal momento che presenta, generalmente, un limitato tempo pot-life. Nel caso in cui si prevedrà, invece, l'utilizzo di composti a base di resina acrilica, se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto, si utilizzerà lattice acrilico aggiungendo al lattice non diluito una quantità adeguata di carbonato di calcio sino a rendere la maltina estraibile.

La procedura prevedrà, dopo le opportune operazioni preliminari di pulitura, eventuale preconsolidamento di parti particolarmente decoese o distaccate, la predisposizione di opportune protezioni (ad es. delimitazione con nastro di carta) sulle superfici limitrofe a quelle da consolidare, in modo da evitare che queste vengano a contatto con il prodotto consolidante e l'esecuzione d'idonee campionature al fine di valutare la quantità e la tipologia del consolidante. Eseguite tutte queste operazioni si potrà procedere alla sigillatura in profondità delle soluzioni di discontinuità mediante l'utilizzo di siringhe o piccole spatole secondo le dimensioni delle fessurazioni da sigillare e le specifiche di progetto, in ogni caso la resina dovrà penetrare fino a rifiuto nel vuoto da colmare tra le facce e tra i frammenti destinati a combaciare nella nuova unione. Durante la procedura sarà opportuno che siano controllate eventuali vie di fuga che potrebbero far percolare il materiale intromesso (specialmente se verrà fatto uso di resine epossidiche), in tal caso si renderà necessaria l'immediata rimozione con spugne o tamponi umidi se si utilizzeranno maltine a legante acrilico, con acqua e detergenti idonei (ovvero seguendo scrupolosamente le indicazioni del produttore della resina) se invece si utilizzeranno adesivi epossidici. Una volta che sarà verificato "l'intasamento" della fessurazione si potrà passare alla realizzazione di stuccature di superficie, costituite da malte a base di leganti idraulici naturali a basso contenuto di sali, sabbie silicee vagliate e lavate (granulometria 0-1,2 mm), eventuali additivi polimerici, terre colorate o pietre macinate, in ogni caso eseguite seguendo la procedura descritta nell'articolo sulle stuccature di materiali lapidei.

In alternativa si potranno effettuare delle stuccature invisibili utilizzando idoneo stucco costituito da copolimeri fluorurati ovvero legante incolore elastomerico per stuccature e polvere della stessa pietra, utili anche a coprire micro lesioni o fori di trapani (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto nell'articolo sul fissaggio e riadesione d'elementi sconnessi e distaccati).

#### *Avvertenze*

Il rapporto di miscelazione tra resina ed indurente andrà accuratamente rispettato, gli errori di dosaggio tollerabili non dovranno essere superiori al ± 5%. La miscelazione dei componenti andrà eseguita preferibilmente con miscelatore meccanico e andrà prolungata fino a che non si sarà certi di aver ottenuto una perfetta omogeneità.

#### *Specifiche sui materiali*

Le resine epossidiche, prodotti termoindurenti (molecole tridimensionali) sono ottenute dalla formazione di catene con due tipi di molecole con un gamma illimitata di variazioni possibili (questa caratteristica fa sì che non esista un solo tipo di resina epossidica, ma svariati formulati epossidici che cambiano di volta in volta le proprie caratteristiche a seconda sia del rapporto resina-indurente sia degli eventuali additivi plastificanti, fluidificanti, acceleranti ecc.) e presentano il vantaggio di poliaddizionarsi senza produrre sottoprodotti che porterebbero ad un aumento di volume. Si distinguono dalle resine acriliche per l'elevato potere collante che ne giustifica l'uso come adesivo strutturale; presentano una buona resistenza chimica (soprattutto agli alcali), resistono molto bene all'acqua ed ai solventi organici. I maggiori pregi delle resine epossidiche risiedono nelle loro elevate proprietà meccaniche (resistenze a compressione, a trazione, a flessione), nella perfetta adesione al supporto e nel ritiro molto limitato durante l'invecchiamento; gli svantaggi sono riconducibili alla difficoltà di penetrazione (dovuta all'elevata viscosità), alla bassa resistenza al calore ed ai raggi ultravioletti (con i conseguenti fenomeni d'ingiallimenti e sfarinamento superficiale).

Per le resine acriliche si rimanda alle specifiche dell'articolo sul consolidamento mediante impregnazione.

Per i copolimeri fluorurati si rimanda alle specifiche dell'articolo sul fissaggio e riadesione di elementi sconnessi.

#### *Riadesione di distacchi mediante iniezioni con miscele leganti*

La procedura sarà eseguita al fine di consolidare strati di intonaco, anche affrescato, distaccato dal supporto, così da risarcire le eventuali lesioni e riempire le sacche perimetrali presenti tra il substrato e l'apparecchio retrostante. Prima di procedere al consolidamento vero e proprio sarà necessario effettuare delle operazioni di "saggiatura" preventiva eseguite mediante leggera, ma accurata battitura manuale (tramite martelletto di gomma o semplicemente con le nocche della mano) sulla muratura, al fine di individuare con precisione sia le zone compatte sia delimitare (ad es. con un segno tratteggiato a gesso) il perimetro di quelle in fase di distacco (zone gonfiate e formanti "sacche"). In alternativa potranno essere individuate le zone di distacco mediante indagine termografica od altra indagine non distruttiva specificata dagli elaborati di progetto.

In assenza di piccole fessure, lacune o fori già presenti sulle superfici intonacate attraverso le quali operare l'iniezione, si eseguiranno delle perforazioni, tramite piccolo trapano a mano (se le condizioni di conservazione del materiale lo consentono si potrà usare trapano elettrico) ad esclusiva rotazione con una punta di circa 2-4 mm (in caso di microconsolidamento si potrà ricorrere all'utilizzo di punteruoli), rade nelle zone ben incollate e più ravvicinate in quelle distaccate; il numero dei fori sarà proporzionato all'entità del

distacco ed indicato negli elaborati di progetto (in assenza di indicazioni si potrà operare in ragione di 8-10 fori per m<sup>2</sup>); in genere la distanza tra loro sarà di circa 40-60 cm, mentre la loro localizzazione sarà tale da favorire il percolamento della miscela da iniettare, pertanto sarà necessario iniziare la lavorazione a partire dalla quota più elevata. In caso di distacco d'estensione limitata si potrà procedere all'esecuzione di un unico foro ed eventualmente, di un secondo se necessario per la fuoriuscita dell'aria dalla sacca di distacco durante l'immissione del consolidante.

Dopo aver eseguito le perforazioni si renderà necessario aspirare, attraverso una pera di gomma, gli eventuali detriti della foratura, le polveri e quanto altro possa ostacolare la corretta immissione e percolazione della miscela. In seguito si eseguirà una prima iniezione di acqua deionizzata ed alcool (5:1 in volume) con lo scopo di creare dei canali nella parte retrostante e di verificare allo stesso tempo l'eventuale esistenza di lesioni o fori da dove la miscela consolidante potrebbe fuoriuscire; in presenza di queste fessure si procederà alla loro puntuale stuccatura (che verrà rimossa a presa avvenuta) tramite malta "magra", a bassa resistenza meccanica di ancoraggio al supporto, cotone idrofilo, lattice di gomma, argilla ecc.

In presenza di forti distacchi e di supporti in buono stato di conservazione, si potranno inserire nel foro piccole guarnizioni in gomma a perfetta tenuta opportunamente sigillate per impedire la fuoriuscita del prodotto.

Risultati soddisfacenti potranno essere raggiunti con miscele formate da 2 parti di calce aerea naturale a basso peso specifico e 1 parte di metacaolino pozzolanico o cocciopesto superventilato e lavato (rapporto 1:1) con l'aggiunta di una minima parte di resina acrilica in emulsione al 10% in acqua (con funzione di fluidificante). In alternativa si potrà ricorrere ad una miscela formata da 1 parte di grassello di calce (sostituibile parzialmente o totalmente con calce idraulica naturale NHL 2) e 1 parte di carbonato di calcio (granulometria 0,02-0,06 mm); la miscela sarà diluita con percentuali del 5-10% di resina acrilica (con funzione di colloide protettore ovverosia tenderà a trattenere l'acqua così da non far "bruciare" prematuramente la miscela iniettata) ed eventualmente additivata con gluconato di sodio (con funzione di fluidificante); nei casi di distacchi consistenti, con una parte di cocciopesto vagliato e lavato o in alternativa pozzolana (granulometria massima 0,5 mm).

Per distacchi di lieve entità, fra strato e strato, con soluzioni di continuità dell'ordine di 0,5 mm, non essendo possibile iniettare miscele idrauliche si rileverà utile una micro-iniezione di 1 parte di resina acrilica in emulsione acquosa in concentrazione variabile (comunque compresa tra l'8% e il 10%), caricata con 0,5-1 parte di carbonato di calcio o polvere di pomice (granulometria tra 0,02 mm e 0,06 mm) per rendere il composto più granuloso e facilitare l'aggrappaggio dello stesso al supporto da consolidare.

Un altro composto, utilizzabile in ambienti interni e per piccole cavità (spessore non superiore a 4-5 mm), sarà il caseato di calcio, ottenuto mescolando caseina lattica e grassello di calce; esistono due tipi di "ricette": la prima (alla fiorentina) si comporrà di 1 parte di caseina, 4 parti di grassello di calce, 0,4 parti di resina acrilica in emulsione; la seconda (alla romana) sarà costituita da 1 parte di caseina (gonfiata nell'acqua), 9 parti di grassello di calce, 1/5 parte di dispersione acrilica (allo scopo di elasticizzare l'adesivo); questo composto presenterà sia ottime proprietà collanti sia ottima stabilità nel tempo, ma avrà l'inconveniente di avere tempi d'incollaggio molto lenti. Il caseato di calcio, dopo la presa, sarà fragile a trazione e resterà permeabile al vapore acqueo, per questo potrà essere indicato utilizzarlo in ambienti asciutti.

Previa umidificazione del foro e della zona circostante con acqua pulita, si eseguiranno le iniezioni con una normale siringa di plastica (da 10 cc o 60 cc) procedendo attraverso i fori posti nella parte più bassa, per poi avanzare, una volta che la miscela sarà fuoriuscita dai fori limitrofi, verso quelli situati in alto (questo per evitare sia che squilibri di peso possano alterare l'eventuale precario equilibrio della struttura sia per favorire la distribuzione uniforme del consolidante); nel caso in cui la miscela non dovesse penetrare in profondità si passerà al foro successivo. Ad infiltrazione del formulato avvenuta, passati circa 30-35 minuti, si procederà con il consolidamento di un'altra area di distacco.

Le iniezioni verranno eseguite o tramite la punta dell'ago metallico (per fori ed aree di modeste dimensioni od in presenza di intonaci particolarmente degradati), o direttamente dal beccuccio della siringa nel foro di accesso attraverso una cannula precedentemente posizionata (in caso di sacche di maggiori dimensione ed estensione), controllando e graduando la compressione dello stantuffo. Le miscele dovranno essere iniettate a bassa pressione poiché le tensioni prodotte dal fluido sotto pressione, alterando l'equilibrio del manufatto, potrebbero causare pericolosi fenomeni di precarietà statica. Nel corso dell'operazione occorrerà stare attenti che il colante non fuoriesca da fori o linee di fratture limitrofe sulla superficie sottostante, nel caso questo succedesse si procederà all'immediata pulizia tramite spugnette ad alto potere assorbente (ad es. ritagli di gommapiuma o spugnette tipo Blitz Fix). In caso di iniezione per mezzo di ago metallico sarà consigliabile tamponare il punto di innesto dell'ago con un batuffolo di cotone imbevuto di acqua distillata al fine sia di favorire la riadesione del supporto sia in modo da asportare l'eventuale prodotto in eccesso fuoriuscito dai fori. Per la riadesione di elevate superfici d'intonaco potrà rivelarsi utile una compressione della superficie in questione tramite una pressione regolare ed uniforme, sia durante il periodo di iniezione del consolidante, sia durante la presa; tale pressione potrà essere eseguita, a seconda dei casi, per mezzo di mani, molle, martinetti a vite montati sull'impalcatura, tavolette di legno rivestite di feltro o carta per una durata variabile da qualche decina di minuti a 12-14 ore in ragione del tipo e della quantità di prodotto immesso.

Previo indurimento del consolidante (minimo 7 giorni) si rimuoveranno manualmente le stuccature provvisorie e le eventuali cannule in gomma e si sigilleranno i fori con stucco costituito da grassello di calce e polveri di marmo (per maggiori dettagli sulla stuccatura si rimanda alla procedura specifica). Il collaudo si effettuerà mediante le stesse tecniche non distruttive utilizzate per individuare le zone di intervento.

#### Specifiche sui materiali

L'iniezione della sola emulsione acrilica dovrà essere evitata (se non dietro specifica indicazione di progetto) in quanto potrebbe dar vita ad un corpo di plastica che riempirebbe la sacca ma non farebbe aderire le facce distaccate.

Anche l'iniezione di calce idrauliche potrà avere degli inconvenienti in quanto il calcio idrato potrebbe non carbonatare all'interno della muratura e migrare dentro di essa (a causa della sua parziale solubilità in acqua) provocando efflorescenze di calcio carbonato in superficie o, in presenza di solfati e alluminati, potrebbe reagire dando vita a subefflorescenze quali thaumasite o ettringite.

#### Specifiche sui materiali premiscelati

La malta premiscelata per iniezione di consolidamento e riadesione di intonaci dovrà presentare un'ottima penetrabilità nelle murature senza aver bisogno della preliminare bagnatura dei supporti. L'impasto dovrà essere composto da calce idraulica naturale, chimicamente stabile e a bassissimo contenuto di sali solubili, inerti silicei (o in alternativa carbonato di calcio scelto e micronizzato), pozzolana superventilata (o in alternativa polvere di cocciopesto o metacaolino) e idonei additivi fluidificanti, ritentivi ed areanti. Dopo aver impastato energicamente per qualche minuto il premiscelato con acqua demineralizzata sarà consigliabile filtrare la boiaccia ottenuta al fine di eliminare eventuali piccoli grumi formati in fase di impasto. Il prodotto non dovrà essere addizionato nella preparazione e posa con nessun altro componente oltre all'acqua di impasto e non dovrà essere assolutamente aggiunta acqua una volta che avrà iniziato la presa. Sarà consigliabile utilizzare siringhe con aghi di tipo veterinario (diametro di uscita superiore ai 2 mm). Le caratteristiche

chimico-fisiche medie dovranno essere: peso specifico 1,02 kg/dm<sup>3</sup>, lavorabilità 2 h, bleeding assente, aderenza 0,8 N/mm<sup>2</sup>, inizio presa a +20 °C 24 h, fine presa a +20 °C 48 h, resistenza a compressione a 28 giorni 6 N/mm<sup>2</sup>, resistenza a flessione a 28 giorni 2 N/mm<sup>2</sup>, modulo elastico 5000 N/mm<sup>2</sup>, ritiro 0,7-1,8 mm, ritenzione acqua superiore all'80%, permeabilità al vapore 6 µ.

## • PROTEZIONI

### **OPERAZIONE DI PROTEZIONE MATERIALI LAPIDEI**

Con il termine "materiale lapideo" dovranno sempre essere intesi (in accordo alle raccomandazioni NorMaL) oltre che i marmi e le pietre propriamente detti, anche gli stucchi, le malte, gli intonaci (affrescati, dipinti a secco, graffiti) ed i prodotti ceramici come laterizi e cotti.

#### Generalità

Considerato l'impatto e il ruolo attribuito ai protettivi la loro scelta dovrà essere operata sulla base dei risultati delle analisi di laboratorio realizzate su campioni di materiale; i provini dovranno essere preservati così da essere in grado di valutare l'effettiva efficacia e la durata nel tempo. Le campionature pre-intervento eseguite sotto il controllo della D.L. dovranno, necessariamente, essere catalogate ed etichettate; su tale etichetta dovranno essere riportati la data di esecuzione, il tipo di prodotto e/o le percentuali dell'impasto utilizzato, gli eventuali solventi e di conseguenza il tipo di diluizione o di concentrazione utilizzato, le modalità ed i tempi di applicazione.

La durata e l'inalterabilità del prodotto dipenderanno, principalmente, dalla stabilità chimica e dal comportamento in rapporto alle condizioni igrotermiche e all'azione dei raggi ultravioletti. L'alterazione dei composti, oltre ad essere determinante sulle prestazioni, potrà portare alla composizione di sostanze secondarie, dannose o insolubili, che invalideranno la reversibilità del prodotto.

#### *Applicazione di impregnante idrorepellente*

La procedura dovrà essere eseguita alla fine del ciclo di interventi previsti e solo in caso di effettivo bisogno, su apparecchi murari e manufatti eccessivamente porosi esposti sia agli agenti atmosferici, sia all'aggressione di umidità da condensa o di microrganismi animali e vegetali.

L'applicazione si effettuerà irrorando le superfici dall'alto verso il basso, in maniera uniforme ed abbondante fino a completa saturazione del supporto. Le mani da applicare dipenderanno dalla capacità di assorbimento del supporto, in ogni caso non potranno essere inferiori a due passaggi (consumo variabile da 0,2 a 1 l/m<sup>2</sup>). L'intervallo di tempo tra le varie applicazioni potrà variare, fermo restando che la mano precedente sia stata completamente assorbita; di norma i prodotti saranno applicati:

- a spruzzo, tramite l'utilizzo di apposite apparecchiature in grado di vaporizzare il liquido messo in pressione manualmente o da pompa oleo-pneumatica;
- a pennello morbido o rullo 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 bagnato (per maggiori dettagli sulle tecniche d'applicazione si rimanda a quanto detto nell'articolo sul consolidamento per impregnazione).

Se non diversamente specificato negli elaborati di progetto il trattamento protettivo dovrà essere applicato su supporti puliti, asciutti, privi d'umidità e di soluzioni di continuità (fessure superiori di 0,3 mm dovranno essere adeguatamente stuccate come da articoli specifici) a temperature non eccessivamente alte, intorno ai 20 °C (possibilmente su apparecchi murari non esposti ai raggi solari) al fine di evitare una brusca evaporazione dei solventi utilizzati. I prodotti utilizzabili, di norma, 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 d'effetti collaterali e di 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%; dovranno risultare atossici.

Sarà sempre opportuno, a trattamento avvenuto, provvedere ad un controllo (cadenzato nel tempo) mirato a valutare la riuscita dell'intervento, così da verificarne l'effettiva efficacia.

La pluralità del potere idrorepellente sarà direttamente proporzionale alla profondità di penetrazione all'interno dei materiali. Penetrazione e diffusione del fluido dipenderanno, 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 attraverseranno corpi molto compatti e si depositeranno in superficie), dall'alcalinità del corpo poroso, dalla velocità e catalisi della reazione di condensazione (prodotti fortemente catalizzati possono reagire in superficie senza penetrare nel supporto).

#### Specifiche sui materiali

I protettivi più efficaci per materiali lapidei (naturali ed artificiali tipo intonaci e cotti) apparterranno fondamentalmente alla classe dei composti organici (resine fluorurate, acril-siliconiche e poliuretatiche) e dei composti a base di silicio; la scelta dovrà, necessariamente, essere operata in relazione alle problematiche riscontrate, così come la quantità ottimale di protettivo sarà determinabile in via sperimentale su superfici campione; orientativamente su intonaco di calce nuovo asciutto saranno sufficienti 100-140 g/m<sup>2</sup> di soluzione protettiva. Nel caso di manufatti lapidei ovvero intonaci a calce di particolare valore storico-artistico dovranno, necessariamente, essere seguite scrupolosamente le raccomandazioni NorMaL vigenti.

I prodotti utilizzabili per i trattamenti di protezione, di norma, dovranno possedere le seguenti caratteristiche comprovate da prove ed analisi da eseguirsi in situ o in laboratorio:

- a) basso peso molecolare ed elevato potere di penetrazione;
- b) buona resistenza all'attacco fisico-chimico degli agenti atmosferici;
- c) buona resistenza chimica in ambiente alcalino;
- d) assenza di effetti collaterali e di formazione di sottoprodotti di reazione dannosi (produzione di sali);
- e) perfetta trasparenza ed inalterabilità dei colori;
- f) traspirazione tale da non ridurre, nel materiale trattato, la preesistente permeabilità ai vapori oltre il valore limite del 10%;
- g) non tossicità;
- h) reversibilità.

Normalmente un trattamento protettivo ha una durata massima di circa 5-6 anni, è, pertanto, consigliabile programmare una attenta manutenzione ordinaria ogni 4-5 anni.

Per le caratteristiche dei protettivi fluorurati così come per quelli a base di resine acril-siliconiche si rimanda alle specifiche dell'articolo inerente il consolidamento dello strato corticale mediante impregnazione.

#### *Tinteggiatura alla calce (scialbatura)*

La tinteggiatura alla calce potrà essere utilizzata in ambienti interni ed esterni a patto che non siano aggressivi e a condizione che il supporto non sia stato ancora "compromesso" da una precedente pitturazione a legante polimerico che ne renderebbe difficoltosa l'adesione (in questo caso sarà necessario procedere all'asportazione totale della precedente pittura prima dell'applicazione della tinta). I vantaggi di una tintura alla calce risiedono nell'alta compatibilità con i materiali del supporto, nel "rispetto" dei colori e dei toni cromatici degli edifici storici e nella sanificazione dell'ambiente con conseguente prevenzione di muffe grazie alla naturale basicità e all'elevato tasso di traspirabilità; per contro, saranno soggetti all'azione degradante dell'anidride carbonica combinata con l'acqua e dei gas inquinanti dell'aria.

La procedura prevede che il grassello di calce, stagionato almeno 24 mesi (o calce idrata in fiore) venga stemperato in una quantità d'acqua necessaria al fine di ottenere un composto sufficientemente denso (rapporto grassello acqua 1:2); dovrà essere lasciato riposare da un minimo di 6-8 ore ad un massimo di 48 ore. A stagionatura avvenuta il composto sarà passato al setaccio (con vaglio a 900 maglie/cm<sup>2</sup>) allo scopo di eliminare le impurità presenti nell'impasto (parti insolubili o corpi estranei). L'acqua utilizzata per l'impasto dovrà essere esente da impurità di carattere organico (acidi, sali e alcali) causa di incompattezza delle tinte, alterazioni dei colori e macchie. La coloritura dell'impasto si otterrà tramite l'aggiunta di pigmenti minerali (massimo 10% in volume rispetto al latte di calce) e terre naturali o artificiali (massimo 25-30% in volume, superando queste dosi potrebbe essere necessario integrare il potere del legante con additivi di varia natura: generalmente resine acriliche). I pigmenti prima di essere amalgamati al latte di calce, al fine di poter ottenere la dispersione omogenea dei colori, dovranno essere stati immersi in una quantità d'acqua pari al doppio del loro volume, lasciati riposare per alcune ore e passati al setaccio (in modo da trattenere i grumi più grossi). La tinteggiatura alla calce, perde tono nei primi mesi dopo l'applicazione, pertanto sarà consigliabile amplificare leggermente il dosaggio di pigmento al fine di ottenere, a distanza di tempo, la coloritura desiderata.

Prima di procedere all'operazione di tinteggiatura dovranno essere verificate le condizioni del supporto che dovrà presentarsi pulito, ben aderente, privo di depositi superficiali, macchie di umidità e patine di smog; a tal fine sarà opportuno eseguire uno o più cicli di pulitura così da rimuovere eventuali efflorescenze saline o presenze di muffe od altri infestanti biologici (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto negli articoli inerenti le puliture) e nel caso l'intonaco si presentasse disgregato o distaccato sarà opportuno procedere ad un eventuale consolidamento (riadesione di distacchi mediante iniezioni), facendo cura di ovviare ad ogni lacuna, cavillatura o fessurazione tramite rappezzi e/o stuccature (per maggiori dettagli si rimanda agli articoli inerenti le stuccature e i rappezzi d'intonaco), così come, al fine della buona riuscita, sarà sconsigliato stendere la pittura a calce in condizioni climatiche di eccessiva umidità, eccessivo caldo o freddo.

Per ottenere una superficie compatta, duratura e colorata uniformemente, sull'intonaco ancora fresco si dovrà stendere una mano di fondo composta da latte di calce molto grasso dopodiché, prima della completa asciugatura, si applicherà il colore molto diluito; in questo modo si assicurerà una maggior capacità legante al tinteggio senza dover ricorrere ad additivi. Quando la tinteggiatura a calce verrà impiegata come integrazione pittorica sarà opportuno aggiungere al composto utilizzato per la stesura della seconda mano, un additivo (legante) allo scopo di migliorare le caratteristiche fisiche della tinta; si potrà ricorrere a delle emulsioni acriliche al 2-3% o al caseinato di calcio con aggiunta di ammoniaca (antifermentativa). Prima di applicare la tinta su tutta la parete, al fine di ottenere la tonalità di colore desiderata, si dovranno eseguire delle prove campione poiché la tinta a base di calce schiarisce notevolmente una volta essiccata; inoltre la tinta, seccando, aumenterà il proprio potere coprente, fattore che dovrà essere tenuto conto in funzione dell'effetto che si intenderà ottenere, (le prove potranno essere eseguite o direttamente su piccole porzioni di intonaco oppure su blocchetti realizzati con terra d'ombra). Per la stesura della tinta sul supporto si dovranno utilizzare pennelli a setola animale o le pompe impiegate per le irrorazioni delle viti. Nel caso di pennelli, la stesura dovrà procedere sempre nella stessa direzione (da sinistra a destra, o dall'alto verso il basso). La tinta dovrà essere frequentemente mescolata, al fine di evitare il deposito del materiale, e protetta da luce, aria e polvere durante gli intervalli di lavoro, così da evitare alterazioni che potrebbero produrre variazioni di tonalità; andrà, in ogni caso tenuto presente che sarà da evitare di consumare per intero la quantità di prodotto contenuta nel recipiente in modo che il pennello non tocchi il fondo dove, comunemente, si ha un deposito di pigmenti che intensificano la tonalità del colore.

In alternativa al grassello di calce potrà essere utilizzata della calce idraulica naturale NHL 2 in rapporto di 1:2 con l'acqua (in caso di superfici molto porose occorrerà una maggiore diluizione).

Al fine di ovviare veloci degradi, dovuti agli agenti atmosferici ed inquinanti, dopo che la tinta si sia asciugata e comunque non prima di circa quattro settimane, sarà consigliabile provvedere alla stesura di una mano di protettivo a base di silossani ovvero, dietro specifica indicazione della D.L., mani successive di soluzioni di silicato di potassio.

#### *Specifiche*

Prima di iniziare l'operazione di tinteggiatura accertarsi che il supporto sia esente da fenomeni d'umidità poiché potrebbero generare, ad operazione ultimata, l'insorgenza di macchie. Nel caso in cui l'intervento dovesse adattarsi alla tonalità di colore di una preesistente tinteggiatura "storica" alla calce si ricorda che con l'uso dei pigmenti artificiali difficilmente potrà essere riprodotto lo stesso tono di colore; gli ossidi naturali risulteranno, pertanto, più consoni allo scopo. Per l'applicazione della tinta di calce sarà sconsigliato l'utilizzo del rullo.

La tinta a calce, se applicata su di un intonaco di malta di calce aerea, potrà essere stesa direttamente anche se lo strato non risulterà completamente asciutto; mentre, se data su intonaco di malta di calce idraulica naturale o su tinteggiatura a calce preesistente, dovrà essere preceduta dall'imbibizione, a più riprese, di tutta la superficie da trattare, con uno strato d'ancoraggio realizzato con una mano di latte di calce grassa su cui applicare a bagnato la tinta a calce; quest'ultima operazione sarà da eseguire con cura specialmente durante la stagione estiva ed in presenza diretta di irraggiamento solare, così da evitare il fenomeno della "bruciatura" che comprometterebbe il risultato finale. La tinteggiatura a calce non dovrà essere applicata su supporti contenenti gesso né su superfici cementizie od intonacate con malte a base di cemento.

Nel caso di messa in opera di formulato con percentuali di resina acrilica sarà necessario invertire la procedura tradizionale, ovverosia si dovrà stendere la tinta su supporto perfettamente asciutto. La durabilità di una tinta a calce additivata con resina acrilica crescerà in base alla percentuale di resina contenuta; al fine di ottenere una durabilità elevata occorrerà una percentuale di resina intorno al 30-35% in volume sul secco, a discapito, però, della trasparenza e della ritenzione di sporco.

Nel caso in cui la tinteggiatura avvenga su superfici esterne sarà necessario, dopo aver terminato l'applicazione, proteggere la superficie per alcuni giorni da eventuali piogge al fine di evitare "sbiancamenti" dovuti alla migrazione dell'idrossido di calcio.

Nel caso invece di applicazione in ambienti interni sarà consigliabile, dopo avere terminato l'applicazione, arieggiare i locali per alcuni giorni per favorire l'indurimento del legante mediante il processo di "carbonatazione".

La tinteggiatura a calce dovrà essere, preferibilmente, eseguita in primavera o in autunno in quanto la calce subisce alterazioni irreversibili se utilizzata a temperature troppo rigide o elevate; in queste condizioni si verificano, in genere, due patologie di degrado: la calce "brucia" dando vita ad imbianchimenti diffusi e perdendo di coesione rispetto al supporto; la tinteggiatura "sfiama" producendo superfici non omogenee in cui le pennellate risultano particolarmente evidenti. Applicare, pertanto, la tinta con temperature del supporto comprese tra i +5 °C ed i +30 °C e con umidità relativa inferiore all'80%; non tinteggiare in presenza di forte vento.

#### *Trattamento all'acqua sporca (velatura)*

Questo tipo di trattamento potrà avere la funzione di protettivo (e allo stesso tempo blando consolidante) su materiali come pietre, laterizi ed intonaci. L'applicazione acquosa del latte di calce (idrossido di calcio) dovrà essere realizzata su superfici perfettamente pulite (seguendo le metodologie indicate nell'articolo specifico sulle puliture) e, se necessario, consolidate (per maggiori dettagli si rimanda all'articolo inerente il consolidamento degli intonaci mediante iniezioni e a quello inerente i rappezzi d'intonaco); il supporto, infatti, dovrà presentarsi privo di lacune con le fessure di piccole dimensioni opportunamente stuccate (per maggiori dettagli si rimanda all'articolo inerente le stuccature). La preparazione della cosiddetta acqua sporca consisterà nel colorare leggermente l'acqua di calce mediante l'aggiunta di pigmenti colorati; un cucchiaino di pigmento naturale in un secchio d'acqua (10-12 l). L'intervento verrà realizzato inumidendo, preventivamente, la parete da trattare per mezzo di un pennello morbido imbevuto d'acqua, dopodiché si procederà alla stesura del protettivo mediante l'uso di pennelli (preferibilmente a setola animale morbida), nebulizzatori o rulli. L'applicazione dovrà procedere a strati successivi (da sinistra a destra, o dall'alto verso il basso) in modo da garantire la copertura totale della superficie; dopo l'ultima mano potrà essere applicato un fissativo (caseinato di calcio) addizionato all'acqua.

In alternativa al latte di calce ricavato da grassello si potrà utilizzare una parte di calce idraulica naturale NHL 2 stemperata in 4-6 parti di acqua.

#### *Tinteggiatura ad affresco*

Tecnica pittorica da mettere in opera solo in casi particolari (a causa delle difficoltà operative-logistiche che necessitano una stretta collaborazione tra colui che applica l'intonaco e colui che dovrà "pitturare" la superficie) garantisce senza dubbio maggior brillantezza e durabilità dei colori, i quali penetrano all'interno della superficie intonacata ancora fresca partecipando all'essiccazione e diventano un tutt'uno con il supporto: la tinteggiatura durerà quanto durerà l'intonaco. Dal momento che in questa tecnica l'intonacatura dovrà anticipare di poco le operazioni di tinteggio, sarà indispensabile fissare con attenzione le aree di lavoro giornaliere in modo da localizzare opportunamente le "giunzioni" tra le successive stesure dell'intonaco in aree poco visibili. La "tinta", in questo caso, dovrà essere esente da alcun legante poiché composta solamente da pigmenti naturali accuratamente macinati e stemperati in acqua pura.

Su superfici murali nuove sarà necessario avere molta cura della stesura degli strati di rinzaffo e arriccio e, soprattutto, nelle operazioni di bagnatura della superficie prima e dopo l'arriccatura, così da evitare che parti non adeguatamente bagnate sottraggano l'acqua alla malta provocando cavillature che potrebbero facilitare il distacco dell'intonaco. Secondo le indicazioni della D.L. si procederà alla messa in opera del velo (generalmente composto da 1 parte di grassello ben stagionato ed 1 parte di polvere di marmo con l'eventuale aggiunta di 1 parte di sabbia silicea vagliata e lavata) solamente su quelle porzioni che potranno essere tinteggiate nel giro di 2 o 3 ore. Questa operazione potrà essere eseguita con frattazzo di legno, di acciaio o di spugna a secondo delle finiture dell'intonaco che saranno prescritte nel progetto. Nel caso che la superficie presenti una non perfetta levigatura sarà necessario intervenire mediante spazzolatura leggera eseguita con pennello morbido al fine di rimuovere i granuli di sabbia che, ancora mobili, impasterebbero la tinta.

Le tecniche di tinteggio a fresco vere e proprie potranno essere due: la prima darà una superficie compatta e dalla colorazione uniforme, la seconda darà una superficie a velatura. In entrambi i casi non si potrà iniziare a dipingere subito dopo avere steso il velo ma sarà necessario attendere circa 4/6 ore dalla stesura dell'intonaco, quando cioè, premuto un dito sulla superficie, questa non lascia alcuna traccia.

Con la prima tecnica, previa leggera bagnatura, eseguita con nebulizzatore, potrà essere eseguita la tinteggiatura che dovrà essere stesa a pennello in due mani successive, intervallate da circa un'ora, incrociando le pennellate stese in precedenza.

Il colore dovrà essere molto guazzoso ed abbondante, il segnale-spia di un intonaco non più fresco verrà fornito dalla mancata scorrevolezza del pennello. Prima di stendere il terzo ed ultimo strato sarà necessario rullare la superficie con cilindro di vetro (bottiglia di vetro o frattazzo di plastica duro) così da rompere la pellicola vetrosa e far trasudare l'acqua contenuta dalla calce. Compiuta questa operazione si procederà a stendere velocemente il terzo ed ultimo strato di tinta.

La seconda tecnica, quella della "velatura", dovrà lasciare intravedere la tramatura dell'intonaco sottostante il quale, per ovvi motivi, dovrà essere eseguito a perfetta regola d'arte. Previa bagnatura della superficie si stenderà una sola mano di colore che dovrà essere molto allungata con acqua. Una volta terminata la stesura del colore, per tutte e due le tecniche sopra descritte, sarà opportuno provvedere a nebulizzare acqua sopra la superficie intonacata così da ritardare l'essiccazione del velo e rendere i colori ancora più brillanti.

Una volta indurito l'intonaco le decorazioni ad affresco potranno essere ritoccate solo a secco.

Al fine di ovviare a veloci degradi, dovuti agli agenti atmosferici ed inquinanti, dopo circa quattro settimane sarà consigliabile, come per le tinteggiature alla calce, provvedere alla stesura di una mano di protettivo a base di silossani.

#### *Specifiche*

Una variante della tinteggiatura ad affresco è il "mezzo fresco" ovvero la tinteggiatura su intonaco già "stanco", ossia quasi del tutto indurito; anche in questo caso si utilizzeranno pigmenti in polvere ma al posto dell'acqua verrà utilizzato come "legante" il latte di calce. Chimicamente il risultato che si otterrà sarà molto simile a quello dell'affresco, infatti il latte di calce subisce lo stesso processo di carbonatazione, ma visivamente il risultato sarà diverso: una parete decorata con il metodo del mezzo fresco risulterà più "sbiadita" rispetto ad una decorata ad affresco.

Una sorta di variante rispetto all'affresco è la tecnica del "graffito". Previa la stesura e la quasi asciugatura di una mano di velo diversamente pigmentato, di norma scuro (se non diversamente specificato si eseguirà un velo in grassello di calce, sabbia o pozzolana e carbone di legna polverizzato, rapporto legante inerte 1:2) si stenderà un ulteriore intonachino costituito da calce e sabbia bianca per uno spessore di circa 2-3 mm. Una volta indurito l'ultimo strato si potrà procedere a tracciare a spolvero il motivo ornamentale voluto e successivamente si potrà passare ad incidere con spatole di ferro od altri attrezzi di varia forma, così da evidenziare il decoro attraverso il contrasto cromatico delle due superfici.

### *Pittura a tempera o a colla*

La pittura a tempera prevede l'applicazione, su superficie bene asciutta, di una miscela composta da pigmenti colorati dispersi in acqua e di una sostanza legante predominante come la colla animale, la colla vegetale (preferibile perché meno grassa di quella animale) o più raramente l'uovo, il latte e i suoi derivati. Fondamentalmente la tecnica della pittura a tempera potrà essere eseguita in tre modi:

- stemperare i colori con acqua e dipingere mischiando la soluzione con colla;
- dipingere con i colori senza legante ossia, stemperare con sola acqua i pigmenti e poi, quando la pittura sarà perfettamente asciutta vaporizzare delle soluzioni molto lunghe di colla;
- amalgamare le polveri colorate con la colla e diluire con acqua al momento di dipingere avendo l'accortezza di miscelare bene mediante frusta meccanica.

La quantità di legante (colla) dipenderà dalla sua qualità e dalla quantità dei colori, essendo questi più o meno assorbenti. In linea generale le colle andranno miscelate alle tinte così da conferire loro maggiore adesività; potendo fare con limitatissime quantità, si guadagnerà una maggior purezza della tinta, una maggiore durata e nitidezza e le tinte risulteranno meno soggette ad alterarsi con il passare del tempo. Orientativamente sulla quantità di colla da utilizzare potranno essere fissate le seguenti regole: le tinte per esterni dovranno contenere più colla di quelle per interni; la prima mano di tinta dovrà essere più carica rispetto alle successive e le ultime mani dovranno essere progressivamente meno adesive. Sarà sempre necessario, pertanto, eseguire delle prove al fine di valutare la consistenza della tinta.

La procedura prevedrà, previa stesura di imprimitura uniforme della parete a base di colla ed acqua (in rapporto di 1:2), due mani di colore intervallate da almeno 12 ore, ovvero la seconda dovrà essere stesa solo quando la prima mano risulterà completamente asciutta.

Nella preparazione del primo strato sarà sempre consigliabile (obbligatorio per gli esterni) caricare la tinta con carbonato di calcio o caolino (cariche che resistono meglio all'azione degli agenti atmosferici) mischiati alle polveri colorate, anch'esse ben stemperate. Questa miscela colorata dopo essere stata lasciata riposare e più volte miscelata dovrà prima essere filtrata con un setaccio poi, previa aggiunta di collante, potrà essere utilizzata come tinta. La tinta dovrà essere non troppo densa né troppo fluida.

Nella composizione della tinta finale si potranno utilizzare tutti i colori tenendo presente però che dovranno essere lasciati per un certo periodo di tempo in acqua così da dare modo ai colori in polvere di disciogliersi uniformemente. Sarà preferibile lasciare riposare la tinta per almeno 12 ore così da evitare, a tinteggiatura asciutta, eventuali striature. La tinta per l'ultima mano non dovrà essere né troppo diluita né troppo densa, dovrà essere fluida così da coprire bene senza fare croste.

Il pennello per l'applicazione dovrà essere a setola animale e la stesura dovrà procedere sempre nella stesa direzione (da sinistra a destra, o dall'alto verso il basso incrociando la direzione negli strati successivi). Nell'intingere i pennelli non si dovrà né toccare il fondo del recipiente né comprimere il pennello per fare uscire la tinta. Il grado di resistenza alla temperatura della tinteggiatura a tempera dipende dalle caratteristiche del legante utilizzato.

#### *Specifiche*

La tempera non risulterà indicata per le superfici intonacate con malte cementizie e con malte contenenti calce eminentemente o mediamente idraulica.

### *Tinteggiatura ai silicati*

La pittura ai silicati si compone essenzialmente di silicato di potassio, sabbia di quarzo e pigmenti minerali. Le pareti da tinteggiare dovranno risultare asciutte sia in superficie che negli spessori retrostanti; questo requisito dovrà essere controllato anche con appositi apparecchi; l'umidità non dovrà superare il 14%. Questa pittura potrà essere applicata su intonaci a base di calce aerea, idraulica o cementizi previa eventuale mano (preferibilmente a spruzzo) di imprimitura:

- le pareti intonacate con malta di calce dovranno preventivamente essere trattate con una soluzione di 0,200 kg di acqua, 0,700 kg di latte non acido e 0,100 kg di grassello di calce;
- le superfici di cemento od intonacate con malta di cemento dovranno essere preventivamente lavate con una soluzione al 5% di acido cloridrico in acqua;
- le superfici in muratura dovranno preventivamente essere lavate con soluzione al 5% di acido solforico in acqua.

Eventuali efflorescenze saline che si rilevassero dopo l'essiccazione dei suddetti trattamenti preliminari dovranno essere asportate mediante spazzolatura prima di iniziare la tinteggiatura.

Le tinteggiature a base di silicati non dovranno essere eseguite su supporti contenenti gesso.

L'inizio delle operazioni di tinteggiatura non dovrà aver luogo prima che siano trascorse almeno 12 ore dai trattamenti preliminari. Tra l'applicazione di una mano di tinteggiatura e l'altra dovranno trascorrere almeno 12 ore e lo strato successivo dovrà essere preceduto dalla accurata spolveratura di quello sottostante.

Il silicato, utilizzato come diluente e fissativo del colore, si presenterà come un liquido denso e trasparente che, diluito con acqua pulita priva di sali (ad es. acqua distillata) e aggiunto con una base di bianco (tipo bianco di Spagna, carbonato di calcio o bianco di zinco, quest'ultimo poco coprente potrà essere utilizzato per raggiungere un effetto finale di trasparenza) e pigmenti minerali macinati finemente, potrà essere steso in due mani mediante pennellesse rettangolari grandi a setola morbida, o spruzzo (con quest'ultimo sistema si otterrà un effetto più omogeneo); in linea generale la resa, in ragione del supporto, potrà essere stimata intorno ai 150-250 g/m<sup>2</sup> per la prima mano, 100-200 g/m<sup>2</sup> per la seconda passata. La tinta non dovrà essere applicata su pareti assolate, ed in genere nelle ore più calde, né in condizioni di vento; la tinta potrà essere applicata anche alla temperatura di zero gradi e con tempo umido.

La preparazione della tinta avverrà seguendo una precisa procedura, ovverosia si disperderanno il bianco di base (bianco di zinco) e i pigmenti in acqua distillata fino a formare un miscuglio sciolto, dopo si introdurrà il silicato in ragione, se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, di 1:8 o 2:8 rispetto alla restante massa; il preparato, a causa dell'instabilità del silicato di potassio, dovrà essere frequentemente amalgamato (in modo che i pigmenti siano sempre ben dispersi) e steso entro le 4 ore successive se si opererà all'interno, 6 se si utilizzerà all'esterno. Sarà pertanto consigliabile preparare la sola quantità di prodotto realmente utilizzabile nei tempi di lavoro previsti. Al fine di stabilizzare il silicato di potassio si potrà aggiungere alla miscela una quantità minima di resina in emulsione (< al 5%). La tinta ai silicati sarà tanto più scura quanto più silicato sarà utilizzato, pertanto sarà consigliabile preparare la tinta prima di mescolarvi il silicato di un tono più chiaro rispetto a quello previsto dal progetto.

Il silicato di potassio a contatto con la superficie d'intonaco genererà la formazione di silice che a sua volta legherà intimamente il pigmento con il sottofondo e lo consoliderà rendendolo durevole e resistente senza la formazione di film continuo (assenza di discontinuità tra finitura e supporto). Questo tipo di pittura renderà quasi del tutto impermeabile il supporto murario ma, allo stesso tempo, manterrà una certa permeabilità al vapore (coefficiente di permeabilità < 90 μ). Con il trattamento ai silicati si otterrà, inoltre, una finitura in grado di contrastare l'attacco da parte di agenti inquinanti (ritenzione dello sporco bassa), atmosferici e dei raggi ultravioletti



senza sacrificare l'aspetto estetico. La stabilità cromatica di questo tipo di tinteggiatura permetterà, attraverso l'ausilio di spugna naturale o frattazzo, di mostrare ed esaltare la tessitura e la trama della finitura superficiale dell'intonaco.

#### Avvertenze

Una volta terminata la tinteggiatura questa non dovrà presentare nessuno dei seguenti difetti: tinta non uniforme ed irregolare, macchie in superficie, croste ed efflorescenze, problemi di adesione, distacchi crostosi, colaggi di tinta, spolvero superficiale, zone lucide, striature, cretti e screpolature.

#### Specifiche sui pigmenti

I pigmenti da impiegare con i silicati non stabilizzati sono quelli minerali utilizzati per la tecnica dell'affresco; sarà, tuttavia consigliabile eseguire delle campionature al fine di verificare la reale compatibilità: si scioglierà una minima parte di pigmento in una modesta quantità di silicato, se il pigmento non precipita depositandosi sul fondo significherà che sarà idoneo all'uso.

#### *Tinte semitrasparenti ai silicati organici*

Queste tinte si differenzieranno da quelle tradizionali in quanto conterranno, oltre all'agente silicato di potassio legante, una dispersione sintetica resistente agli alcali, cariche, additivi reologici e antibiodeteriogeni; la quantità totale di sostanze organiche potrà raggiungere al massimo il 5% del peso, con riferimento al peso totale del prodotto finito. La dispersione sintetica contenuta in queste tinte organosilicati e che non darà vita a pellicola e perciò non sarà considerata agente legante; queste tinte risulteranno traspiranti ed invecchieranno per progressiva erosione e dilavamento superficiale. La dispersione sintetica avrà soltanto una funzione reologica e protettiva subito dopo l'applicazione della tinta fino a che la "silicificazione" non progredisca in modo sufficiente. Sovente in questa seconda tipologia di tinta ai silicati non si fa uso di pigmenti bianchi (con elevato potere coprente), di conseguenza risultando semitrasparente potrà rivelarsi valida alternativa alla tinta alla calce specialmente in ambienti esterni particolarmente aggressivi sia dal punto di vista climatico che atmosferico. L'invecchiamento di queste pitturazioni si manifesta con un degrado per successivi erosione e dilavamento, come per quelle alla calce ma molto più lento e controllato.

#### Indicazioni per l'applicazione

Le tinte ai silicati organici, come le tinte alla calce, non potranno essere applicate su supporti precedentemente trattati con pitture a base di leganti polimerici (in questi casi prima di eseguire la tinteggiatura sarà necessario rimuovere la vecchia pellicola pittorica mediante spazzolatura, raschiatura e/o sabbatura controllata fino ad asportazione completa).

Intonaco antico di malta di calce aerea e/o idraulica e in buono stato di conservazione: si potrà procedere, previa leggera pulitura ed eventuale spazzolatura con scopa di saggina dura al fine di asportare ogni residuo di polvere, direttamente alla stesura della mano di fissativo ai silicati e di due mani di tinta, opportunamente diluite, stese con estrema accuratezza (il colore dovrà essere steso sempre nello stesso verso orizzontale o verticale, senza ripassare troppe volte sullo stesso punto, bisognerà fermarsi allorché la superficie diventa di nuovo assorbente) e a 12 ore (meglio dopo 24 ore) di distanza l'una dall'altra. In alternativa al fissativo ai silicati la superficie potrà essere preparata con una o due mani di un composto a base di acqua, latte bollito e calce idrata nelle seguenti proporzioni: acqua 20 l, latte bollito 65 l, grassetto di calce 25 dm<sup>3</sup>, calce idrata in fiore 30 dm<sup>3</sup>. Nel caso in cui siano presenti alghe, funghi, muschi, licheni sarà necessario bonificare e/o disinfestare l'intonaco con idonei biocidi.

Intonaco nuovo di malta di calce aerea e/o idraulica: è opportuno, prima di procedere alla stesura del fissativo ai silicati e alla doppia mano di tinteggiatura, attendere almeno 4 settimane dal completamento dello stesso; nel caso l'intonaco fosse realizzato in malta bastarda (calce e cemento) o di solo cemento è, inoltre, consigliabile provvedere ad un trattamento al fine di neutralizzare l'alcalinità e abbassare il pH dell'intonaco. Questa operazione risulta particolarmente indicata in caso di rappezzo di intonaco eseguito con malta bastarda: in questo caso, infatti, è basilare uniformare il pH dell'intonaco così da evitare un diverso grado di igroscopicità tra intonaco antico e nuovo rappezzo ed il conseguente fenomeno della comparsa di macchie a tinteggiatura ultimata.

Superfici non omogenee (rappezzi): l'applicazione di queste tinteggiature (fissativo + 2 mani di tinta) su superfici non omogenee, caratterizzate da rappezzi realizzati in epoche diverse od in presenza di efflorescenze saline, dovrà essere preceduta da un trattamento di fluatazione tramite l'utilizzo di fluosilicati di magnesio e alluminio, allo scopo di trasformare i sali solubili in acqua in composti insolubili, in tal modo vengono bloccate ulteriori possibilità di sviluppo di efflorescenze saline e, nello stesso tempo, viene omogeneizzata la struttura chimica del supporto, garantendo lo stesso livello di reattività alcalina. Il supporto su cui intervenire non dovrà, inoltre, presentare residui di pitturazioni sintetiche. Il trattamento con fluatanti è a base acida contrariamente alle pitture ai silicati che sono a base alcalina per cui è fondamentale evitare il contatto diretto tra pittura e fluatante ancora bagnato. In alternativa al lavaggio fluatante, dietro specifica indicazione delle D.L., si potrà operare un accurato lavaggio con acqua possibilmente calda e vaporizzata del vecchio intonaco avanti l'esecuzione dei rappezzi e, cosa indispensabile, lasciare stagionare per almeno 4 settimane la superficie rappezzata.

Pietre naturali: prima di procedere si dovrà accertare che la superficie sia opportunamente asciutta, compatta, ben pulita, esente da efflorescenze saline. Dopo un pre-trattamento con fissativo ai silicati di procederà all'applicazione di due mani di tinta.

#### Specifiche

Prima di iniziare la tinteggiatura ai silicati sarà opportuno schermare con cura le parti che non dovranno essere dipinte (in particolar modo le parti in vetro, in pietra, in ceramica e in metallo), gli eventuali spruzzi dovranno inoltre essere rimossi celermente con abbondante acqua e non lasciati asciugare in quanto la pittura al silicato risulta irreversibile una volta asciutta.

#### *Applicazione trattamento antigraffiti*

I graffiti, generalmente presenti sulle superfici dei materiali che rivestono gli edifici, sono realizzati mediante vernici spray e pennarelli indelebili e, come tali, particolarmente difficoltosa potrà risultare la loro asportazione; l'uso di solventi o della sabbatura, anche se in parte metodi efficaci, risulteranno tecniche troppo aggressive tanto da alterare la natura stessa del supporto.

Al fine di agevolare la rimozione di queste vernici, si potrà preventivamente trattare la superficie (pietra, laterizio ed intonaco) mediante formulati capaci di limitare i danni provocati dai graffiti ovvero impedire l'assorbimento delle vernici e degli inchiostri da parte del materiale; questi prodotti potranno essere permanenti (resistendo a più cicli di pulitura) o sacrificali (la loro durata si limiterà ad un solo intervento di pulitura). I protettivi permanenti si comporranno di sostanze fluorurate (alchilfluorosilano), resine poliuretatiche e miscele di resine sintetiche; quelli sacrificali invece, da cere microcristalline, polisaccaridi, resine acriliche e sostanze siliconiche. In entrambi i casi, i prodotti utilizzati dovranno essere: trasparenti (il più possibile in modo da non alterare l'aspetto cromatico della superficie), impermeabilizzanti, traspiranti, oleofobici e capaci di consentire la rimozione del graffito ricorrendo a tecniche che non implicino apparecchiature specifiche. Il prodotto, che dovrà essere messo in opera su superfici pulite ed asciutte, potrà essere applicato a pennello, rullo o a spruzzo; la temperatura di applicazione dovrà essere compresa tra i +5 °C e i +35 °C e in assenza di fenomeni come:

sole battente, pioggia o vento. Dovrà, inoltre, essere resistente ai raggi UV e non originare solventi durante l'applicazione. Dopo la stesura, il prodotto dovrà asciugarsi e stagionarsi (il tempo sarà relazionato alle diverse tipologie di materiale) dopodiché risulterà efficace. La tecnica di rimozione del graffito dal protettivo antigraffito dipenderà dal tipo di prodotto utilizzato; generalmente per i protettivi non sacrificali verrà utilizzato lo specifico remover, asportato poi con acqua e spugna, mentre per quelli sacrificali potrà essere sufficiente acqua calda, spugna ed eventualmente spazzolino a setole morbide.

#### Specifiche

L'uso di protettivi sacrificali, in virtù della loro estrema reversibilità, risulterà particolarmente adatto per edifici di valenza storica.

#### *Sagramatura*

La procedura si pone l'obiettivo di proteggere e regolarizzare gli apparecchi "faccia a vista" in mattoni: avrà come caratteristica principale quella di lasciar trasparire la trama muraria dell'apparecchio retrostante. Questa leggerissima velatura verrà realizzata applicando, su muratura abbondantemente bagnata, con l'ausilio di cazzuola o lama metallica, uno strato di malta molto sottile (circa 1-2 mm), rifinito e lisciato con cazzuola americana o rasiera in legno in modo da seguire le irregolarità della cortina a mattoni.

L'impasto sarà a base di calce aerea in pasta e polvere di cocciopesto, ad esempio, per sagramatura a velo (spessore 1-1,5 mm) si potrà ricorrere ad un impasto composto da: 1 parte di grassello di calce; 1,5 parti di cocciopesto vagliato e lavato (granulometria impalpabile 000-00 mm) eventualmente pigmentato (massimo 5%) con terre naturali (terre rosse ventilate, terra di Siena bruciata, terre d'ombra ecc.) al fine di ritrovare l'intensità cromatica preesistente. In presenza di cortine non perfettamente arrotate o nel caso si debba mettere in opera una sagramatura semi trasparente (in ogni caso spessore massimo 2-3 mm), si potrà impastare 2 parti di grassello di calce; 0,5 parti di calce idraulica naturale bianca NHL 2; 4 parti di cocciopesto vagliato e lavato (granulometria polvere 0-1,2 mm), anche questo impasto potrà essere eventualmente additivato con pigmenti naturali. In ogni caso per la buona riuscita della procedura sarà opportuno dedicare attenzione alle operazioni preliminari di preparazione del supporto ovvero: accurata pulitura (se non diversamente specificato negli elaborati di progetto) con spazzole di saggina e spray di acqua deionizzata; eventuale, successiva, rimozione (eseguita con l'ausilio di martelline, mazzette e scalpelli od altri strumenti esclusivamente manuali) delle malte degradate dei giunti e successiva stuccatura puntuale (con malta pigmentata o caricata con cocciopesto) di ogni soluzione di continuità presente sull'apparecchio murario; la stuccatura dovrà essere particolarmente curata ed eseguita da mano esperta; l'impasto che potrà essere steso con l'ausilio di cazzuolino cucchiariotto o piccole spatole a foglia d'olivo sarà costituito da calce aerea silicea vagliata e lavata e polvere di cocciopesto (granulometria 0-1,2 mm) in rapporto legante-inerte 1:3 (per maggiori dettagli sulla stuccatura di elementi in cotto si rimanda alla procedura specifica).

La tecnica tradizionale prevede la lisciatura eseguita mediante levigatura a mano con altro mattone più duro mantenendo al contempo bagnata la superficie affinché le materie (strato di malta e polvere di sfregamento) si possano impastare e colorare uniformando la cortina muraria.

#### Avvertenze

Sovente, a lavoro ultimato, si potrà riscontrare una mancanza di compattezza e uniformità nel colore causato dalla sagramatura; nel caso si volesse compattezza ed uniformità cromatica si potrà trattare la superficie con un passaggio di acqua sporca di terra colorante cosicché lo strato di malta possa assumere l'unità cromatica richiesta dagli elaborati di progetto (per maggiori dettagli sulla tecnica dell'acqua sporca si rimanda alla procedura specifica).

#### *Patinatura*

L'operazione di patinatura sarà eseguita mediante spolvero di pozzolana allo scopo di rendere (mediante velatura di colore) le eventuali integrazioni non troppo discordanti dagli elementi originali e, allo stesso tempo, di unificare il grado di porosità con conseguente diverso assorbimento d'acqua piovana e umidità di risalita tra i materiali originali e quelli di restauro.

Dopo aver ben pulito con spazzole di saggina ed acqua i residui di malta presenti sulla cortina si procederà a gettare a mano, sulla superficie ancora umida, la polvere di pozzolana vagliata e ben asciutta (granulometria 0-1 mm) la quale si attaccherà in modo omogeneo sulla parete umida restando inglobata nel velo di carbonato presente sulla superficie della cortina. Passate una o due settimane la polvere non inglobata verrà rimossa mediante pennellina morbida da imbianchino, alla fine del cantiere (quando si smonteranno i ponteggi) si passerà sulla superficie con una leggera spazzolatura mediante spazzole di saggina.

#### *Trattamento con olio di lino crudo e cere naturali*

Il trattamento protettivo, (rivolto in modo particolare ai pavimenti in cotto) dovrà sempre avvenire su pavimento perfettamente pulito ed asciutto; pertanto sarà necessario intervenire, preventivamente, all'asportazione di sostanze inquinanti (efflorescenze saline, crescite microorganiche, concrezioni ecc.) o più generalmente con un trattamento di pulitura, sgrassatura o deceratura (al fine di rimuovere tutti i depositi superficiali compresi i residui di trattamenti precedenti utilizzando ad esempio acqua deionizzata e spazzole morbide, prodotti sgrassanti, deceranti e sfilanti), inoltre dovranno essere stuccate le eventuali cavità o fessurazioni presenti sugli elementi in cotto e, se indicato dagli elaborati di progetto, gli stessi dovranno essere trattati mediante un consolidamento a base di silicato di etile. Passati almeno 20-30 giorni, dall'eventuale consolidamento a base di silicato di etile si potrà applicare (con l'ausilio di stracci, pennelli o rulli) una prima mano di olio di lino crudo in soluzione al 10% con acqueragia, ed una seconda mano al 20% sempre in soluzione di acqueragia, da effettuarsi solo dopo l'assorbimento del primo passaggio (cioè quando la superficie sarà in grado di assorbire ancora, dopo circa 3-4 h), passati circa 20-30 minuti dall'ultima passata, l'eventuale, eccesso di prodotto non assorbito verrà tolto con un pennello od un panno pulito. A superficie perfettamente asciutta (circa 6-8 giorni) si applicherà la stesura finale di cera naturale animale o vegetale (tipo cera d'api o cera carnauba) o minerale (cera paraffina o microcristallina) in modo uniforme, l'applicazione della cera dovrà essere ripetuta due o più volte (consumo medio del prodotto 10-20 l/m<sup>2</sup> in ragione del grado d'assorbimento del supporto), ad intervalli di 4/5 ore una dall'altra con minime quantità così da permettere il perfetto assorbimento. Se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto si utilizzerà la cera d'api naturale diluita in acqueragia vegetale o essenza di trementina sia come finitura (o manutenzione ordinaria) di superfici lignee impregnate o laccate, sia su superfici in cotto o pavimenti in battuto alla veneziana. Ad avvenuta essiccazione si passerà all'operazione di lucidatura con panno o spazzola morbida.

In alternativa si potranno utilizzare le cere microcristalline le quali presenteranno migliori caratteristiche rispetto a quelle animali (cera d'api), repellenza verso l'umidità e verso i depositi superficiali, trasparenza, reversibilità anche dopo molto tempo, proprietà di flessibilità alle basse temperature, buona stabilità ai raggi UV, generalmente utilizzate in soluzione al 40% in toluene o in soluzione al 20% in ragia vegetale.

Le manutenzioni dei pavimenti in cotto andranno ripetute periodicamente. Previo lavaggio con blando detergente liquido non schiumogeno, sui pavimenti interni si effettuerà la stesura di cera liquida emulsionata alla quale seguirà lucidatura con feltro o panno di lana.

#### *Protezione di cornici ed elementi decorativi aggettanti*

La protezione delle cornici e degli elementi decorativi aggettanti, al fine di ovviare all'infiltrazione delle acque meteoriche, potrà essere realizzata ricorrendo all'ausilio di elementi in metallo, comunemente denominati "scossaline", piegati e sagomati secondo le specifiche necessità. I materiali comunemente utilizzati sono: il piombo, il rame e la lamiera zincata. La procedura prevede la messa in opera, sull'elemento da proteggere, di una lastra (spessa circa 1,5 mm) più larga della superficie da coprire (almeno 10 cm per parte) tagliata e sagomata in opera. Nel caso in cui debbano essere protetti elementi aggettanti addossati alla muratura si procederà alla realizzazione di uno scasso (profondo non meno di 3 cm), lungo il profilo dell'oggetto, necessario per poter murare la lamina; lo scasso dovrà essere adeguatamente richiuso tramite accurata stuccatura rifinita a sguscio così da evitare gli inconvenienti legati al ristagno dell'acqua.

Dopo aver sagomato la lamina sulla superficie, si procederà ripiegando la parte eccedente del foglio di piombo sul bordo dell'oggetto (praticando dei tagli così da consentirne la piegatura) utilizzando, per questo, una tavoletta di legno appoggiata sul lembo piegato battendola, lievemente, con un'altra tavoletta in modo da farla meglio aderire alla superficie. Il materiale in eccesso potrà essere tagliato utilizzando un ferro piegato ad L dotato di punta sull'estremità: il passaggio del ferro sull'estradosso dell'oggetto garantirà il taglio della lamina. Le sovrapposizioni delle parti ripiegate potranno essere fermate tramite graffette così da impedirne il movimento. Si procederà poi nella pulitura, mediante spazzola metallica, dei lembi da saldare così da renderli scabri; la superficie dovrà essere scaldata con un cannello a gas applicando contemporaneamente la stearina (in modo da garantire la perfetta adesione del metallo al riporto), infine si fonderà una barretta composta di una lega di stagno e piombo sul giunto da sigillare. La perfetta adesione e stabilità delle protezioni sommitali delle superfici aggettanti (specialmente se di considerevoli dimensioni) potrà essere ulteriormente garantita con la messa in opera di tasselli chiodati di cui si dovrà provvedere a proteggere la testa con un rettangolo di piombo saldato alla lastra principale in modo da ostruire i fori, evitando possibili infiltrazioni di acqua.

#### *Dissuasori per volatili*

Lo scopo che si prefigge tale procedura è quello di dissuadere la sosta e la nidificazione di piccioni, tortore, colombi di città, gabbiani ecc. i quali, colonizzando il manufatto, provocano accumulo di materiale organico che, tramite l'azione acida e corrosiva amplificata sia dall'instaurarsi di microrganismi (il guano offre un terreno di coltura ideale sia per gli ectoparassiti quali acari, pulci, cimici e zecche, sia per la proliferazione di organismi microscopici, quali batteri, virus, muffe e funghi, generando un pericolo per il personale che frequenta le aree contaminate), sia dalla non trascurabile azione meccanica distruttiva delle unghie degli animali stessi che scalfiscono la superficie dei materiali, costituisce una minaccia permanente per i manufatti, causando, talvolta, danni anche irreversibili. Le zone di accumulo corrispondono, di norma, alle parti superiori degli oggetti, agli elementi di ornato e a zone della fabbrica difficilmente accessibili e, pertanto, ampiamente utilizzate dai volatili per la sosta e la nidificazione.

In linea generale i sistemi di dissuasione o allontanamento volatili dovranno essere efficaci, esteticamente "invisibili", duraturi nel tempo ossia non essere danneggiati da agenti inquinanti presenti nell'atmosfera, di facile installazione e non offensivi per gli animali.

Operazioni preliminari comuni sia a dissuasori meccanici che elettrostatici

- Pulitura accurata delle superfici con asportazione meccanica delle eventuali incrostazioni e spazzolatura con spazzole di saggina o aspiratori e successivo lavaggio con acqua seguendo le indicazioni riportate negli articoli specifici.
- Consolidamento ed eventuale integrazione di parti seguendo le indicazioni riportate negli articoli specifici.
- Accurata stuccatura delle eventuali fessure presenti tra i diversi elementi impiegando malta di calce idraulica naturale e sabbia di origine alluvionale, seguendo le indicazioni riportate negli articoli specifici.

#### *Protezione delle superfici estradossali con sistema meccanico a sproni*

Previo esecuzione delle operazioni preliminari precedentemente descritte, la procedura prevede l'incollaggio con collante siliconico neutro (così da garantire una adeguata aderenza al supporto ed una facile rimozione, in caso di necessità, senza lasciare macchie e senza provocare alterazioni o degrado sulle superfici), di dissuasori meccanici composti da banda flessibile in policarbonato e sproni in acciaio inox opacizzato, smontabili, di lunghezza variabile da 10 a 15 cm e diametro di circa 1-1,2 mm. Gli elementi metallici (a spillo singolo, multispillo o a riccio) non dovranno essere soggetti ad alterazioni causate da fattori climatici o chimici, dovranno, inoltre, essere molto flessibili così da ostacolare la sosta del volatile ma, allo stesso tempo, non provocare ferite allo stesso. A seconda delle varie esigenze di localizzazione (balconi, modanature di aperture, elementi decorati, marcapiani ecc.) e previa attenta valutazione sul comportamento del volatile (punti di sosta, nidificazione, deambulazione ecc.) gli sproni saranno montati sulla banda più o meno fitti, verticali, orizzontali, incrociati con varie inclinazioni, singolarmente o su entrambi i lati. La suddetta banda dovrà essere posizionata leggermente arretrata rispetto al bordo (così da non essere visibile dal basso) e disposta in modo tale da non consentire l'atterraggio di volatili.

#### *Protezione delle superfici estradossali con sistema di tipo elettrostatico*

Previo esecuzione delle operazioni preliminari precedentemente descritte, la procedura prevede il posizionamento del sistema elettrostatico che si basa su rapidissimi impulsi elettrici ad alta tensione ma a bassa corrente funzionanti in corrente continua a 12 volt.

Il funzionamento del sistema è determinato dall'installazione di una centralina elettronica alimentata a 230 volt che eroga una tensione di scarica variabile tra 4,0 e 6,0 KV con amperaggio inferiore a 30 mA. La tensione è erogata verso l'impianto ad impulsi variabili, superiori al secondo, utilizzando speciali cavetti per alta tensione con protezione a doppia guaina in PVC trattata contro i raggi UV e garantiti fino a 25 KV. La distribuzione avviene tramite il collegamento con tondini in acciaio inox AISI 316, staffe in policarbonato trasparente, antistatico e antiurto, trattate contro i raggi UV, collegate con un apposito cavetto per alta tensione, creando, sulla distribuzione filare a copertura, un efficacissimo deterrente elettrostatico atto ad allontanare qualsiasi volatile. Grande cura dovrà essere dedicata alla installazione dei materiali, alle loro dimensioni ed alla loro sagomatura, provvedendo prima ad una accurata disinfezione sanitaria a largo spettro di azione, contro tutti i microrganismi patogeni. Nell'installazione dovranno essere tenute in considerazione le abitudini dei volatili, la tipologia dei materiali da proteggere e l'estetica della costruzione.

Specifiche

L'alimentazione del sistema può essere fornita da un generatore fotovoltaico ad energia solare, la continuità di funzionamento durante le ore notturne può essere garantita da una serie di accumulatori ubicata all'interno della centralina.

Al fine di completare il sistema antivolatili potranno essere installate particolari barriere costituite da reti ornitologiche morbide in fibre polimeriche ad alta tenacità, resistenti agli agenti atmosferici ed ai raggi UV, non infiammabili ed esenti da cariche elettrostatiche atte ad impedire l'accesso ai volatili nelle parti più anguste, nelle aperture (ad es. celle campanarie) ovvero a protezione di elementi decorati e/o modellati tipo capitelli, statue, stemmi.

## • DEUMIDIFICAZIONE

### **OPERAZIONE DI DEUMIDIFICAZIONE DI APPARECCHI MURARI**

#### Generalità

I lavori di deumidificazione delle murature, qualsiasi sia il sistema di risanamento adottato (drenaggi, vespai, intonaci macroporosi, iniezioni con miscele idrofobizzanti ecc.) necessiteranno di analisi preventive, al fine di stabilire la natura del degrado e, di conseguenza, definire la metodologia da adottare più appropriata per risolvere lo specifico problema.

#### Drenaggi, intercapedini, vespai

Le procedure d'intervento si riferiscono a varie tecnologie atte a fronteggiare la presenza dell'umidità; le operazioni si relazionano principalmente a fondazioni o muri controterra poiché elementi che possono facilmente impregnarsi d'acqua, in fase liquida, proveniente direttamente dal sottosuolo, per capillarità. L'assorbimento si può verificare al piede delle fondazioni, sulle pareti laterali e sulle pavimentazioni a diretto contatto con il terreno (mancanza del primo solaio a terra).

Tutte queste procedure implicano demolizioni e scavi che potrebbero risultare dannosi per l'equilibrio statico del manufatto; per questo, prima di procedere dovranno essere attuate appropriate indagini preliminari allo scopo di definire un preciso quadro diagnostico sia sul terreno sia sulla muratura, al fine di conoscere la reale configurazione e natura geologica del suolo, nonché il reale stato conservativo delle murature interrato. L'eliminazione di una consistente parte di terreno con funzione di contenimento per la parte di muro fondale, potrebbe innescare cedimenti e provocare quadri fessurativi. Nella probabilità che ciò possa verificarsi sarà basilare intervenire preventivamente con il consolidamento delle strutture e, in seguito, con lo scavo della trincea. Maggiori specifiche sulle modalità di scavo potranno essere desunte dagli articoli specifici sugli scavi (scavi di sbancamento, scavi a sezione obbligata, scavi di accertamento ecc.).

#### Drenaggi

L'intervento, da effettuarsi all'esterno del manufatto, ha lo scopo di evitare il contatto diretto tra la muratura ed il terreno umido; la tecnica è in grado di convogliare lontano dalla muratura le acque di scorrimento e quelle derivanti dalla falda freatica. Questo tipo di dispositivo potrà essere localizzato, sia in aderenza agli apparecchi murari, (questi si riveleranno utili ad intercettare le acque in pendii vicini al manufatto) sia distaccato; nel primo caso si renderà necessario posizionare, a contatto con il muro, una barriera impermeabile costituita da membrane bitume polimero elastomeriche, o realizzata mediante vernici impermeabilizzanti (minimo 2 mani a distanza di 24-48 ore per uno spessore finale di circa 2-3 mm ed un consumo di almeno 2-2,5 kg/m<sup>2</sup>).

Previa la rimozione o la demolizione dell'eventuale marciapiede perimetrale, dovrà essere realizzato uno scavo (eseguito a mano o con l'ausilio di piccoli escavatori a cucchiaio) per piccoli cantieri successivi, al fine di creare una trincea di profondità e larghezza dettate dalle disposizioni di progetto; in assenza di queste si procederà fino all'estradosso della fondazione o, quantomeno, ad una quota inferiore a quella dei pavimenti interni (larghezza minima 40-50 cm, altezza circa 70-80 cm) eseguendo gli eventuali, quanto opportuni, sbatacchiamenti in presenza di terreno incoerente o con terreno che non offra assolute garanzie di sicurezza. Successivamente, previa accurata ripulitura della parete controterra (con tecnica indicata da disposizioni di progetto, ad es. acqua deionizzata ed energia spazzolatura con l'ausilio di spazzole di saggina) messa al vivo, al fine di rimuovere ogni traccia di terreno ed eventuali residui umiferi, si procederà alla stuccatura dei giunti con malta di calce idraulica ed all'eventuale messa in opera di un nuovo intonaco (spessore consigliato 20 mm) con malta sempre a base di calce idraulica naturale NHL 3,5 caricata con cocciopesto (per es. 1 parte di calce, 2 parti di sabbia fine, 1 di cocciopesto). In alternativa, in presenza di apparecchio "faccia a vista", potrà essere sufficiente stillare i giunti di malta con apposita malta di calce idraulica caricata con cocciopesto ovvero pozzolana (rapporto legante-inerte 1:2). Tirato e consolidato l'intonaco si applicherà la guaina isolante bituminosa che potrà essere a teli saldati a caldo (caratteristiche medie: spessore 4 mm; armata con tessuto-non-tessuto di poliestere imputrescibile; flessibilità a freddo di -20 °C, resistenza a trazione long. 970 N/cm<sup>2</sup> e trasv. 700 N/cm<sup>2</sup>; allungamento a rottura long. 50% e trasv. 50%; resistenza alte temperature >150 °C) o liquida data a pennello o a rullo (prodotto a consistenza liquida a base di bitumi con elastomeri e filler in dispersione acquosa; allungamento a rottura ca. 1000%; resistenza alte temperature >150 °C; flessibilità a freddo -10 °C; resistenza a trazione long. 16 N/cm<sup>2</sup> e trasv. 20 N/cm<sup>2</sup>; tempo di essiccazione superficiale ca. 1 h); per l'applicazione su superfici cementizie sarà opportuno prevedere la stesura preventiva di apposito primer.

Al fine di evitare che il riempimento danneggi lo strato isolante potrà essere utile posizionare delle idonee membrane bugnate in polietilene ad alta densità HDPE (spessore ca. 6-10 mm; volume d'aria tra le bugne ca. 5,3-5,5 l/m<sup>3</sup>; resistenza alla pressione > 200 kN/m<sup>2</sup>; stabilità termica da +30 °C a +80 °C; resistente agli agenti chimici, agli urti, alle radici, non degradabile). Queste membrane, applicate con le bugne rivolte verso la parete (avendo cura di avere una sormonta longitudinale di almeno 10-20 cm), mediante tasselli ad espansione o chiodi in acciaio inox muniti di appositi bottoni con maglia 100x100 cm, avranno, allo stesso tempo, sia la funzione di agevolare la circolazione dell'aria sia di proteggere la barriera isolante. Nel caso in cui si dovessero montare membrane bugnate munite di strato di geotessuto non-tessuto drenante in polipropilene a filo continuo si dovrà invertire la posa in opera ovvero sia, il lato bugnato dovrà essere rivolto verso il terreno così da permettere al geotessuto un costante filtraggio delle particelle del terreno impedendo l'intasamento dei canali. In alternativa alla membrana bugnata si potranno realizzare dei pannelli in laterizio pieno posti in opera a coltello ed allettati con malta di calce idraulica.

Il drenaggio vero e proprio sarà costituito dal riempimento a secco della trincea, precedentemente scavata, con ciottoli, scheggioni (costituiti da materiali poco porosi ed assorbenti come pietre laviche) disposti a mano su terreno ben costipato mediante spianatura, bagnatura e battitura, al fine di evitare cedimenti, o su piano costituito in magrone di cls; in ogni caso il piano dovrà essere tirato in modo da avere una pendenza intorno al 2-4% così da favorire il deflusso delle acque. Il drenaggio sarà integrato con un tubo drenante (// 200-400 mm) in materiale cementizio forato avente la corona superiore molto permeabile e la parte inferiore compatta ed impermeabile, posto

sul fondo della fossa con la funzione di raccolta ed allontanamento delle acque nelle condotte principali di fognatura bianca, o in zona idonea al non ritorno dell'acqua reflua dal drenaggio. Il materiale di riempimento sopra il primo strato di ciottoli e scheggioni di grosse dimensioni (100-150 mm) dovrà essere di granulometria diversificata, sempre più fine a mano a mano che ci si avvicina alla superficie; una granulometria di riferimento potrà essere composta da ciottoli di 30-60 mm, ghiaia di 5-10 mm, rifiorimento in sabbia 1,5-3 mm. Tra i vari strati di granulometria diversa, se il progetto lo prevede, potrà essere inserito un foglio di tessuto-non-tessuto.

Al fine di impedire infiltrazioni d'acqua piovana si renderà necessario creare o ripristinare un marciapiede lungo tutto il perimetro dell'edificio di larghezza maggiore a quella della trincea drenante e d'inclinazione tale da allontanare l'acqua dalla parete. In tal modo l'assorbimento d'umidità sarà ridotto al solo piano di appoggio della fondazione.

#### Avvertenze

L'intervento, se correttamente eseguito ed affiancato all'interno dell'edificio dalla messa in opera di intercapedini o vespai areati, potrà risultare efficace e risolutivo nei casi in cui la risalita capillare dell'umidità non superi i 40-50 cm. In presenza di murature soggette ad elevata umidità di risalita sarà necessario evitare questo tipo di procedura ed orientarsi verso sistemi combinati più efficaci. Nel caso in cui lo scavo dovrà essere abbassato al di sotto della quota di fondazione, sarà opportuno (ai fini della sicurezza statica) posizionare la trincea drenante ad almeno 2 m dalla stessa per evitarne il possibile scalfamento.

#### Pozzi assorbenti

In presenza di una successione di terreni che, dalla superficie verso il basso, si presentano con strati saturi di acqua (livello fondazioni) e, poi, a profondità maggiori, con strati di suolo assorbente (per es. un banco di ghiaia sciolta anche mista a sabbia, argille molli ecc.) può rivelarsi conveniente procedere al risanamento dei locali interrati ricorrendo alla creazione di pozzi assorbenti. Questi pozzi potranno essere realizzati, secondo le disposizioni di progetto, o in pietrame o in mattoni pieni messi in opera in modo da lasciare aperti numerosi vuoti fra l'interno del pozzo ed il terreno limitrofo. Normalmente il pozzo sarà affondato per circa 30-40 cm all'interno dello strato assorbente e terminerà in superficie con un chiusino in cemento, asportabile per le periodiche ispezioni sulla condizione del pozzo.

Tali pozzi lasciano filtrare al loro interno l'acqua proveniente dal suolo saturo, convogliandola verso il sottostante banco assorbente. Con questo tipo di drenaggio si otterrà un abbassamento del livello della falda acquifera ed un rapido prosciugamento delle acque piovane che, per gravità, penetrano nel terreno.

#### Avvertenze

Questa procedura determina un calo della falda acquifera superficiale, pertanto potrà essere messa in opera solo se il progetto avrà considerato i possibili fenomeni di tipo statico (assestamenti, avvallamenti ecc.) che potrebbero verificarsi nelle strutture del manufatto ed abbia previsto o adottato adeguate misure di salvaguardia; sarà, pertanto, consigliabile, prima di procedere all'installazione del pozzo, consolidare la struttura muraria.

#### Intercapedini, scannafossi

L'intervento prevede la formazione di un'intercapedine ventilata perimetrale (circa 40-80 cm di larghezza per una profondità di almeno una volta e mezzo l'altezza dell'umidità di risalita; ad es. per umidità fino ad 1 m scannafosso profondo 1,5 m) con la funzione di realizzare il completo distacco tra il terreno umido e la faccia verticale della muratura interrata; così facendo si favorirà l'aerazione delle murature del manufatto e di eventuali locali seminterrati. Con la messa in opera di questo tipo di dispositivo la muratura potrà assorbire acqua soltanto dalla base e non più lateralmente, scaricandola nell'intercapedine sotto forma di vapore condotto, poi, verso l'esterno attraverso canali di ventilazione, griglie, aperture dirette ecc.

Prive operazioni di scavo, simili a quelle eseguite per il drenaggio, si procederà alla realizzazione, ad una distanza dettata dalle disposizioni di progetto (minimo 12 cm), di una controparete in mattoni pieni, in calcestruzzo armato o in elementi prefabbricati in c.a. (mezzi tubi // 400 mm o elementi a "C" 400x400 mm) a seconda delle modalità descritte negli elaborati di progetto. L'intercapedine, indipendentemente dal materiale impiegato per costruirla, andrà realizzata in maniera indipendente rispetto alla struttura muraria dell'edificio interessata dall'intervento. Si eseguirà, pertanto, una struttura portante, parallela al perimetro delle murature, alla quale si appoggerà il sistema di chiusura che potrà essere realizzato con griglie metalliche, in tavelloni e massetto armato, in piastre in c.a. prefabbricate ecc. (in caso di intercapedine chiusa si dovranno necessariamente prevedere delle griglie di aerazione intervallate ogni 4-5 parti chiuse, da dimensionarsi rispetto alla grandezza del manufatto).

L'interno dello scannafosso andrà completamente impermeabilizzato tramite applicazione di guaina bituminosa liquida stesa a pennello od a rullo (prodotto a consistenza liquida a base di bitumi con elastomeri e filler in dispersione acquosa, allungamento a rottura ca. 1000%, resistenza alte temperature >150 °C, flessibilità a freddo -10 °C, resistenza a trazione long. 16 N/cm<sup>2</sup> e trasv. 20 N/cm<sup>2</sup>); nel caso di parete controterra "faccia a vista" potrà essere sufficiente stillare i giunti di malta con apposita malta di calce idraulica naturale NHL 3,5 caricata con cocciopesto, ovvero pozzolana (rapporto legante-inerte 1:2). L'intercapedine dovrà, inoltre, essere ispezionabile mediante la creazione d'idonei pozzetti rimovibili e presentare il fondo conformato in modo da raccogliere l'acqua e farla defluire (pendenza 2-4%) verso idonei pozzetti di raccolta collegati al sistema fognario. Tramite fori passanti nelle murature perimetrali (// 10-20 mm), eseguiti con apposite carotatrici, le intercapedini potranno essere collegate con eventuali vespai aerati presenti all'interno della costruzione.

I vantaggi di un sistema di questo tipo risiedono nel miglioramento delle condizioni termo-igrometriche dei locali interrati confinanti con lo scannafosso, nella possibilità di effettuare aperture di finestre a bocca di lupo migliorando, così, le condizioni di aerazione e, quindi, di abitabilità; inoltre, il vuoto crea una barriera alle vibrazioni meccaniche provenienti dalle strade e dai terreni limitrofi.

#### Controparete interna

Questa procedura risulta particolarmente adatta nei casi in cui risulta difficile, se non addirittura impossibile (sia per problemi economici sia strutturali), operare all'esterno. L'intervento si pone l'obiettivo di ottenere un'adeguata aerazione dei locali interrati e, allo stesso tempo, sfruttando i moti convettivi che si originano nell'intercapedine, ridurre per evaporazione, l'umidità relativa con un conseguente miglioramento delle condizioni di salubrità e di benessere dei locali interni. In linea generale una controparete dovrà:

- non presentare contatti con la parete umida (per essere efficace, anche contro l'umidità di condensazione, la camera d'aria dovrà essere di circa 6-7 cm);
- non avere alcuna comunicazione tra l'aria umida dell'intercapedine ed il locale da risanare;
- impostarsi su uno strato di materiale impermeabile (guaina bituminosa posizionata sul massetto);

– avere un ricambio dell'aria umida verso l'esterno od in modo naturale o tramite elettroaspiratore (solo in caso di umidità ascendente dal terreno);

– nel caso di umidità da condensazione dovrà possedere una chiusura ermetica anche verso l'esterno.

La procedura prevede, previa l'eventuale eliminazione dell'intonaco o di altro tipo di rivestimento sul lato interno della parete e successiva pulitura con acqua deionizzata e spazzolatura, la messa in opera di una controparete leggera e sottile costituita, seguendo le modalità indicate negli elaborati di progetto, da mattoni forati posti in piano o di coltello, ovvero da tavelline o lastre di calcestruzzo cellulare preverniciate con un impermeabilizzante sul lato interno ed unite con malte idrofughe. Per migliorare la resistenza termica della controparte dovrà essere posizionato un sottilissimo foglio d'alluminio che potrà rivestire indifferentemente, previa intonacatura rustica, l'una o l'altra faccia.

La soluzione di ventilazione più comune sarà data da una doppia fila di canali di aerazione (// 20-40 mm) capaci di assicurare il collegamento dell'interno dell'intercapedine con l'esterno realizzate ogni 100-150 cm in corrispondenza della quota del pavimento e del soffitto (circa a 15 cm). In presenza di umidità ascendente e se il progetto prevede una ventilazione forzata, si potrà, in alternativa, disporre le bocche d'aerazione in alto verso l'interno e, quelle in basso, verso l'esterno.

Nel caso di intercapedine ventilata si otterrà, generalmente, un minore isolamento termico, in quanto l'aria esterna che entra a contatto con quella dell'intercapedine scambia direttamente il calore con quest'ultima; sarà, tuttavia, assicurato lo smaltimento del vapore acqueo che si creerà nei locali ed all'interno dell'intercapedine per evaporazione dell'acqua eventualmente filtrata dalla parete esterna.

Particolari precauzioni dovranno essere adottate per la realizzazione dei fori di ventilazione i quali, al fine di evitare l'entrata di acqua esterna all'interno dell'intercapedine, dovranno essere eseguiti con pendenza verso l'esterno ed essere protetti da un cappelletto (in metallo, pietra o laterizio) ad uso di gocciolatoio che impedisca l'ingresso della pioggia e del vento diretto.

#### *Vespai orizzontali*

L'intervento si rivolge a quei locali interrati o seminterrati che hanno il pavimento a diretto contatto con il terreno umido, che presentano sia problemi di umidità legati alla condensa, sia dipendenti dalle condizioni termoigrometriche. La procedura si pone come obiettivo quello di isolare il pavimento dalle masse umide del terreno attraverso la formazione di un vespaio orizzontale eventualmente collegato, tramite appositi bocchette, con intercapedine d'aerazione esterna. La suddetta predisposizione di bocchette di ventilazione potrà essere omessa, sia nei casi in cui il progetto preveda la messa in opera di un massetto di cls, con spessore minimo 10 cm, sul quale stendere una membrana impermeabile a base bituminosa, sia nel caso in cui il riempimento sia costituito da materiale asciutto e termoisolante.

I vespai, dove possibile, dovranno sempre avere sviluppo nord-sud, in modo da garantire un minimo di movimentazione d'aria ed un'altezza minima pari a circa 30-40 cm, ottenibile attraverso uno scavo di sbancamento, eseguito a mano o con l'ausilio di piccoli strumenti meccanici, o diminuendo l'altezza del locale (maggiori specifiche sulle modalità di scavo potranno essere attinte dagli articoli specifici sugli scavi).

I vespai fondamentalmente sono di due tipi:

- a camera d'aria;
- a riempimento.

#### *Vespai a camera d'aria*

La procedura prevede l'eliminazione del contatto diretto tra pavimento e terreno attraverso la creazione di un vano vuoto, asciutto e termicamente coibente messo in opera al disotto della quota del primo solaio, con la funzione di fermare l'acqua ascendente dispersa nel terreno e di agevolare la riduzione della condensa atmosferica. Nei locali con almeno una parete che confina con l'esterno, il vespaio potrà essere collegato al di fuori mediante bocchette d'aerazione mentre, nei locali interni, il riciclo d'aria potrà mancare o, altrimenti, essere realizzato sfruttando un camino di tiraggio, cioè una condotta d'aerazione verticale che arrivi fino al tetto; il tiraggio di questi camini andrà calcolato in rapporto al carico disponibile ed alla portata.

#### *Gattaiolato*

Questo tipo d'intervento può essere messo in opera nei casi in cui si ha la possibilità sia di rimuovere la pavimentazione esistente (per maggiori dettagli su questa procedura si veda quanto prescritto nell'articolo specifico), sia di eseguire uno scavo di circa 80-100 cm di profondità. Una volta eseguito lo scavo il piano dovrà essere regolarizzato mediante un magrone (dosato 1,5-2 q/m<sup>3</sup>) di calce idraulica naturale NHL 5 di circa 8-10 cm eventualmente armato con rete elettrosaldata // 6 mm maglia 200x200 mm; lo spessore del piano di posa sarà dimensionato in funzione del carico operato dagli strati superiori. Sopra il piano potrà essere collocata una guaina isolante bituminosa che avrà un risvolto verticale sulle pareti perimetrali per tutta l'altezza del vespaio più una decina di centimetri sopra il pavimento o, in alternativa, (se il progetto non prevede il ripristino dell'intonaco) si potrà fermare a filo pavimento. Il gattaiolato vero e proprio sarà costituito da muretti di sostegno (ovvero dei pilastri minimo a due teste) in mattoni pieni ad una testa intervallati da 80-100 cm e di altezza variabile, secondo le prescrizioni di progetto, da un minimo di 30 cm ad un massimo di 80 cm; questi muretti dovranno essere muniti di fori di ventilazione (ad intervalli di circa 50 cm) ricavati lasciando spazi tra i corsi di mattoni. Sopra ai muretti si potranno posizionare tavelloni in laterizio (dim. medie 100x25x8 cm), lastre di cls leggero (dim. medie 100x50x6 cm) o altro materiale idoneo a creare un piano di sottofondo. Al di sopra di questo piano verrà gettata la soletta in calcestruzzo alleggerito con argilla espansa (spessore minimo di 10-12 cm) armata con rete elettrosaldata di acciaio Fe B 38 K adeguatamente dimensionata (ad es. tondi // 6 mm e maglia 100x100 mm) o rete in polipropilene (PP) bi-orientata prodotta per estrusione (maglia 42x30 mm). L'impasto di calcestruzzo da utilizzare dovrà avere i requisiti richiesti dagli elaborati di progetto con una resistenza minima di 250 kg/cm<sup>2</sup>. Sulla soletta prima dell'esecuzione del sottofondo per il pavimento, potrà, se previsto dagli elaborati di progetto, essere posizionato, previa stesura di foglio separatore (in carta lana o carta Kraft), uno strato di materiale termocoibente (caratteristiche medie di pannelli termocoibenti in polistirene espanso sinterizzato a celle chiuse: spessore minimo 30-35 mm; densità 30-35 kg/m<sup>3</sup>; reazione al fuoco classe 1; conducibilità termica 0,025-0,028 Kcal/mh °C; resistenza a compressione 2,45-3,0 kg/cm<sup>2</sup>; esente da assorbimento d'acqua per capillarità).

In alternativa, per creare un gattaiolato di modesto spessore, (altezza scavo 40-45 cm per una intercapedine di circa 12-15 cm) si potranno montare, a guisa dei muretti di sostegno, dei filari costituiti da laterizi pieni o forati posti di coltello con interasse variabile in funzione della successiva collocazione di un piano ottenibile con tavelloni o anche semplicemente con altri mattoni (in questo caso l'interasse sarà di 25 cm). I filari dovranno consentire il flusso d'aria tra i vari comparti collegati alle condotte d'aerazione. La stillatura dei giunti dovrà essere eseguita con malta di calce idraulica naturale.

Se previsti dalle disposizioni di progetto potranno essere aperti, mediante carotaggi sui muri d'ambito, dei canali d'aerazione (minimo // 120 mm interasse 4-5 m) in modo da creare correnti d'aria (l'orientamento consigliato sarà: a nord la presa d'aria e a sud l'emissione della stessa); ogni camera d'aria dovrà possedere almeno due aperture munite esternamente di griglie metalliche, così da consentire l'omogenea ventilazione di tutte le parti del solaio; nessuna apertura dovrà consentire il riflusso di aria verso l'ambiente interno; il sistema di canalizzazione dovrà permettere la naturale ventilazione aspirando e riversando aria in direzione di sbocchi aperti verso l'esterno.

#### *Vespai con casseri prefabbricati*

L'intervento può essere considerato la variante moderna del gattaiolato; il supporto della pavimentazione verrà gettato direttamente su casseri a perdere prefabbricati in polipropilene riciclato di varie dimensioni (minimo 50x50 cm massimo 75x100 cm) ed altezze (minimo 10 cm massimo 70 cm) dalla forma ad igloo quadrilateri svuotati ai fianchi al fine di consentire la circolazione d'aria nelle quattro direzioni. Questa tecnologia offre la possibilità di posizionare in ogni direzione tubazioni, condutture e cavi.

I moduli, dotati di nervature per potenziare le caratteristiche meccaniche e il sistema d'incastro rapido senza necessità di fissaggio, verranno accostati per ricavare l'intercapedine ed, al tempo stesso, il piano per il getto della soletta (che dovrà essere minimo di 4-5 cm ed armata con rete elettrosaldata di acciaio Fe B 38 K // 6 mm e maglia 200x200 o rete in polipropilene (PP) bi-orientata a maglia 42x30 mm, da posizionare direttamente sopra il cassero). Si procederà con la messa in opera dei pannelli termoisolanti e del pavimento con il relativo sottofondo. I moduli poggeranno su sottofondo di livellamento realizzato in ghiaia e magrone (dosato 2 q/m<sup>3</sup>) di calce idraulica naturale NHL 5 di almeno 10 cm armato con rete elettrosaldata // 6 mm maglia 200x200 mm. Attraverso perforazioni sulle pareti perimetrali si potranno aprire bocchette d'aerazione (si vedano le considerazioni fatte per il gattaiolato).

#### *Vespai a riempimento*

Questo tipo di intervento è adottato quando, pur avendo la possibilità di rimuovere la pavimentazione esistente, non risulta possibile effettuare lo scavo necessario per la realizzazione del vespaio aerato; in ogni caso il piano di posa dovrà essere preparato tramite la realizzazione di uno strato di magrone (dosato 1,5 q/m<sup>2</sup>) di calce idraulica dello spessore minimo di 8-10 cm o, in alternativa, mediante semplice livellamento e battitura del terreno.

Il vespaio sarà ottenuto dall'accostamento di elementi lapidei asciutti, poco porosi, ottenuti da frantumazione di rocce dure, preferibilmente silicee, con struttura compatta; dovranno essere banditi materiali porosi ed assorbenti (tipo calcarei teneri, tufi, arenarie ecc.) e ghiaie di granulometria fine. La disposizione delle pietre (per una altezza di circa 25-30 cm) non dovrà seguire il criterio della massicciata ma, al contrario, gli elementi dovranno essere posizionati in modo accurato, collocando gli elementi con dimensioni decrescenti dal basso verso l'alto e facendo sì che si formino delle continuità di spazi tra di essi, spazi che, collegandosi con idonei cunicoli d'aerazione messi in opera rudimentalmente con gli stessi elementi lapidei, nel senso della circolazione determinata dalle bocchette sulle pareti esterne, consentiranno all'aria una libera circolazione.

Al di sopra delle pietre sarà sistemato uno strato di ghiaione o colaticcio di fiume (rifiorimento) di conveniente granulometria (sino ad arrivare al piano prescritto di norma 6-8 cm) al fine, sia di creare una sorta di piano al massetto della pavimentazione, sia di impedire che questo, penetrando nel vespaio, occulti gli spazi vuoti predisposti. Il massetto sarà composto esclusivamente di calce idraulica naturale caricata con granulato d'argilla espansa (per uno spessore minimo di 10-12 cm) eventualmente armata con rete elettrosaldata d'acciaio Fe B 38 K adeguatamente dimensionata (per es. tondi // 6 mm e maglia 200x200 mm). L'intervento terminerà con la messa in opera d'idonea membrana bituminosa (spessore 10 mm) e del successivo pavimento con relativo sottofondo. Sarà sempre opportuno far salire, verticalmente, la guaina per almeno 20-30 cm sulle pareti d'ambito; nel caso in cui gli elaborati di progetto non dovessero prevedere il rifacimento dell'intonaco o in presenza di apparecchio "faccia a vista", la guaina potrà essere tagliata subito al di sotto della quota del pavimento.

#### *Applicazione di intonaco macroporoso*

La procedura descrive una metodologia volta al prosciugamento di murature fuori terra, interessate da fenomeni di umidità di risalita, mediante l'applicazione di intonaci ad elevata porosità in grado di aumentare la velocità di evaporazione dell'acqua, presente all'interno della muratura, di quel tanto che basta affinché la stessa non sia in grado di umidificarsi in seguito al contatto ed al conseguente assorbimento d'acqua dal terreno umido. Questo tipo di operazione è consigliata quando risulta impossibile (per motivi tecnici e/o economici) intervenire con sbarramenti, deviazioni od altri sistemi più invasivi per cui non resta altra risoluzione che intervenire direttamente sull'apparecchio murario aiutandone la capacità di traspirazione. L'intonaco macroporoso, applicabile su tutti i tipi di muratura, potrà essere utilizzato anche su superfici di locali interni soggetti a forti concentrazioni di umidità o per ridurre i fenomeni di condensa sulle pareti degli ambienti confinanti, fermo restando un attivo ed efficiente sistema di aerazione. Questo tipo di intervento non sarà adatto in presenza di un costante contatto con acqua di falda.

L'intonaco macroporoso non sarà in grado di assicurare da solo nessun effetto di deumidificazione (ad eccezione di problematiche circoscritte a murature inferiori ai 30 cm interessate da modesti fenomeni d'umidità), ma assicurerà un buon prosciugamento dei residui d'acqua (specialmente nella stagione calda e secca) una volta limitata la fonte principale d'adescamento; inoltre, non essendo in grado di opporsi all'ingresso dell'acqua meteorica nel muro, dovrà essere trattato superficialmente con sostanze idrorepellenti ma traspiranti al vapore acqueo (ad es. pitture ai silicati), o con intonachino di finitura comunque additivato con idrorepellenti.

Questo tipo di intonaco sarà, di norma, ottenuto miscelando malte di base (ad es. calce idraulica naturale ed inerti leggeri selezionati o cocciopesto in rapporto 1:3) con agenti porogeni (additivi in grado di creare vuoti all'interno della massa legante come ad es. silicati idrati di alluminio espanso, perossido di calcio, agenti tensioattivi ecc.) o sostanze di per sé porose (perlite, polistirolo ecc.). L'intonaco così ottenuto sarà ricco di macropori (>35-40% del volume) intercomunicanti tra loro con la funzione, sia di aumentare la superficie di evaporazione sia di immagazzinare i sali cristallizzati senza pericolo di disgregazione meccanica dell'intonaco.

La procedura operativa prevede le seguenti fasi esecutive.

#### *Asportazione intonaco*

Si procederà con l'accurata spicconatura dell'intonaco danneggiato da acqua e sali fino ad un'altezza sopra la linea evidente dell'umidità, pari come minimo, a tre volte lo spessore della muratura (sarà consigliabile, comunque, non scendere al di sotto di un metro) avendo cura sia di rimuovere tutti gli eventuali materiali non compatibili estranei alla muratura (ad es. elementi metallici, lignei ecc.), sia di raschiare i giunti fra mattone e mattone (per almeno 2-3 cm di profondità) allo scopo di assicurarsi l'asportazione di sporco, muffe ed altri elementi contaminanti presenti tra gli interstizi, il materiale di scarto dovrà essere rimosso celermente dallo zoccolo del muro in quanto inquinato di sali (per maggior specifiche sulla asportazione dell'intonaco si rimanda all'articolo specifico).

#### Pulizia della superficie

La superficie, portata al vivo della muratura, dovrà essere pulita mediante un accurato lavaggio effettuato con l'ausilio di idropulitrice o con getto di acqua deionizzata a bassa a pressione, spazzolando la superficie mediante spazzole di saggina o con altro idoneo sistema prescelto dalla D.L.

In caso di consistenti concentrazioni saline dovrà, al contrario, essere evitato qualsiasi lavaggio con idropulitrice che potrebbe compromettere ulteriormente il supporto; la superficie subirà una pulizia di fondo a mezzo di scopinetti e/o spazzole di saggina, con lo scopo di allontanare dalla muratura tracce di sporco e residui pulverulenti; in caso di necessità la pulitura potrà essere coadiuvata da getti di aria compressa a bassa pressione; in ogni caso la superficie dovrà essere oggetto di desalinizzazione attraverso un minimo di due cicli di impacchi di polpa di cellulosa imbevuta di acqua deionizzata (per ulteriori specifiche si rimanda all'articolo inerente "Estrazione di sali solubili mediante applicazione di compresse assorbenti").

Successivamente a questa fase dovranno essere asportate le parti mobili e quelle eccessivamente degradate sostituendole con elementi nuovi e, nel caso di parti mancanti od accentuati dislivelli, sarà opportuno procedere alla ricostruzione con cocci di mattoni e malta di calce (per maggiori specifiche si rimanda all'articolo riguardante le "Rincocciature").

#### Ristilatura dei giunti

Stuccatura dei giunti mediante malta a base di calce idraulica naturale ed inerti scelti e selezionati, eventualmente caricata con cocchiopesto (per maggiori specifiche si rimanda all'articolo riguardante le "risarciture-stilature dei giunti di malta").

#### Eventuale primer antisale

In presenza di umidità elevata e di consistenti efflorescenze saline, previo periodo di traspirazione diretta della muratura, sarà consigliabile applicare a pennello od a spruzzo con un ugello erogatore di circa // 2-4 mm (ad una pressione di circa 1 atm), su superficie perfettamente pulita ed asciutta un primer inibitore delle salinità e promotore della traspirazione, costituito da emulsione polimerica, incolore, esente da solventi, ad alto contenuto ionico, traspirante, al fine di eliminare il problema della comparsa di efflorescenze saline senza la formazione di pellicola superficiale non traspirante. L'operazione dovrà essere eseguita su superfici non direttamente esposte ai raggi solari, alla pioggia, o in presenza di vento (temperature limite di esecuzione +5 °C +35 °C); dovrà essere, inoltre, eseguita dall'alto verso il basso, in più passate, bagnato su bagnato, facendo percolare per gravità, interrompendo l'applicazione solo quando la muratura sarà satura (ovverosia quando la superficie impregnata rimarrà lucida per almeno 10 secondi). Le eventuali eccedenze di prodotto rimaste sul supporto dopo il completamento del trattamento dovranno, necessariamente, essere asportate o, se sarà possibile, fatte penetrare nella muratura con applicazioni di solo solvente diluente.

Alla fine del trattamento si provvederà a proteggere la zona d'intervento dagli agenti atmosferici fino alla completa stabilizzazione della miscela applicata (tempo variabile da 12 a 48 ore).

#### Strato di rinzafo risanante

Previa bagnatura con acqua pulita della muratura (seguendo le accortezze in uso per l'applicazione di un normale intonaco) si procederà ad applicare, senza l'ausilio di guide e mediante cazzuola, lo strato di rinzafo (dello spessore variabile di 20-30 mm) a cui sarà demandato il compito di preparare un fondo ruvido atto all'adesione per il successivo strato di intonaco macroporoso. Il rinzafo, che dovrà essere applicato a copertura totale del supporto, sarà costituito da una malta a base di calce idraulica naturale NHL 3,5 resistente ai solfati, rafforzata e stabilizzata con cocchiopesto vagliato e lavato (granulometria 3-8 mm) o, in alternativa pozzolane naturali di primissima qualità, unitamente a sabbie silicee e carbonatiche selezionate (granulometria: 2 parti 1,5/5 mm + 1 parte 0,5/1,2 mm) ed eventualmente additivata con idoneo agente porogeno/aerante così da essere caratterizzato da una porosità calibrata sottile (di norma 0,100-0,150 kg per 100 kg di legante) (rapporto legante-inerte 1:3). Caratteristiche medie dell'impasto: resistenza a compressione 6-8 N/mm<sup>2</sup>; resistenza a flessione 2-3 N/mm<sup>2</sup>; resistenza alla diffusione del vapore ca. 12-15 μ, porosità >25 %.

#### Strato di arriccio macroporoso

Dopo almeno 24-48 ore, cioè solo quando il rinzafo inizierà a rapprendersi, si procederà ad applicare, previa bagnatura del supporto, il successivo strato di intonaco macroporoso (macroporosità controllata) mediante cazzuola, per uno spessore minimo di 20 mm (in due strati di 10 mm/cad) eventuali strati superiori (fino ad un massimo di 30 mm) si applicheranno in strati successivi a distanza di 24 ore uno dall'altro (caratteristiche medie dell'impasto: granulometria 0,5-2 mm; resistenza a compressione 2-4 N/mm<sup>2</sup>; resistenza a flessione 1-2 N/mm<sup>2</sup>; resistenza alla diffusione del vapore ca. 6-8 μ; porosità >35%; conduttività termica 0,30-0,42 W/mK). La stesura dell'intonaco dovrà essere eseguita avendo l'accortezza di non esercitare alcuna pressione su di esso; inoltre andrà lavorato unicamente con staggia o cazzuola americana (al fine di non ostruire i vuoti) evitando l'uso di frattazzo fine o lisciate a cazzuola. L'impasto dell'arriccio macroporoso sarà a base di calce idraulica naturale NHL 3,5 e grassello di calce caricate con sabbia vagliata (0,5-1,5 mm) e cocchiopesto (grana 1-5 mm) o pozzolana selezionata di alta qualità con l'aggiunta di idoneo additivo porogeno/aerante, se non diversamente specificato si potrà utilizzare un impasto costituito da: 1 parte di grassello di calce; 1 parte di calce idraulica naturale; 2 parti di sabbia; 2 parti di cocchiopesto; 0,04 parti di agente porogeno/aerante (di norma 0,200-0,250 kg per 100 kg di legante).

Passati almeno 20 giorni si potrà procedere (secondo le disposizioni di progetto), alla stesura della rasatura superficiale che potrà essere tirata a frattazzo o rasata, colorata in pasta o meno, fermo restando le condizioni tassative di un alto valore di permeabilità al vapore acqueo; infine si potrà applicare un'eventuale coloritura che non alteri le caratteristiche di traspirabilità dell'intonaco come, ad esempio, le pitture alla calce o ai silicati (per specifiche sui trattamenti di finitura e/o protezione-coloritura si rimanda agli articoli specifici).

#### Avvertenze

Nel caso di utilizzo di prodotti premiscelati le modalità ed i tempi di applicazione potranno variare secondo la natura del prodotto e sarà obbligo seguire accuratamente le istruzioni del produttore, sia per quanto riguarda la preparazione degli impasti sia per i vari strati da applicare; ad esempio alcuni produttori omettono il primer antisale in quanto già compreso nella malta da rinzafo, oppure altri non prevedono il rinzafo con copertura totale ma solo uno strato al 60% sopra il quale applicare un primo strato antisale macroporoso (spessore 15 mm) ed uno di risanamento sempre macroporoso (spessore minimo 20 mm).

Nel caso di spessori di malta maggiori di 30-40 mm potrà essere consigliabile inserire una rete di supporto così da evitare l'insorgenza di fessurazioni; preferibilmente sarà montata una rete in polipropilene (PP) bi-orientata a maglia quadrangolare (ad es. 30x45 mm) caratterizzata da totale inerzia chimica, elevate doti di deformabilità (? 13%) e leggerezza (peso unitario 140 g/m<sup>2</sup>), si ricorda che pannelli di rete adiacenti dovranno essere posati in modo da garantire almeno una sovrapposizione di due maglie.

Nel caso sia prevista l'applicazione dell'intonaco macroporoso soltanto su di una porzione di parete (ad es. per 150 cm), la linea di giunzione tra i due intonaci si potrà rivelare, nel tempo, un elemento critico: le diverse composizioni degli intonaci potrebbero far nascere cretti o piccole fessurazioni che demarcherebbero il nuovo intervento; si potrà cercare di ovviare a questo inconveniente mettendo sia in opera intonaci il più simile possibile (sia come leganti, sia come inerti) a quelli preesistenti sia posizionando, lungo la linea di giunzione



(per un'altezza di circa 30-40 cm) una rete antifessurazione in polipropilene a maglia quadrangolare (ad es. 13x16 mm), le bande di rete potranno essere semplicemente appoggiate sulla malta ancora fresca procedendo dall'alto verso il basso, ed in seguito annegate con l'aiuto di un frattazzo o di una spatola; sarà oltremodo consigliabile sovrapporre eventuali teli adiacenti per un minimo di 10 cm.

#### *Applicazione di intonaco termodepressurizzante*

Messa in opera di intonaco termodepressurizzante (tipo Novomur), dotato di una struttura alveolare a cellula aperta macroporosa, diffusa nella massa, le cui cavità sono circondate da uno scheletro termoisolante che le mantiene distanziate, proteggendone le superfici interne. Gli alveoli, comunicanti fra loro attraverso una fitta rete di micropori, assicurano, quasi per aspirazione, il trasporto dell'umidità verso gli alveoli più grandi, da cui viene vaporizzata. L'effetto depressurizzante è dovuto al fatto che nello spessore dell'intonaco viene a crearsi un'elevatissima quantità d'aria di contatto con l'aria esterna tale da formare dei microvortici, i quali ispirano vapore permettendo che il prosciugamento si raggiunga anche in presenza di un processo di umidificazione continuo come potrebbe essere un muro contro terra. L'applicazione di questo specifico intonaco farà sì che l'umidità incorporata nello spessore si sposti, a flusso continuo, verso i lati caldi, dove verrà ispirata e vaporizzata dalla massa termica depressurizzante, fino a completo esaurimento. Il processo di deumidificazione continua si stabilizzerà così alla base del muro, impedendo la risalita sia dell'umidità, sia dei sali; in questo modo la muratura non verrà più umidificata dalle acque disperse e tanto meno sfaldata dai sali. Questo specifico intonaco ha la capacità di adempiere a più funzioni contemporaneamente: mantenere l'ambiente sano e la muratura costantemente asciutta e integra, perfettamente isolata termicamente ed acusticamente, evitando al tempo stesso la proliferazione di batteri.

La procedura operativa prevede le seguenti fasi esecutive:

- asportazione intonaco (si veda quanto descritto all'articolo "Applicazione di intonaco macroporoso");
- pulizia della superficie (si veda quanto descritto all'articolo "Applicazione di intonaco macroporoso");
- messa in opera di primer: previa abbondante bagnatura del supporto murario con acqua pulita si procederà applicando una "schizzata" con malta molto fluida composta da calce idraulica naturale, renone, acqua e ancorante, ossia resina acrilica emulsionata in acqua (rapporto acqua-resina: 10 l di acqua/1/kg di resina);
- messa in opera di intonaco termodepressurizzante: previa esecuzione di guide, eseguite con il materiale stesso o con listelli di legno, si procederà a stendere il prodotto a grosse mestolate, l'una vicina all'altra. L'applicazione può essere eseguita in una sola passata sino a 3 cm di spessore, spessori più consistenti dovranno essere applicati in più passate, in ogni caso la sovrapposizione della malta potrà essere effettuata dopo 24 ore.

Al fine di non rompere gli alveoli creatisi all'interno della massa dovranno essere prese delle precauzioni operative, ossia:

- le sporgenze della malta dovranno essere tagliate con la sola cazzuola;
- in fase di tiraggio non si dovrà "ringrossare" l'arricciatura;
- si dovrà assolutamente evitare di "schiacciare" la malta;
- non si dovrà impiegare il frattazzo per lisciare la superficie arricciata ma dovrà essere esclusivamente staggiata immediatamente dopo l'applicazione, altrimenti tenderà a strappare, pertanto non sarà consigliabile stendere la malta in una sola volta su una vasta superficie, ma sarà bene procedere a tratti di 70/80 cm alla volta. La staggiatura dovrà essere eseguita con riga metallica, azionata lentamente a zig-zag dal basso verso l'alto: se successivamente alla staggiatura alcuni punti dovessero rimanere sotto livello, si potrà ingrossare l'arricciatura; questa operazione dovrà essere eseguita con estrema cautela in quanto si potrebbe incorrere nel cedimento dell'intera massa. La seconda staggiatura potrà essere eseguita con riga di legno al fine di rendere la superficie ruvida, pronta per ricevere il velo di finitura.

Il velo di finitura non dovrà contenere cemento né altri leganti resinosi ma dovrà essere composto solo da grassello di calce ben stagionato e sabbia. Il velo potrà essere applicato dopo minimo 48 ore su spessori medi di 2-3 cm e dopo 5-6 giorni su spessori alti 4-7 cm; così come lo strato di finitura, anche la tinteggiatura finale non dovrà contenere leganti resinosi ma dovrà essere a base di calce o, in alternativa, al silicato di potassio.

#### *Specifiche sui materiali*

L'intonaco termodepressurizzante dovrà presentare le seguenti caratteristiche tecniche:

- coefficiente di resistenza al vapore  $\mu = 5,3$  per spessore di 2,5 cm;
- coefficiente di velocità di trasmissione del vapore = 370 gr al giorno/m<sup>2</sup>;
- conducibilità termica  $\lambda = 0,045$  Kcal/hm°C;
- peso specifico apparente 150kg/m<sup>3</sup>;
- resistenza alla compressione 12 kg/cm<sup>2</sup> dopo 30 giorni.

#### *Formazione di barriera chimica idrofobizzante*

L'intervento si pone l'obiettivo di interrompere la risalita dell'umidità trasmessa dalle parti interrato del manufatto, tramite uno sbarramento (mediante impregnazione a lenta diffusione o per iniezione a bassa pressione) di natura chimica continua, orizzontale e/o verticale, capace di impedire l'infiltrazione capillare d'acqua. Questa procedura basa il suo funzionamento sul fatto che l'altezza della risalita d'umidità dipende dalla tensione superficiale delle pareti degli alveoli presenti all'interno dei materiali da costruzione. L'intervento sarà praticabile su qualsiasi tipo di muratura (ad eccezione, forse, di quelle a secco dove sarà consigliabile intervenire, con tecniche e con impregnanti diversi, sul contorno piuttosto che nel riempimento), sia fuori terra, sia interrata, in qualsiasi periodo dell'anno, salvo tenere presente che, a basse temperature, i tempi di indurimento dei formulati possono aumentare anche del 50%. La procedura operativa prevederà le seguenti fasi esecutive:

#### *Indagine preventiva*

Prima di procedere all'impregnazione della muratura dovranno essere appurati vari fattori: la conformazione delle malte presenti, l'omogeneità della struttura, la misurazione indicativa del livello di umidità e l'analisi chimica dei materiali e dei tipi di sali eventualmente presenti; alcuni di essi potrebbero, infatti, influire negativamente nella deumidificazione e, in ogni caso, sarà opportuno eliminarli trasformandoli da idrosolubili in solubili.

Al fine di riuscire ad individuare la linea di perforazione sarà conveniente conoscere la differenza di quote tra interno ed esterno. Il livello sarà segnalato ad un'altezza pari a circa 15-20 cm sopra la quota 0,00 che coinciderà con quella rilevata più alta; l'andamento di tale livello potrà essere orizzontale, verticale od obliquo a seconda dei casi specifici e delle prescrizioni di progetto. Prima di eseguire le forature sarà opportuno accertarsi che la porzione di muratura interessata dall'intervento presenti uno spessore costante; in caso contrario sarà necessario segnare sulla muratura dove avviene il cambiamento di spessore riportando le eventuali, differenti misure così da poter perforare rimanendo sempre entro i 5-8 cm al di sotto dello spessore del muro.

Andrà, inoltre, accertato che, nella porzione interessata dall'intervento, non siano presenti elementi estranei, come tubazioni od impianti elettrici che potrebbero essere danneggiati con la perforazione, o fessurazioni che favorendo la dispersione del liquido, renderebbero inefficiente l'intervento; pertanto, nel caso di fessurazioni, si procederà al loro ripristino seguendo le procedure indicate negli articoli specifici (la messa in opera di una barriera chimica non arreca alcun mutamento alla statica del manufatto e non esistono riserve per il suo impiego in apparecchi lesionati o sconnessi escluso, ovviamente, la possibilità di insuccesso dell'intervento). Nel caso si debba operare su di una muratura particolarmente disgregata si renderà necessario, prima di iniziare le operazioni di perforazione, consolidare la muratura in modo da garantire il suo equilibrio statico durante e dopo l'intervento. Il consolidamento seguirà i criteri dettati da ogni caso specifico. Se, invece, si tratterà di operare su di una superficie intonacata distaccata o particolarmente degradata, prima di perforare sarà vantaggioso eseguire l'asportazione dell'intonaco, da terra fino a 20-30 cm, sopra la linea di demarcazione delle forature e realizzare una fascia d'intonaco contenitiva per mezzo di malta con struttura molto debole (per es. 300 kg di calce idrata per 1,00 m<sup>3</sup> di sabbia) in modo da poter essere rimossa con estrema facilità alla fine dell'operazione.

#### Perforazione della muratura

La muratura verrà perforata, con l'ausilio di un trapano a lenta rotazione a punta lunga, al livello prestabilito (generalmente ad una altezza di 15-20 cm dalla quota più alta dei due pavimenti che delimitano la stessa parete) così da ottenere dei fori perpendicolari alla muratura (iniezione a pressione), ovvero leggermente inclinati verso il basso di circa 20° (lenta percolazione), con un diametro in ragione della dimensione e della tipologia dei diffusori, di norma 10 mm per il sistema a pressione, 15-30 mm per il sistema a percolazione, distanziati tra loro reciprocamente dai 10-12 cm ai 15-25 cm e profondi quanto lo spessore della muratura meno 8-10 cm in caso di diffusione lenta; in caso di diffusione a bassa pressione la profondità sarà limitata a 10-12 cm. Il numero e la distribuzione delle perforazioni e, di conseguenza, la quantità di miscela da immettere seguiranno le disposizioni di progetto; in ogni caso saranno in rapporto alle caratteristiche strutturali, alle dimensioni delle murature, nonché al potere assorbente dei materiali. Per uno spessore di muratura inferiore ai 50-60 cm si potrà sempre realizzare la corsia di fori da un solo lato per una profondità pari a circa l'80% della sezione muraria; per spessori maggiori sarà consigliabile interferire su entrambi i lati lasciando il solito margine di 8-12 cm al fine di evitare la trasudazione del formulato all'esterno.

Se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, le perforazioni saranno eseguite sul materiale (pietra, mattone ecc.) e sul letto di malta se ambedue presenteranno potere assorbente, viceversa solo sui giunti di malta se il materiale sarà particolarmente compatto (ad es. muratura in laterizio pieno: una sola corsia di fori eseguiti nei giunti di malta o nell'elemento in cotto; muratura in elementi lapidei non assorbenti o muratura mista pietra e laterizio: doppia fila di forature eseguite solo nei giunti indicativamente, la prima a 10-12 cm dal piano 0,00 ed una seconda a 20-25 cm). Se il progetto prevede più file di fori, sarà consigliabile che queste siano disposte a quinconce, così da avere una sorta di maglia triangolare che potrà assicurare uno sbarramento continuo ed uniforme; particolare attenzione dovrà essere fatta dove la muratura presenti lesioni o soluzioni di continuità. In presenza di murature umide controterra sarà consigliabile praticare le perforazioni in verticale fino a superare circa 50-60 cm la quota di livello del terrapieno. Terminata l'operazione di perforazione dovrà, necessariamente, essere eseguita la pulitura dei fori da eventuali residui mediante aria compressa o scovolini.

Il fissaggio del diffusore o degli ugelli di iniezione (secondo la tecnica prescelta) alla muratura sarà realizzato in modo da ovviare l'eventuale fuoriuscita del liquido, con l'ausilio di una malta a presa rapida a base di calce idraulica esente da sali oppure con apposita guarnizione di tenuta. terminate le operazioni di iniezione si procederà alla rimozione degli iniettori presenti all'interno della muratura ed all'asportazione del materiale utilizzato per l'adesione dei diffusori alla muratura.

#### Specifiche sul liquido idrofobizzante

La tipologia dei formulati impregnanti è varia (silossano oligomero in solvente alifatico dearomatizzato, microemulsione silossanica in solventi eteropolari idrolizzati, silano in acqua demineralizzata ecc.); le caratteristiche che accrediteranno una buona miscela idrofobizzante dovranno essere:

- bassa tensione superficiale, bassa viscosità, basso peso specifico e buon potere bagnante al fine di conferire la massima facilità di penetrazione del liquido nella muratura;
- bassa velocità di polimerizzazione e capacità di polimerizzazione anche in presenza di acqua per consentire un rapido funzionamento della barriera ed evitare che, nel tempo successivo all'operazione, agenti estranei ne disperdano l'efficacia;
- valore di pH nullo, assenza di componenti tossici, nessuna efflorescenza in asciugatura.

In ogni caso i formulati dovranno rispettare i requisiti richiesti dalla Raccomandazione NorMaL 20/85.

#### *Attivazione barriera chimica mediante lenta diffusione*

La tecnica sarà caratterizzata dalla lenta immissione del formulato prescelto introdotto all'interno della muratura mediante dei trasfusori, composti, generalmente, da tre elementi: un recipiente graduato (a tasca, a bicchiere ecc.) dove verrà contenuto e misurato l'impregnante, un tubo iniettore, munito di regolatore di flusso, e "gommini diffusori" (in spugna sintetica, cellulosa pressata ecc.), talvolta è lo stesso tubo iniettore a compiere anche la funzione di diffusore.

Il formulato idrofobizzante potrà essere immesso, seguendo le disposizioni di progetto, in più riprese, impregnando, in genere, murature porose in poche ore, mentre quelle più compatte, saranno saturate in poco più di 24 ore. La procedura diventerà "operante" come idrofobizzante dopo circa 24-48 ore in ambienti molto aerati mentre, in ambienti chiusi o con poca ventilazione, il tempo di completa polimerizzazione si potrà dilatare per qualche settimana (fino ad arrivare ad oltre un mese) in funzione del grado di umidità relativa e della sezione della muratura.

#### *Attivazione barriera chimica mediante iniezione a pressione*

La tecnica sarà caratterizzata dall'impregnazione della muratura con il formulato idrofobizzante prescelto utilizzando un sistema di iniettori di rame (ca. // 10 mm) muniti di valvola di tenuta, collegati ad un compressore a bassa pressione (ca. 1-2 atm, nella fase conclusiva si potrà salire fino a 3-4 atm). In una muratura a mattoni compatti si potrà operare con pressioni di 4-5 atm; in quelle in pietra compatta, dove le iniezioni verranno eseguite nei letti di malta, non si dovrà superare le 2 atm; in ogni caso il formulato sarà immesso, in più cicli, che non dovranno superare i 40-45 secondi, così da evitare il pericolo di creazioni di fessurazioni nell'apparecchio murario. La quantità di liquido introdotto sarà in funzione dello spessore e della tipologia della muratura nonché del grado di umidità presente; in ogni caso, senza che si verifichino perdite non attese, potrà rifarsi a circa 0,5 l per metro lineare/cm di spessore. Nell'eventualità di murature di rilevante spessore (e se previsto dagli elaborati di progetto) l'iniezione potrà essere eseguita con applicazione progressiva avvicinando la perforazione all'iniezione, estendendo la profondità dei fori non appena la sezione di parete trattata si dimostrerà saturata: in questo modo si impregneranno sezioni di muro sempre più profonde.

Per le superfici intonacate removibili

Eliminazione dell'intonaco degradato

Dopo aver eseguito il trattamento sarà opportuno rimuovere le superfici intonacate fino al vivo delle murature, (almeno 30/50 cm sopra il segno lasciato dall'umidità di risalita) al fine di agevolare l'asciugatura delle pareti dopo l'intervento; il ripristino dell'intonaco potrà avvenire solo dopo aver controllato il livello di umidità e dopo che la muratura si sia asciugata (minimo due settimane). Per maggiori specifiche sull'asportazione dell'intonaco si rimanda alla procedura specifica.

#### *Ripristino intonaco*

Previe operazioni preliminari di pulitura ed eventuale trattamento con primer antisale si opererà il ripristino di idoneo intonaco macroporoso al fine di completare l'operazione di deumidificazione. (Per maggiori specifiche si rimanda a quanto detto riguardo alla procedura sull'applicazione di intonaco macroporoso).

Superfici intonacate non removibili

Pulitura e consolidamento intonaco

Nel caso in cui le superfici intonacate non potranno essere asportate (per es. per la presenza di affreschi o decorazioni da tutelare) si opererà una desalinazione localizzata mediante impacchi assorbenti (carta giapponese o polpa di cellulosa ed acqua deionizzata) dopodiché si procederà con il consolidamento della superficie intonacata. (Per maggiori specifiche si rimanda a quanto detto riguardo alle procedure di consolidamento di superfici intonacate).

Avvertenze: generalmente si rivelerà difficile verificare se il materiale trasfuso abbia realmente impregnato, in modo omogeneo e tale da renderlo idrofobo, l'intero strato orizzontale di muratura oggetto di intervento; in ogni caso sarà da tenere presente che la sola riduzione, anche elevata della sezione assorbente, non impedirà all'acqua di risalire attraverso la strozzatura. Pertanto o l'intercettazione dell'umidità da risalita capillare sarà ottenuta al 100% della sua sezione orizzontale o, nel tempo, potranno apparire di nuove patologie legate all'umidità, anche se rallentate ed in misura inferiore.

In caso di perdite di liquido idrofobizzante sul pavimento o su altre superfici di finitura si dovrà provvedere all'immediata pulitura; sarà, pertanto, buona norma stendere della segatura od altro materiale assorbente alla base del muro su entrambi i lati della perforazione prima di iniziare la procedura operativa.

#### *Formazione di barriera elettrosmotica*

L'intervento si pone l'obiettivo di prosciugare la muratura in maniera diffusa e basa la sua tecnica sull'inversione del fenomeno fisico dell'elettro-osmosi, per mezzo di una differenza di potenziale elettrico tra due masse liquide separate da un corpo poroso quale può essere la muratura. Il terreno agisce, normalmente, da polo positivo pertanto, le forze elettro-osmotiche tenderanno a trasportare le molecole d'acqua verso il muro, che agisce da catodo (polo negativo): l'intervento realizzerà l'inversione di polarità, trasportando il polo negativo nel sottosuolo ed il polo positivo (anodo) nella muratura da risanare. La procedura, di norma, troverà buona applicabilità in tutti quei casi in cui sarà necessario abbassare in modo consistente il contenuto d'acqua presente in materiali porosi. Mediante questa procedura operativa si potrà diminuire, nei materiali a grande assorbimento (ad es. murature in tufo), il contenuto d'acqua sino al 25%; al contrario, in murature di materiali mediamente porosi come i laterizi, i risultati non potranno essere gli stessi (dall'iniziale 30% non si riuscirà a scendere al di sotto del 12-14%). Con un sistema di questo tipo si lasceranno evaporare solo le molecole d'acqua in prossimità della superficie del muro; al suo interno, invece, le correnti d'umidità torneranno per capillarità nel sottosuolo dal quale originariamente provengono.

Barriera elettrosmotica attiva

La procedura prevedrà l'esecuzione di una traccia orizzontale sulla muratura, per un'altezza variabile dai 3 a 30 cm (a seconda del tipo di anodo), nell'intonaco o nei giunti di malta al massimo livello visibile raggiunto dall'umidità all'interno o all'esterno del setto murario o, in alternativa se il progetto lo prevede, la rimozione totale degli intonaci degradati (per maggiori specifiche sulla procedura di rimozione intonaco si rimanda all'articolo specifico).

Si procederà con il fissaggio orizzontale, all'interno della traccia precedentemente realizzata, del semiconduttore elettrico (polo positivo) che potrà essere costituito da una rete metallica nel caso sia essa stessa conduttrice di corrente o di materiale plastico nel caso in cui la corrente sia attivata mediante una piattina conduttrice fissata sulla sua parte superiore; l'altezza della rete dovrà essere di circa 250-270 mm per uno spessore di 10 mm. In alternativa allorché occorra intervenire in maniera meno invasiva possibile (ad es. sopra capitelli, cornici, pareti affrescate ecc.) si potrà ricorrere ad anodi lineari continui costituiti di poliuretano-carbonio con anima in lega di acciaio-tungsteno, a forma di "stringa" ovvero piattina alta 10-12 mm con uno spessore di 6-8 mm così da poter essere inserita lungo le tracce eseguite nei giunti di malta. La collocazione degli anodi seguirà le disposizioni di progetto, in assenza di queste si potranno localizzare poco sopra la linea di massima risalita (massimo  $h = 250$  cm), lungo tutta l'estensione della muratura da trattare così da creare un circuito elettrico chiuso. Qualora la presenza di umidità superasse l'altezza di 300 cm sarà opportuno installare uno o più anodi supplementari (impianto a cascata) in parallelo alla fascia di base così da garantire la deumidificazione anche della zona murale superiore. Successivamente alla messa in opera delle reti o piattine si procederà all'eventuale ripristino dell'intonaco con impasto macroporoso. Per maggiori dettagli sull'applicazione di intonaco macroporoso si rimanda all'articolo specifico.

Previa esecuzione nel terreno, in prossimità della muratura da trattare, di perforazioni profonde 120-150 cm distanziate tra loro di circa 200-300 cm (distanza strettamente relazionata alla conducibilità elettrica del terreno) si procederà all'inserimento di puntazze di carbonio munite di conduttore vulcanizzato antifiamma con funzione di semiconduttori negativi lunghe circa 50-65 cm e con un diametro di 16-27 cm (in rapporto allo sviluppo dell'anodo) successivamente collegate tra loro al fine di creare un anello a circuito elettrico chiuso.

I due circuiti dovranno essere collegati in parallelo alla centralina di alimentazione attraverso idonei cavi elettrici inguainati. La centralina elettronica digitale (allacciata alla comune rete elettrica di 220 Volt) fornirà al sistema corrente continua ad impulsi con valori che non provocheranno corrosione su metalli ed intonaci; la tensione sarà mantenuta bassa tale da non superare i 2,8 Volt e 2m Ampère d'intensità massima per metro lineare di muro (qualsiasi siano lo spessore e la tipologia della muratura).

Eventuale ciclo di pulitura

Gli eventuali sali che dovessero emergere sulla superficie, generati dall'evaporazione dell'acqua presente nell'intonaco, potranno essere rimossi, secondo i casi specifici, o tramite pulitura dell'intonaco o, dove è consentito, con la rimozione ed il ripristino di un nuovo.

Avvertenze

Occorrerà fare particolare attenzione ad eventuali interruzioni di corrente; in questo caso sarà indicato riattivare l'interruttore di alimentazione magneto-termico localizzato accanto alla centralina. La corretta riuscita dell'operazione si legherà all'esatto posizionamento dell'elettrodo positivo, se introdotto al di sotto del limite orizzontale dell'area umida-asciutta potrà insorgere una parziale stagnazione di acqua di ritenuta presente al di sopra della barriera elettrica. Il sistema potrà essere ripetuto, su di una superficie, più volte, generando il cosiddetto impianto a "cascata" composto da diverse fasce di anodi con relativo circuito; a tale sistema si ricorrerà quando sarà necessario ridurre l'eccessiva ed estesa stagnazione di sali a più livelli (si userà questo sistema in presenza di affreschi).

#### Specifiche

In alternativa alla creazione di un doppio circuito potrà essere impiegato il metodo "ad anello", che consiste nell'installazione di un unico circuito interrato inserito all'interno di una traccia per terra all'esterno o all'interno dell'edificio, senza bisogno di ulteriori tracce nel muro. Dal punto di vista operativo l'intervento si concretizzerà nell'esecuzione a quota zero, ossia alla quota più bassa possibile, di tracce orizzontali anulari (previa loro accurata dissalazione) ove alloggiare elettrodi dispersori positivi, e nel cementare questi con malta resa conduttiva. Dalle suddette tracce partiranno delle puntazze (poli negativi) che saranno inserite, previa perforazione, nel terreno, in modo da creare un campo elettrico diretto verso il basso di valore pari a circa 350 mV per metro lineare. Tale vettore contrasterà quello del campo di forze di risalita capillare che ha stessa direzione ma verso opposto ed intensità pari a circa 100/150 mV per metro lineare. L'impianto sarà gestito da una centralina elettronica autoregolante che verrà collegata alla rete elettrica civile ed erogherà agli elettrodi dispersori corrente elettrica continua a bassissima tensione (circa 4-6 Volt). L'intensità di corrente erogata sarà anch'essa minima (per una muratura di circa 100 m di sviluppo all'inizio e di circa 5 Watt/h) e diminuirà con l'asciugatura del muro, cosicché il consumo, sebbene l'impianto sia costantemente alimentato, si ridurrà entro 3 o 4 mesi a quantità irrisorie (1 Watt/h). La centralina sarà, inoltre, in grado di registrare giornalmente l'intensità di corrente erogata e quindi il processo di deumidificazione, segnalando eventuali anomalie. Va da sé che il potenziale dovrà esser mantenuto per sempre altrimenti la risalita capillare riprenderà la sua azione. L'impianto sarà regolabile e reversibile.

#### *Barriera elettrosmotica attiva non invasiva*

In alternativa al sistema tradizionale di barriera elettrosmotica attiva potrà esser impiegata una tecnologia elettrofisica basata sulla risonanza ad impulsi a bassa frequenza assolutamente non invasiva e totalmente reversibile (tale sistema non prevede, infatti, l'utilizzo di nessun elettrodo o barre conduttrici da fissare nelle pareti). Il sistema prevede l'installazione di una o più centraline, di dimensioni piuttosto ridotte (circa 21x18x12 cm), posizionate, preferibilmente, all'interno della fabbrica e, dove possibile, al di sopra del "fronte di risalita capillare" ossia il limite di migrazione dell'acqua (in ogni caso ad una altezza non superiore ai 250-300 cm dal pavimento); la suddetta centralina sarà alimentata da corrente a 220 V, 50-60 Hz e sarà collegata ad una semplice presa Schuko 16A. Il sistema sopra descritto si autoregolerà in relazione all'umidità di risalita: l'emissione di un debole campo elettromagnetico (intensità campo magnetico: 0,3 V/m; induzione magnetica a 1 cm dall'apparecchio 0,8  $\mu$ T, a 15 cm 0,5  $\mu$ T a 30 cm ininfluyente), che interagisce con il campo elettromagnetico dei dipoli dell'acqua, darà vita ad una forza di tipo elettromagnetico che spingendo i dipoli dell'acqua verso il terreno garantirà l'arresto del movimento ascendente dell'acqua ed il conseguente lento asciugamento della muratura oggetto di intervento (di norma il periodo è variabile da un minimo di 6 mesi a ad un massimo di 36 mesi). La suddetta tecnologia prevede un raggio di azione variabile da un minimo di 9 m ad un massimo di 15 m a livello sferico (ossia a 360°) dal luogo di installazione (l'effetto si estenderà anche nei riguardi delle solette e dei pavimenti).

#### *Barriera elettrosmotica passiva*

Il sistema dovrà essere limitato a costruzioni in mattoni, o pietre arenarie. Previa esecuzione di fori (ca. // 35-40 mm profondità 160-180 cm) inclinati di 45° nella muratura (a circa 80 cm dal piano di campagna) intervallati di circa 50-60 cm, si provvederà all'inserimento di sonde metalliche (ad es. tondini di ferro rivestiti con gomma vulcanizzata, tondini in acciaio inox ecc.) ed al loro successivo inghisaggio con boiaccia cementizia. Il sistema non sarà alimentato da corrente elettrica e sfrutterà il principio del campo elettrico esistente dando vita ad una inversione di poli per corto circuito (terreno polo negativo; setto murario, polo positivo). Questo intervento sarà efficace ma limitato nel tempo, infatti, le sonde metalliche si consumeranno lentamente fino ad annullare le proprie "facoltà".

#### Avvertenze

Attraverso questa tecnica si potrà eliminare solamente quella porzione di acqua che risale la muratura per elettro-osmosi ma non quella che ascende per capillarità; sarà, pertanto, consigliabile coadiuvare questo sistema con l'applicazione di intonaci macroporosi traspiranti alle pareti al fine di migliorare l'evaporazione dell'acqua capillare di risalita (per maggiori dettagli sull'applicazione di intonaco macroporoso si rimanda all'articolo specifico). Un problema connesso a questa procedura sarà costituito dalla polarizzazione degli elettrodi che, a seconda del materiale utilizzato, si potranno deteriorare sotto l'effetto di correnti vaganti, con la conseguente diminuzione della resistenza del circuito dovuta alla loro corrosione.

#### *Tecnica del sifone atmosferico*

La procedura, mossa dalla necessità di aumentare la superficie esterna di evaporazione e ridurre, al tempo stesso, la sezione orizzontale della muratura (così da diminuire la quantità d'acqua trasportata per capillarità) si baserà sul principio che l'aria esterna, più asciutta e, di conseguenza, più leggera di quella che si troverà all'interno del manufatto, salendo all'interno del canale di aerazione sposterà l'aria umida e pesante, accumulata dentro il sifone, verso l'esterno.

L'intervento sarà caratterizzato dalla messa in opera di idonei sifoni prefabbricati (lunghezza variabile dai 10 cm ai 50 cm) di materiale poroso dotati di un canale centrale (realizzato in cotto, plastica ecc.) di forma triangolare, circolare o pentagonale. Questi sifoni saranno alloggiati in fori (eseguiti dall'esterno verso l'interno per una profondità pari a circa la metà dello spessore del muro) di sezione possibilmente rettangolare (dim. medie 70x90 mm) eseguiti a mano o con l'ausilio di apposita carotatrice (minimo // 120 mm). Se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto si realizzerà una fila orizzontale di perforazioni ad una quota non inferiore ai 20-25 cm dal piano di campagna in ragione di 3 per ogni metro lineare di muratura. In presenza di murature particolarmente umide si potrà ricorrere ad una seconda fila parallela di perforazioni così come, in presenza di elevate sezioni, (> 90 cm) sarà vantaggioso disporre, a passo alternato, i sifoni su entrambe le facce della muratura.

L'inserimento dei sifoni all'interno dei fori (fino a toccare la parete interna del foro) avverrà previa creazione di idonea pendenza verso l'esterno (circa 30°) con apposita malta porosa (ad es. un impasto abbastanza asciutto potrà essere composto da: una parte di calce idraulica naturale esente da sali, una parte di sabbia silicea fine lavata 0,5-2 mm, 2 parti di sabbia silicea grossa 2-4 mm). Passato il tempo necessario a far "tirare" la malta si procederà ad introdurre il sifone, inglobandolo nella stessa malta del letto, fino a raggiungere la

parete posteriore del foro che dovrà essere più lungo di 2-3 cm, al fine di sistemare una griglia di protezione, posta con il vertice verso l'alto.

#### Specifiche

In commercio esistono delle cartucce che si basano sul medesimo principio (scambio termico tra la temperatura all'interno del muro e l'aria esterna dell'ambiente) ma presentano il vantaggio di avere dimensioni molto ridotte rispetto al sifone classico (// cartuccia < a 18 mm) e di non fare uso di malta. L'installazione, infatti, si risolverà praticando dei fori (con trapano a sola rotazione munito di punta // 18 mm) della lunghezza di circa 2/3 del muro, con una inclinazione di 25-30° ad una altezza dal piano di calpestio paria a 15-18 cm e distanziati 15-20 cm; previa pulitura della cavità con aria compressa si inserirà la cartuccia dotata di spinotto munito di doppio foro da 4 mm.

#### *Rivestimento impermeabilizzante osmotico*

La procedura in oggetto potrà essere utilizzata al fine di sanare ambienti delimitati da murature sature d'umidità di risalita od a diretto contatto con acqua di falda. Questi tipi di rivestimenti avranno la capacità di occludere i pori della struttura una volta penetrati a fresco al suo interno per pochi millimetri; questo processo consentirà l'impermeabilizzazione del manufatto grazie ad una barriera fisica che impedirà all'acqua di permeare completamente il supporto e, allo stesso tempo, garantirà la traspirazione del muro. L'utilizzo di questo tipo di rivestimenti potrà essere fatto, sia su strutture in calcestruzzo, sia in muratura e, nello specifico, si potranno attuare impermeabilizzazioni di ambienti ai piani terreni, seminterrati, pareti controterra, vasche, vano ascensore e per locali, come ad esempio cucine e bagni, soggetti ad una forte produzione di vapore. Il prodotto si costituirà in genere con un legante idraulico (preferibilmente calce idraulica naturale esente da sali), sabbia di quarzo a granulometria selezionata (0-0,6 mm) ed aggregati pozzolanici e betoniti (caratteristiche medie: resistenza a compressione 26-32 N/mm<sup>2</sup>; resistenza allo strappo 1 N/mm<sup>2</sup>; impermeabilità all'acqua >8 atm; modulo elastico 16000-18000 N/mm<sup>2</sup>; pH 11; tempo di lavorabilità a 20 °C ca. 60 minuti; temperatura di applicazione limite tra +8 °C e +30 °C).

Prima dell'applicazione del prodotto su strutture in calcestruzzo si dovrà provvedere alla rimozione delle parti incoerenti e distaccate; si dovranno, inoltre, scarnificare i nidi di ghiaia, aprire le fessurazioni e provvedere alla loro risarcitura (per maggiori specifiche si rimanda a quanto indicato nell'articolo sulla ricostruzione di copriferro e/o della sezione resistente); a fine operazione si dovrà pulire accuratamente la superficie eliminando oli, polveri ecc. Per realizzare la perfetta continuità tra superfici orizzontali e verticali (ad es. intersezione pavimento-pareti) si renderà necessario creare un idoneo guscio di raccordo tra le due superfici. L'area da impermeabilizzare dovrà essere bagnata a più riprese fino a saturazione (eliminando gli eventuali ristagni con stracci, spazzole o getto d'aria prima dell'applicazione), dopodiché si procederà con la stesura (mediante pennello o spatola) del preparato, a consistenza di boiaccia, eseguita a copertura totale in strati successivi (di norma 3) di 1-1,5 mm per mano (per uno spessore totale di circa 3 mm); la prima stesura dovrà penetrare bene nel supporto e dovrà essere asciutta prima di procedere con la mano successiva (tempo di attesa tra le mani dalle 6 alle 24 ore in ragione della temperatura e dello spessore dello strato applicato). Particolare cura dovrà essere fatta nell'applicazione del materiale in prossimità degli angoli e degli spigoli, infine, a presa avvenuta, si liscerà con la pennellina la superficie in modo da chiudere le eventuali porosità ed ottenere, così, uno strato uniforme.

Per quanto concerne le strutture in muratura (laterizio, tufo ecc.) prima di procedere con l'applicazione del legante osmotico si dovrà provvedere alla pulizia della superficie rimuovendo da questa qualsiasi traccia di rivestimento (intonaco, vernici o pitture) mediante procedura indicata dagli elaborati di progetto (per maggiori specifiche si rimanda a quanto indicato negli articoli inerenti le puliture) e, se necessario, si opererà un consolidamento delle parti friabili o distaccate; inoltre anche in questo caso, sarà consigliabile realizzare un raccordo curvo tra parete e pavimento. Per le superfici in muratura, previa abbondante bagnatura delle stesse, si procederà applicando una prima mano di boiaccia osmotica con funzione di primer dopodiché, sul fresco, al fine di ottenere un supporto piano ed omogeneo, verrà applicato un intonaco costituito da una malta a base di calce idraulica naturale, sabbia silicea vagliata, eventualmente additivata (al fine di migliorare l'aggrappaggio) con lattice di polimeri acrilici (ad es. 1 parte di calce idraulica, 2 parti di sabbia, 0,4 parti di resina) per uno spessore minimo di 2 cm ed eventualmente armata con rete in polipropilene; dopodiché la procedura seguirà le fasi operative precedentemente indicate per il calcestruzzo.

#### Specifiche

Sarà necessario proteggere le superfici d'applicazione fresca dall'insolazione diretta, dalla pioggia e dal vento per almeno le 24-48 ore successive all'ultima applicazione. La procedura, inoltre, non dovrà essere realizzata su supporti gelati in via di disgelo o con rischio di gelata nelle 24 ore successive all'applicazione.

### **13. PROCEDURE OPERATIVE DI CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE**

#### **CONSOLIDAMENTO MURATURE**

##### **OPERAZIONE DI CONSOLIDAMENTO APPARECCHI MURARI**

#### Generalità

Le procedure di consolidamento, per quanto possibile, dovranno essere giudicate compatibili dalla D.L. e dagli organi competenti per la tutela del bene, inoltre dovranno essere riconoscibili e distinguibili dai manufatti originari ed eseguite in modo da garantire una loro, eventuale, reversibilità.

Le procedure che seguiranno daranno le indicazioni, ed i criteri generali, circa le metodologie d'intervento per i consolidamenti statici, mossi dal fine sia di aumentare le caratteristiche di resistenza dei setti murari, sia di ridurre eventuali tensioni indotte nei materiali da forze esterne. Dovrà essere, in ogni caso, interessamento della D.L. fornire, a completamento o a miglior spiegazione di quanto prescritto, delle idonee tavole di progetto munite d'ulteriori e/o diverse indicazioni. Il rilievo del quadro fessurativo costituirà il fondamento essenziale per la corretta impostazione delle adeguate operazioni di salvaguardia e di risanamento statico: il rilievo e il controllo delle lesioni dovranno essere eseguiti con appropriati strumenti al fine di verificare con esattezza se il dissesto sia in progressione accelerata, ritardata o uniforme, oppure se sia in fase di fermo, in una nuova condizione di equilibrio. Nel caso d'avanzamento accelerato del dissesto si potrà rivelare utile un intervento di emergenza attraverso idonei presidi provvisori, in conformità alle disposizioni della D.L. Nel caso, invece, di arresto e di una nuova conformazione di equilibrio sarà doveroso controllare

il grado di sicurezza dello stato di fatto, per operare in conformità della prassi prescritta negli elaborati di progetto; vale a dire protocolli indirizzati a stabilizzare la fabbrica nell'assetto raggiunto, o integrare gli elementi strutturali con consolidamenti locali o generali al fine di preservare, con un conveniente margine, la sicurezza di esercizio. Gli interventi di consolidamento dovranno essere realizzati in quelle porzioni dell'apparecchio murario affette da dissesto (lesione isolata o quadro fessurativo complesso) o caratterizzate da fenomeni d'indebolimento locale quali, ad esempio la presenza di canne fumarie o intercapedini di qualsiasi genere, carenze di ammorsature ai nodi, ecc.

In linea generale gli interventi strutturali sulle pareti murarie, ove sarà possibile, dovranno utilizzare materiali con caratteristiche fisico-chimiche e meccaniche analoghe a quelle dei materiali in opera, o quantomeno il più compatibile possibile.

Opere di presidio (puntelli, centinature e armature provvisionali)

La procedura di consolidamento provvisoria (puntellamento) dovrà, necessariamente, garantire condizioni provvisorie di sicurezza nei manufatti dissestati (ovvero ridotti allo stato di rudere) sia durante l'esecuzione delle indagini preliminari necessarie per redigere il progetto di consolidamento che durante le eventuali successive procedure di consolidamento definitivo. I suddetti lavori di puntellamento dovranno, altresì, assolvere il duplice requisito di efficacia ed economia.

Le opere di presidio saranno eseguite, se non diversamente specificato dalla D.L., o in legname (di norma legname tondo per armature in ragione della sua facile lavorabilità, della sua notevole resistenza e del suo basso peso specifico) o in pali di ferro (tubi "innocenti" uniti con giunti bullonati da preferire al legno qualora la struttura da presidiare sia molto alta rispetto al piano sul quale è previsto il trasferimento dei carichi; il sistema tubo-giunto, inoltre, presentando uno schema strutturale molto chiaro, faciliterà il calcolo della struttura) più raramente in muratura o in c.a.

Gli elementi verranno messi a contrasto con l'organismo murario da presidiare, cercando di evitare la formazione di punti singolari di forza, mediante una diffusione del carico della muratura o ad un'altra struttura muraria in migliori condizioni statiche, oppure all'esterno della struttura muraria sul terreno limitrofo. Nel primo caso si renderà necessario rafforzare le porzioni circostanti e sottostanti la zona puntellata (ad es. puntellando anche i vani sottostanti fino a quello cantinato ovvero murando i vani sottostanti a quello presidiato) così da evitare che il trasferimento dei carichi su una muratura, che potrebbe essere di per sé già non in perfette condizioni statiche, provochi in questa dissesti con eventuali ripercussioni a catena.

La struttura di contrasto a diretto contatto con l'apparecchio murario da sostenere con il puntellamento dovrà essere costituita, se non diversamente specificato dalla D.L., da un tavolato ligneo (se non diversamente specificato, di spessore 30-40 mm) in ragione della migliore adattabilità che questo materiale presenta ad una qualsiasi superficie; qualora la superficie da presidiare fosse particolarmente delicata ovvero decorata con pittura ad affresco o con altra tecnica pittorica o presentasse superfici a mosaico sarà necessario anteporre al tavolato ligneo uno "spessore" di materiale soffice, quale ad esempio gommapiuma od altro materiale ritenuto idoneo dalla D.L.

I puntelli che svolgeranno un'azione di sostegno (per "resistere" a carichi verticali o spostamenti verticali che la struttura subisce a causa del dissesto come ad es. cedimenti di fondazione, rotture di architravi ecc.) di strutture orizzontali (solai, davanzali, travature ecc.) saranno costituiti da ritzi verticali (candele capaci di reagire, senza deformarsi, a sforzi normali) posti a contrasto con la struttura e da traversi che contrastino, a loro volta, l'eventuale slittamento dei ritzi; in alternativa ai puntelli lignei potranno essere utilizzati anche elementi metallici a "T", ovvero i cosiddetti ritzi di cantiere ("cristi") normalmente impiegati per sostenere la messa in opera di orizzontamenti piani. I puntelli di sostegno potranno anche essere costituiti da aste inclinate (ad es. per la messa in opera di fascio radiale per contrastare, in posizione di sostegno, i cedimenti e le deformazioni di volte e di archi) la cui inclinazione sarà variabile in ragione alla disponibilità di spazio, all'altezza, alla massa della parete ovvero dell'elemento da sostenere e allo sforzo cui sarà sottoposto. Prima di predisporre questo particolare presidio provvisoriale si renderà indispensabile accertare la sola verticalità delle azioni deformative in quanto una puntellatura di solo sostegno, in presenza di moti traslatori di natura diversa, potrebbe arrecare essa stessa danni ulteriori alle strutture.

Nel caso in cui le strutture di presidio dovessero assolvere l'azione di ritegno di strutture verticali (per fronteggiare movimenti di traslazione orizzontale, in presenza o meno di rotazione quali, ad esempio, ribaltamento di pareti) potranno essere costituite da aste inclinate a testa semplicemente aderente; al fine di evitare lo scorrimento del puntello sull'apparecchio murario sarà necessario che l'angolo d'inclinazione dell'asta non sia maggiore dell'angolo d'attrito tra la muratura e la stessa asta. Allorché la testa del puntello sia posta molto in alto, il puntello dovrà necessariamente diventare una struttura reticolare (in questo caso sarà preferibile utilizzare un sistema tubo-giunto in luogo di puntelli lignei), così da limitare la lunghezza libera di inflessione degli elementi che lo compongono. Al fine di evitare rischi che potrebbero arrecare danni alla stabilità ed alla integrità degli edifici limitrofi dovrà essere, dove possibile, evitata la messa in opera di dispositivi orizzontali ed inclinati a contrasto con manufatti prospicienti.

Nel caso in cui il puntello sia tenuto a impedire lo spanciamiento di una parete sarà necessario che esso venga posto in modo che il suo asse incontri la spinta in mezzeria del maschio murario, così da eludere effetti flessionali sul maschio stesso. In questa specifica situazione il puntello sarà soggetto ad un carico uguale alla componente orizzontale della spinta.

Qualora le opere di presidio dovessero svolgere la doppia funzione di sostegno e ritegno (per contrastare stati in cui ai carichi verticali si uniscono spinte di archi e volte che tendono al ribaltamento del muro) sarà necessario predisporre puntelli con disposizione inclinata e con innesti tesi a contrastare sia movimenti di traslazione verticale sia di rotazione.

I puntelli semplici e doppi potranno essere impiegati singolarmente, in coppia ovvero in gruppo connessi con elementi trasversali e di controventatura, così da presidiare porzioni di manufatti anche molto ampie.

In linea generale i puntelli dovranno soddisfare le seguenti condizioni:

- alleviare la struttura di parte del carico; questa quota di carico potrà, in caso di emergenza, essere stimata con semplici considerazioni intuitive che normalmente dovranno tener conto della natura, della gravità e dell'estensione del dissesto, nonché del rapporto tra pieni e vuoti della muratura sovrastante e sottostante il punto di azione del puntello;

- essere rigidamente vincolati alle strutture da presidiare con l'estremità (testa) e con l'altro estremo (piede) ad una base di appoggio (interna od esterna alla struttura) capace di ricevere l'azione assiale del puntello senza deformarsi. Al fine di assolvere la suddetta condizione occorre predisporre per la testa dei cunei lignei (biette) di essenze dure, al fine di mettere in forza i puntelli, mentre per il piede si predisporrà una adeguata piastra di distribuzione (fondazione) così da evitare che un eventuale cedimento del terreno provochi la perdita di contrasto da parte del puntello; la base, che dovrà risultare normale ai puntelli, potrà essere costituita da travi o assiti lignei (2 o più, spessore minimo di ogni tavola 30-40 mm) normali tra loro, il puntello sarà vincolato al tavolato mediante gattello ligneo con chiodatura alla "traditoria" ovvero con picchetto ligneo incastrato nel terreno e legato con fasciatura metallica. Nel caso in cui i puntelli scarichino direttamente su terreni incoerenti o molto irregolari in superficie, sarà preferibile predisporre una fondazione in muratura o in c.a.;

- essere stabili sia alla compressione che alla pressoflessione;

– essere costituiti da materiale avente caratteristiche termiche ed igrometriche analoghe a quelle delle strutture da presidiare così da non vanificare la validità del puntellamento ovvero arrecare degrado alle parti da restaurare.

I sistemi di puntellamento delle strutture voltate o arcuate (centinature provvisorie) varieranno secondo il tipo di struttura e di dissesto, di norma si seguiranno i seguenti criteri:

- a) per le volte a botte le centinature dovranno essere disposte su piani paralleli e perpendicolari alle loro generatrici;
- b) per le volte a padiglione si disporranno due centine principali lungo gli spigoli e le altre su diversi piani verticali passanti per la chiave della volta e diretti perpendicolarmente ai lati del perimetro di base;
- c) per le volte a crociera si dovrà predisporre l'armatura su ciascuna delle volte a botte da cui origina; si metteranno in opera quattro centine perimetrali unite da due centine diagonali, disposte secondo gli spigoli risultanti dall'intersezione delle due botti;
- d) per le volte a vela si disporranno quattro centine perimetrali al fine di sostenere gli archi di imposta, ad esse si uniranno altre centine centrali, di norma disposte radialmente a sostenere l'intradosso della volta;
- e) per le cupole le centine prenderanno di norma la forma di ampie incastellature, controventate in diverse direzioni e sorrette da numerosi candele e puntelli.

In linea generale non si dovrà puntellare mai la chiave se cede una spalla così come mai i reni se si prevede di rimuovere i rinfianchi.

Specifiche sui campi di applicazione

Le opere di presidio potranno essere messe in opera, a seconda delle esigenze, per demolizioni totali o parziali, per rimozioni, per consolidamenti in opera, nonché per eludere crolli improvvisi ovvero messa in sicurezza di masse murarie (solai, davanzali, volte, portali) o di terreno, per ritenimento di murature soggette a movimenti deformanti ed infine per assicurare l'integrità fisica degli addetti.

Avvertenze

Nel caso non ci siano le condizioni per affrontare una progettazione accurata del sistema di puntellamento sarà necessario demandare alla prassi esecutiva corrente la messa in opera del puntellamento provvisoriale, in questo caso dovrà essere obbligatorio far svolgere i lavori di presidio sotto il continuo controllo da parte del Tecnico incaricato del consolidamento definitivo.

Non di rado le opere di presidio saranno lasciate in opera per molto tempo, per tale motivo si renderà necessario predisporre adeguate protezioni al fine di evitare che le armature ovvero i puntelli possano deteriorarsi e/o perdere la loro efficacia e di conseguenza diventare essi stessi causa di nuovi dissesti per le strutture. Le opere di presidio dovranno, altresì, essere in grado di non trasmettere improprie sollecitazioni sia al manufatto oggetto di intervento sia a quelli limitrofi. Particolare attenzione dovrà, infine, essere fatta nella fase di rimozione delle armature di sostegno le quali dovranno essere "munite" di idonei dispositivi (ad es. cunei lignei) che, se in precedenza sono stati utili al fine di posizionare e controllare la messa in opera delle stesse, si rileveranno altresì utili per agevolare le operazioni di disarmo.

#### *Ricucitura delle murature mediante sostituzione parziale del materiale (scuci e cucì)*

L'operazione di scuci e cucì consisterà nella risarcitura delle murature per mezzo della parziale sostituzione del materiale; le murature particolarmente degradate, al punto da essere irrecuperabili ed incapaci di assolvere la funzione statica, ovvero meccanica, saranno ripristinate con "nuovi" materiali compatibili per natura e dimensioni. L'intervento potrà limitarsi al solo paramento murario oppure estendersi per tutto il suo spessore. La scelta del materiale di risarcitura dovrà essere fatta con estrema cura, i nuovi elementi dovranno soddisfare diverse esigenze: storiche (se l'intervento fosse operato su strutture monumentali), estetiche e soprattutto tecniche; dovrà essere compatibile con la preesistenza per dimensioni (così da evitare discontinuità della trama muraria e l'insorgenza di scollamenti tra la parte vecchia e quella nuova) e per natura (una diversità di compattezza potrebbe, ad esempio, implicare un diverso grado di assorbimento con conseguente insorgenza di macchie). Laddove le circostanze lo consentiranno, potrà essere conveniente utilizzare materiale recuperato dallo stesso cantiere, (ricavato, ad esempio, da demolizioni o crolli) selezionandolo accuratamente al fine di evitare di riutilizzare elementi danneggiati e/o degradati. Prima di procedere con l'operazione di scuci e cucì si dovrà realizzare un rilievo accurato della porzione di muratura da sostituire al fine di circoscrivere puntualmente la zona da ripristinare dopodiché, dove si renderà necessario, si procederà alla messa in opera di opportuni puntellamenti così da evitare crolli o deformazioni indesiderate.

La porzione di muratura da sanare verrà divisa in cantieri (dimensionalmente rapportati alla grandezza dell'area interessata dall'intervento di norma non più alti di 1,5 m e larghi 1 m) dopodiché si procederà (dall'alto verso il basso) alternando le demolizioni e le successive ricostruzioni, in modo da non danneggiare le parti di murature limitrofe che dovranno continuare ad assolvere la funzione statica della struttura. La demolizione potrà essere eseguita ricorrendo a mezzi manuali (martelli, punte e leve) facendo cura di non sollecitare troppo la struttura evitando di provocare ulteriori danni; ad asportazione avvenuta la cavità dovrà essere pulita con l'ausilio di spazzole, raschietti o aspiratori, in modo da rimuovere i detriti polverulenti e grossolani (nel caso sia necessario ricorrere ad un tipo di pulitura che preveda l'uso di acqua l'intervento dovrà attenersi alle indicazioni specificate negli articoli inerenti le puliture a base di acqua). La messa in opera del materiale dovrà essere tale da consentire l'inserimento di zeppe in legno tra la nuova muratura e la vecchia sovrastante, da sostituire, solo a ritiro avvenuto, con mattoni pieni (ovvero con materiale compatibile) e malta fluida. La malta di connessione, se non diversamente indicato dagli elaborati di progetto, potrà essere una malta di calce idraulica naturale NHL 5 (o in alternativa una malta NHL-Z 5) con inerte costituito da sabbia silicea, cocchiopesto e pozzolana vagliati e lavati (rapporto legante inerte 1:2 o 1:3). Se espressamente indicato dagli elaborati di progetto, l'intervento di scuci e cucì potrà essere denunciato così da tutelare la stratigrafia stessa dell'edificio, realizzando la nuova porzione di muratura in leggero sottosquadro o soprastquadro, tenendo presente però che la non complanarietà delle due superfici costituirà una zona facile da degradarsi.

Specifiche

La tecnica dello scuci e cucì non risulterà particolarmente idonea, nonché di difficile esecuzione, per le murature incoerenti (ad esempio strutture murarie in scaglie di pietra irregolare), murature costituite da elementi di elevate dimensioni e murature a sacco.

#### *Consolidamento mediante iniezioni di miscele leganti*

La procedura è indicata, in generale, in presenza di lesioni diffuse e per apparecchi murari in pietra, dove spesso è possibile riscontrare dei vuoti e delle soluzioni di continuità interne presenti fin dall'origine, oppure formatesi a causa di dissesti o fenomeni di alterazione di diversa natura. L'intervento dovrà prevedere una preventiva attenta analisi della struttura al fine di individuare l'esatta localizzazione delle sue cavità, la natura e la composizione chimico-fisica dei materiali che la compongono.

Le indagini diagnostiche potranno essere eseguite attraverso tecniche comuni come la percussione della muratura oppure, ricorrendo a carotaggi con prelievo di materiale, a sondaggi endoscopici o, in funzione dell'importanza del manufatto e solo dietro specifica indicazione, ad indagini di tipo non distruttivo (termografie, ultrasuoni, radarstratigrafie ecc.). In presenza di murature particolari, con

elevati spessori e di natura incerta, sarà, inoltre, obbligatorio attuare verifiche di consolidamento utilizzando differenti tipi di miscele su eventuali campioni tipo, così da assicurarsi che l'iniezione riesca a penetrare fino al livello interessato.

In presenza di murature in pietrame incerto potrà risultare più conveniente non rimuovere lo strato d'intonaco al fine di evitare l'eventuale, eccessivo, trasudamento della miscela legante.

La procedura operativa conterà nell'iniettare una miscela entro fori convenientemente predisposti e presenterà due varianti:

– realizzazione di perforazioni regolarmente distribuite sull'apparecchio murario ed estrusione, ad una pressione variabile, di boiaccia idraulica che, riempiendo le fratture e gli eventuali vuoti (sostituendosi e/o integrando la malta originaria), consoliderà la struttura muraria così da ripristinare la continuità della struttura anche in caso di muratura a sacco;

– realizzazione di perforazioni localizzate solo in zone limitate dell'apparecchio murario (ad es. le ammorsature tra muri d'angolo e di spina, o le strutture voltate ed arcate), con l'aggiunta dell'introduzione di barre in acciaio, seguendo una disposizione configurata a "reticolo", che funziona, nel complesso, come una sorta di cordolo, così da aumentare la resistenza agli sforzi di trazione.

Sarà sconsigliato effettuare qualsiasi procedura di consolidamento o, più in generale, l'utilizzo di prodotti, anche se prescritti negli elaborati di progetto, senza la preventiva esecuzione di campionature pre-intervento eseguite sotto il controllo della D.L.; ogni campione dovrà, necessariamente, essere catalogato ed etichettato; su ogni etichetta dovranno essere riportati la data di esecuzione, il tipo di prodotto e/o le percentuali dell'impasto utilizzato, (in caso di utilizzo di materiali organici dovranno essere segnati gli eventuali solventi e di conseguenza il tipo di diluizione o di concentrazione utilizzato), le modalità ed i tempi di applicazione.

#### *Consolidamento mediante iniezioni non armate*

L'intervento sarà da attuarsi allorché l'apparecchio murario, sottomesso per lungo tempo a dilavamento o percolazione di acque meteoriche, o per la particolare tipologia costruttiva (ad es. a sacco), si presenti con cavità interne. Nessun beneficio si potrà ottenere da questa procedura se il setto murario oggetto di intervento non presenta cavità e fessure grossolane. L'apparecchio murario dovrà, quindi, essere sufficientemente iniettabile, ovvero dovrà presentare una struttura con una appropriata continuità tra i vuoti e, allo stesso tempo, la boiaccia legante dovrà essere pensata in modo da assicurare un'ideale penetrabilità ossia una fluidità atta a rispettare i tempi di esecuzione richiesti. La procedura operativa conterà delle seguenti fasi esecutive.

#### *Preparazione del supporto*

Stuccatura e/o sigillatura, su entrambe le facce della muratura, di tutte le fessure, sconnessioni, piccole fratture dei conci di pietra e/o laterizio e dei giunti di malta, così da avere un apparecchio murario "perfettamente chiuso", capace di ovviare l'eventuale trasudamento esterno delle malte da iniettare: qualora si operasse su murature intonacate sarà necessario accertare l'idoneità del rivestimento per l'esecuzione delle successive fasi; (per maggiori dettagli sulle procedure sopra descritte si rimanda agli articoli sulle stuccature e sui consolidamenti).

In alternativa alla stuccatura, per evitare la fuoriuscita di malta tra le pietre a facciavista, sarà possibile frapporre della stoppa o altro materiale occultante, in seguito removibile.

#### *Esecuzione dei fori*

L'esecuzione di perforazioni seguirà le indicazioni di progetto in base al quadro fessurativo ed al tipo di struttura (in assenza di queste si potranno operare 2-4 fori ogni metro quadrato); detti fori, di diametro opportuno (mediamente sarà sufficiente un diametro di 16-24 mm), saranno eseguiti mediante strumento a sola rotazione, munito di un tagliatore carotiere con corona d'acciaio ad alta durezza o di widia. Negli apparecchi murari in pietrame, i fori dovranno essere, se non diversamente prescritto, perpendicolari alle superfici ma con leggera pendenza (circa il 10%) a scendere verso l'interno, così da facilitare l'introduzione della miscela, eseguiti in corrispondenza dei giunti di malta ad una distanza di circa 60-80 cm in ragione della consistenza del muro, nelle murature in laterizi pieni la distanza tra i fori non dovrà superare i 50 cm. In ogni caso si raggiungeranno risultati migliori con un numero elevato di fori di piccole dimensioni piuttosto che con un numero modesto di grosso diametro.

Sarà necessario eseguire le perforazioni con cura, verificando l'effettiva sovrapposizione, e comunicazione, delle aree iniettate (disposizione a quinconce), tramite l'utilizzo di appositi tubicini "testimone" dai quali potrà fuoriuscire l'esubero di miscela iniettata. I tubicini (con un diametro di circa 20 mm) verranno introdotti per almeno 10-12 cm ed, in seguito, sigillati con la stessa malta di iniezione a consistenza più densa (diminuendo cioè il quantitativo d'acqua nell'impasto). Durante questa operazione sarà necessario evitare che le eventuali sbavature vadano a degradare in modo irreversibile l'integrità degli strati di rivestimento limitrofi; nel caso di fuoriuscite di colature queste dovranno essere celermente pulite mediante spugnette assorbenti (tipo Blitz-fix) imbevute di acqua deionizzata. Al fine di garantire una corretta diffusione della miscela, sarà consigliabile praticare dei fori profondi almeno quanto la metà dello spessore dei muri.

In presenza di spessori inferiori ai 60-70 cm le iniezioni verranno effettuate su una sola faccia della struttura; oltre i 70 cm sarà necessario operare su entrambe le facce; nel caso in cui lo spessore risulti ancora maggiore, o ci si trovi nell'impossibilità di iniettare su entrambe le facce, si dovrà perforare la muratura da un solo lato per una profondità del foro tra i 2/3 e i 3/4 dello spessore del muro e mai di valore inferiore ai 10 cm. In presenza di cortine murarie in laterizio pieno sarà utile prevedere perforazioni inclinate di almeno 40-45° verso il basso fino a ottenere una profondità di 30-35 cm (in ogni caso stabilita in rapporto alla sezione del muro); tale operazione sarà conveniente al fine di ripartire meglio la boiaccia e per rendere partecipi i diversi strati di malta.

Precedentemente all'iniezione (almeno 24 ore prima) dovrà essere iniettata acqua nel circuito chiuso d'iniezione, al fine di saturare la massa muraria e di mantenere la densità della miscela. L'operazione di prelavaggio (eseguita con acqua pura, eventualmente deionizzata) sarà, inoltre, conveniente sia per confermare le porzioni delle zone oggetto d'intervento, (corrispondenti alle zone umide), sia per segnalare l'esistenza d'eventuali lesioni non visibili. Durante la suddetta fase di pulitura-lavaggio si dovranno effettuare, se necessarie, le eventuali operazioni supplementari di rinzafo, stilatura dei giunti e sigillatura delle lesioni.

#### *Iniezione della boiaccia legante*

L'iniezione delle miscele (che, di norma dovranno essere omogenee, ben amalgamate ed esenti da grumi ed impurità) all'interno dei fori dovrà essere eseguita, preferibilmente, a bassa pressione (indicativamente tra 0,5 e 1,5 atm in ogni caso non superiore alle 2 atm) così da evitare la formazione di pressioni all'interno della massa muraria con le conseguenti coazioni con le cortine esterne; inoltre andrà effettuata tramite idonea pompa a mano o automatica provvista di un manometro. Nel caso in cui il dissesto risulterà circoscritto ad una zona limitata sarà opportuno dare precedenza alle parti più danneggiate (utilizzando una pressione non troppo elevata e, se sarà necessario eseguire un preconsolidamento, con boiaccia molto fluida colata mediante imbuto, prima delle perforazioni, in tutti gli elementi di discontinuità presenti nella muratura), per poi passare alle rimanenti, utilizzando una pressione maggiore. Le iniezioni procederanno per file parallele, dal basso verso l'alto, dai lati esterni e, simmetricamente, verso il centro al fine di evitare squilibri di peso ed impreviste alterazioni nella statica della struttura. Il volume di miscela iniettata non dovrà superare i 100-120 l per metro cubo.



Prima verifica della consistenza materica della muratura oggetto di intervento, si inietterà la miscela all'interno degli ugelli e bocchigli precedentemente posizionati, la pressione sarà mantenuta costante fino a quando la boiaccia non fuoriuscirà dai tubicini adiacenti, a questo punto si chiuderà il tubicino e si proseguirà con il foro limitrofo seguendo il piano di lavoro. L'iniezione ad un livello superiore sarà eseguita, se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, solo quando tutti i tubi di iniezione, posti alla medesima quota, risulteranno intasati. Sarà, inoltre, opportuno aumentare la pressione d'immissione in relazione alla quota del piano di posa delle attrezzature. L'aumento potrà essere di 1-2 atmosfere ogni 3-3,5 ml di dislivello in modo da bilanciare la pressione idrostatica. In edifici a più piani le iniezioni dovranno essere praticate a partire dal livello più basso.

In alternativa, e solo dietro specifica indicazione di progetto, si potrà iniettare la boiaccia per gravità; la procedura seguirà le fasi precedentemente indicate per l'iniezione a pressione salvo alcune precisazioni. Questa tecnica dovrà essere preferita a quella a pressione nel caso in cui la muratura risulti in uno stato avanzato di degrado tale da non poter sopportare sovrappressioni o perforazioni. Prima preiniezione di acqua fino a saturazione si procederà a far penetrare la miscela dall'alto attraverso appositi bocchigli ad imbuto localizzati in lesioni o lacune (eventualmente "aiutate" asportando materiale deteriorato). Gli imbuti verranno rabboccati fino a che non si svuoteranno più, la procedura seguirà cantieri orizzontali (di circa 60-70 cm di altezza) dal basso verso l'alto; passate 24-48 ore si rabboccherà nuovamente con la miscela a base di calce idraulica così da saturare le eventuali fessure formatesi per il ritiro; l'utilizzo di additivi antiritiro nelle miscele eviterà, di norma, questo ulteriore passaggio. Nel caso di murature a secco sarà necessario prevedere un ulteriore accorgimento, prima di procedere alla colatura della miscela legante. Le operazioni preliminari prevedranno, salvo diverse specifiche della D.L., oltre alla sigillatura profonda con malta a base di calce idraulica naturale, il posizionamento di guaina di protezione lungo l'apparecchio, la successiva messa in opera di cassaforma di contenimento a distanza di circa 15-20 cm e il successivo riempimento dello spazio tra cassaforma ed apparecchio con sabbia od altro materiale indicato dalla D.L.

Ad indurimento della miscela (dopo circa 2-3 giorni), i bocchigli potranno essere rimossi ed i fori sigillati con malta appropriata (si rimanda a quanto detto negli articoli riguardanti le stuccature).

#### Specifiche sulle miscele

La boiaccia per iniezioni potrà essere composta, se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, da una miscela di sola calce idraulica NHL 3,5 o NHL-Z 3,5 (esente da sali solubili, con l'85% dei granuli di dimensione < a 25  $\mu$ ), calore d'idratazione unitario < di 135 KJ/kg) ed acqua in rapporto variabile da 0,8 a 1,2. Dal momento che, in genere, in una miscela di questo tipo si otterrà la fluidità necessaria per un'efficace iniezione con rapporto legante-acqua superiore ad 1, al fine di evitare eventuali fenomeni di segregazione sarà consigliabile aggiungere alla boiaccia additivi fluidificanti (in misura dell'1-2% rispetto al peso del legante) ed agenti espansivi antiritiro (ad es. polvere di alluminio da 0,2% a 0,3% del totale in peso) al fine di controllare anche gli eventuali fenomeni naturali di ritiro di assestamento in fase plastica (ovverosia nelle prime ore che seguiranno la messa in opera) e di ritiro igrometrico (ritiro che si manifesterà nel materiale indurito, dopo circa 28 giorni e si protrarrà per periodi molto lunghi, di norma sarà ritenuto completato dopo circa 2 anni dalla messa in opera).

In alternativa, potrà essere utilizzata una miscela binaria (da utilizzare in presenza di vere e proprie cavità, specie nei muri a sacco) composta da calce idraulica naturale NHL 2, (o da una calce idraulica pozzolanica ottenuta miscelando calce idrata cotta a bassa temperatura e completamente idrata, con metacaolino anch'esso cotto a bassa temperatura; la calce idrata potrà essere sostituita anche da grassello di calce stagionato minimo 24 mesi) sabbia ed acqua (rapporto legante-acqua 1:3 fino ad 1:5 nel caso di iniezioni per gravità) con l'aggiunta di gluconato di sodio (con funzione fluidificante) e polvere di alluminio (come agente espansivo). La sabbia dovrà essere sempre di granulometria molto fine (< al 35-40% della minima larghezza delle fessure) e, preferibilmente, con granuli arrotondati; in alternativa potrà essere impiegato carbonato di calcio scelto e micronizzato o perlite superventilata (se si ricercherà una boiaccia a basso peso specifico) od ancora, metacaolino ad alta reattività pozzolanica (o polvere di cocciopesto vagliata e lavata) per migliorare le proprietà idrauliche della boiaccia (nel caso di utilizzo di grassello di calce o calce idrata, la carica con caolino, cocciopesto o pozzolana sarà obbligatoria al fine di rendere idraulico il composto); in ogni caso l'inerte sarà il 10% rispetto al peso del legante. La boiaccia, sia se verrà preparata in cantiere, sia se fosse utilizzato un prodotto premiscelato, dovrà presentare le seguenti caratteristiche:

- sufficiente fluidità al fine di penetrare profondamente (svuotamento del cono di Marsh di un litro di miscela in meno di 30 secondi);
- assenza di segregazione e di acqua essudata (blending); la separazione dell'acqua dalla boiaccia determinerebbe, in seguito alla successiva evaporazione, la presenza di vuoti all'interno della massa del nucleo;
- tempo di presa compatibile con quello della lavorazione;
- alto scorrimento;
- sviluppo calore in fase di presa temperatura massima entro i +30 °C;
- dilatazione termica compatibile con quella della muratura originale;
- resistenza caratteristica a rottura per compressione superiore a 12 N/mm<sup>2</sup> dopo 28 giorni;
- peso specifico modesto, inferiore a 1,8 kg/l;
- resistenza ai sali comunemente presenti nella muratura (solfati, ammine);
- modulo elastico allo stato secco comparabile con quello della muratura (3000-6000 N/mm<sup>2</sup>);
- non presentare fenomeni di ritiro che ridurrebbero l'efficacia del contatto.

#### Specifiche materiali premiscelati

Questo prodotto per iniezioni dovrà essere a base di calce idraulica naturale, priva di sali solubili, rafforzata con metacaolino purissimo ad alta reattività pozzolanica (od in alternativa con polvere di cocciopesto) caricata con carbonato di calcio scelto e micronizzato, (o perlite superventilata se si ricerca una malta a basso peso specifico) a cui andranno aggiunti additivi quali ritenitori d'acqua di origine naturale e superfluidificanti al fine di poter iniettare la miscela a bassa pressione. Se non diversamente specificato, l'acqua da utilizzare nell'impasto dovrà essere demineralizzata. Il prodotto non dovrà essere addizionato nella preparazione e posa con nessun altro componente oltre all'acqua di impasto, possibilmente demineralizzata, e non dovrà essere assolutamente aggiunta acqua una volta che avrà iniziato la presa.

Le caratteristiche chimico-fisiche medie dovranno essere: peso specifico 1,4 kg/dm<sup>3</sup>, lavorabilità 2 h; bleeding trascurabile; aderenza 1,4 N/mm<sup>2</sup>; inizio presa a +20 °C; 18 h; fine presa a +20 °C; 72 h; resistenza a compressione a 28 giorni 13 N/mm<sup>2</sup>; resistenza a flessione a 28 giorni 3,5 N/mm<sup>2</sup>; modulo elastico 11000 N/mm<sup>2</sup>; temperatura massima durante l'indurimento < 30 °C; ritiro 0,7-1,2 mm; ritenzione acqua > 70%; permeabilità al vapore 9  $\mu$ .

#### Avvertenze

Non sarà assolutamente consentita, salva diversa prescrizione della D.L., la demolizione d'intonaci e stucchi; sarà anzi necessario provvedere al loro preventivo consolidamento e/o ancoraggio al paramento murario prima di procedere all'esecuzione della suddetta

procedura (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto negli articoli specifici). Il collaudo del consolidamento andrà eseguito dopo 90 giorni dall'esecuzione delle iniezioni.

#### *Consolidamento mediante iniezioni armate*

L'intervento potrà essere attuato strettamente localizzato ed in caso di assoluta necessità quando, ad esempio, si dovranno realizzare efficienti rinforzi localizzati tra le murature d'angolo, ammorsamento di muri ortogonali, ricongiungimenti di parti lesionate ecc. e non si potrà ricorrere all'uso di altre procedure. L'intervento, simile alle iniezioni di miscele leganti, avrà la finalità di assicurare alla muratura, per mezzo dell'utilizzo di cuciture metalliche, un consistente aumento della resistenza agli sforzi di trazione; queste cuciture saranno costituite da armature di lunghezza variabile (circa 2-3 volte lo spessore delle murature), dipendente dal livello di aderenza sia tra malta e barre, sia tra malta e tessitura preesistente, disposte in perfori (// variabile da 32 a 40 mm) alla distanza di circa 40-50 cm l'uno dall'altro, preferibilmente, inclinati (di circa 45°) in successione verso l'alto e verso il basso. L'esercizio svolto dalle armature nei pannelli di muratura, in prevalenza compressi, sarà quello di contenere la deformazione laterale, collaborando ad un miglioramento della resistenza dell'elemento. Nei setti murari non esclusivamente compressi, la presenza dell'armatura potrà partecipare alla resistenza a taglio del setto stesso.

La procedura operativa seguirà le fasi descritte per le iniezioni di miscele leganti ad eccezione che, nei fori di iniezione dovranno essere, preventivamente, inserite barre di acciaio inossidabile ad aderenza migliorata Fe B 44 K (minimo // 12 mm massimo 20 mm), o barre filettate di acciaio AISI 316L, (minimo // 14 mm) munite di distanziatori perimetrali al fine di evitare il contatto diretto con la muratura; lo schema distributivo, l'inclinazione, il calibro e la lunghezza delle barre dovranno essere relazionati alle disposizioni di progetto o indicazioni della D.L., ai dissesti riscontrati dall'esame del quadro fessurativo del manufatto o alle variazioni apportate nel corso dei lavori di restauro agli equilibri dei carichi. L'inserimento di detta armatura avrà lo scopo di fornire resistenza a trazione tra le due cortine esterne della muratura, specialmente nei casi in cui l'altezza di libera inflessione sia tale da poter dar luogo al fenomeno del carico di punta. Al fine di realizzare un promotore d'adesione tra le barre e la malta delle iniezioni si potrà spalmare la superficie dell'armatura con boiaccia anticarbonatante, reoplastica-pennellabile realizzando uno strato continuo di almeno 1 mm.

#### *Avvertenze*

Talvolta potrà essere necessario consolidare preventivamente la muratura mediante semplici iniezioni di boiaccia. In ogni caso questa procedura dovrebbe essere messa in opera, preferibilmente, su murature di buona qualità, in un discreto stato di conservazione prive, però, d'adeguate ammorsature tra le pareti ortogonali. Nei muri di modeste sezioni (30-50 cm) le chiodature non avranno alcun effetto benefico nei confronti del setto murario, in quanto la ridotta lunghezza della barra non permetterà il trasferimento per aderenza degli sforzi tra malta d'inghisaggio ed il ferro. Affinché questo trasferimento avvenga sarà necessario che la barra presenti una lunghezza minima di 40 // o, in alternativa, che sia ancorata risvoltandola all'esterno della muratura ed, eventualmente, collegandola con l'armatura di paretine di malta a ritiro compensato realizzate su una o entrambe le facce del pannello murario.

#### *Specifiche sui materiali*

Le miscele leganti da utilizzare saranno uguali a quelle esaminate per le iniezioni non armate, con l'ulteriore specifica che, in questo caso, dovranno, necessariamente, presentare maggiore capacità di aderenza, antiritiro e resistenza, così da garantire la collaborazione tra armature e muratura, localizzandosi nelle zone più sollecitate.

In alternativa alle barre in acciaio si potranno utilizzare barre pultruse in fibra di aramide, vetro o carbonio con diametro circolare da 5 a 10 mm. Le suddette barre in FRP potranno presentare, se richiesto dagli elaborati di progetto, un'aderenza migliorata ottenuta mediante sabbatura superficiale di quarzo sferoidale e spirallatura esterna. Questo tipo di prodotto dovrà, inoltre, presentare un'elevata durabilità nei confronti di tutti gli aggressivi chimici eventualmente presenti nella muratura o nella malta da iniezione (quali, ad es., idrossidi alcalini, cloruri e solfati). Se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, dovranno essere preferite barre in fibra di vetro o di aramide poiché presentano un modulo elastico più vicino a quello delle murature.

#### *Consolidamento mediante placcaggio di superficie (betoncino armato)*

L'intervento si realizzerà con l'apposizione, su una o possibilmente su entrambe le facce del muro, di lastre verticali di materiale a base idraulica, realizzate in cantiere, opportunamente armate da rete metallica elettrosaldata e rese solidali alla muratura originale con ferri trasversali passanti nel muro.

#### *Lesioni diffuse*

Questa procedura consentirà di migliorare le caratteristiche di resistenza del maschio murario, grazie all'incremento della sezione resistente apportato dalle paretine e dall'effetto di confinamento esercitato sulla muratura degradata. Questa tecnica potrà risultare adatta unicamente su murature particolarmente dissestate (e comunque non caratterizzate da particolari valenze storico-architettoniche) con quadri fessurativi estesi e complessi, e quindi non più in grado di eseguire a pieno la loro funzione statica, ma che in ogni modo dovranno essere mantenute parzialmente o integralmente. Questo sistema di consolidamento, pertanto, dovrà essere utilizzato con le dovute cautele, mai in maniera generalizzata, dietro specifiche prescrizioni di progetto o indicazioni della D.L. e, con il benessere degli organi preposti alla tutela del bene oggetto d'intervento. La procedura operativa conterà delle seguenti fasi esecutive.

#### *Preparazione del supporto*

Dietro specifica autorizzazione della D.L., si procederà alla rimozione dell'eventuale intonaco, dei rivestimenti parietali, delle parti incoerenti ed in fase di distacco, e della malta dei giunti tra gli elementi lapidei o laterizi per una profondità minima di 2-3 cm, fino a raggiungere la parte sana della struttura (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto negli articoli specifici). Le eventuali lesioni andranno ripulite, allargate e spolverate con l'ausilio di aria compressa e strumento aspiratore, nonché stuccate con idonea malta a presa rapida (sarà sufficiente utilizzare un impasto a base di calce idraulica naturale e pozzolana simile a quello utilizzato nelle procedure di stuccatura dei materiali lapidei diminuendo però il quantitativo d'acqua nell'impasto). Successivamente la parete dovrà essere spazzolata e lavata con acqua pulita al fine di rimuovere polveri e depositi incoerenti.

#### *Armatura parete*

Al fine di inserire i connettori trasversali si dovranno eseguire perforazioni, (con strumento a sola rotazione) passanti in senso obliquo se l'intervento riguarderà entrambe le facce, per 3/4 dello spessore del muro qualora la muratura venga trattata su una sola superficie (esterna o interna); il numero dei tiranti potrà variare in relazione alle disposizioni di progetto, tuttavia sarà opportuno non scendere al di sotto dei 2 tiranti al metro quadrato di parete (di norma si utilizzeranno 4-6 spillature al metro quadrato). All'interno di queste perforazioni si collocheranno i tondini di acciaio, lasciandoli sporgere dalla struttura per almeno 10 cm da ogni lato. Le barre saranno del tipo e del diametro indicati dagli elaborati di progetto ovvero ordinati dalla D.L. con un diametro minimo di 4-8 mm; in assenza di specifiche potranno essere utilizzate barre di acciaio inossidabile ad aderenza migliorata Fe B 44 K (in alternativa si potrà

utilizzare acciaio zincato o acciaio precedentemente trattato con boiaccia passivante anticarbonatante per uno spessore minimo di 1 mm). In corrispondenza delle aperture potrà essere omessa la formazione della lastra al fine di non ridurre la luce delle medesime, avendo cura, però, di raddoppiare le legature perpendicolari al piano del muro, disponendole a quinconce.

Una volta stuccate l'eventuali lesioni, fessure o parti di struttura situate sotto i fori con la malta prescritta, si potranno posizionare reti metalliche elettrosaldate (preferibilmente in acciaio inossidabile) su entrambi i lati del muro. Le reti avranno diametro e maglia come specificato negli elaborati di progetto o come ordinato dalla D.L., diversamente potranno essere formate da tondini di diametro 6-8 mm con maglie 100x100 o 150x150 mm risvoltate per almeno 50-100 cm in corrispondenza degli spigoli laterali così da collegare ortogonalmente le nuove pareti armate con le altre strutture portanti. Le eventuali sovrapposizioni di reti dovranno interessare almeno 20 cm ed in ogni caso non meno di due maglie. Una volta posizionata la rete, e fissata con chiodi in acciaio ad "U" o a "J" ( $\varnothing$  4 mm per una lunghezza minima di 18 cm), le barre saranno ripiegate ad uncino di 90° al fine di connetterle alle maglie della rete e realizzare in tal modo il collegamento tra le pareti ed il nucleo della muratura. In alternativa alla rete metallica si potrà posizionare, dietro specifica indicazione di progetto, una rete in polipropilene (PP) bi-orientata a maglia quadrangolare prodotta per estrusione e sottoposta a processo di stiro a temperatura controllata nelle due direzioni (caratteristiche medie: totale inerzia chimica, maglia 40x30 mm, peso unitario 650 g/m<sup>2</sup>, resistenza a trazione nelle due direzioni 40 kN/m, allungamento > 10%);

L'accurata sistemazione dell'armatura dell'intonaco risulterà, per la buona riuscita della procedura, un elemento di particolare importanza, essa, infatti, dovrà essere tenuta separata dal supporto murario per almeno 2 cm, ricorrendo ad idonei distanziatori, in modo da evitare la manifestazione di fenomeni d'instabilità flessionale; per questo motivo sarà necessario disporre la rete in modo che possa trasmettere correttamente gli sforzi alle spillature praticate nel pannello murario.

#### Messa in opera intonaco

Sul setto murario, preventivamente, bagnato abbondantemente con acqua pulita fino a saturazione, così da evitare ogni possibile sottrazione d'acqua al nuovo materiale, verrà applicato uno strato di malta anche in più riprese, (fino a raggiungimento della quota prevista) del tipo prescritto dal progetto o indicato dalla D.L., avendo cura di riempire eventuali vuoti emersi dietro l'armatura metallica, e battendo con frattazzo la superficie trattata prima del tiraggio a liscio con la staggia.

In ogni caso, salve diverse indicazioni di progetto, si dovrà tenere presente che:

- per realizzare spessori inferiori ai 3 cm sarà consigliabile mettere in opera la malta a spruzzo, armata con rete metallica di diametro 4-6 mm con maglia 100x100 mm;
- per realizzare spessori intorno ai 3-5 cm si potrà applicare la malta manualmente, armata con rete metallica di diametro 6-8 mm con maglie 100x100 o 150x150 mm;
- per realizzare spessori superiori ai 5 cm fino ad un massimo di 8-10 cm si dovrà, necessariamente, ricorrere al getto in casseforme armate con rete metallica di diametro 8-10 mm con maglia 100x100 o 200x200 mm.

Lo spessore e la metodologia di posa in opera dovranno essere comparati e pensati in base al degrado della struttura ed al tipo di sollecitazioni cui è stata, e sarà sottoposta la struttura; in ogni caso, potrà essere opportuno eseguire intonaci per uno spessore di circa 4-5 cm.

Al fine di evitare la formazione di fessure e cavillature dovute alla troppo rapida evaporazione dell'acqua d'impasto le pareti dovranno essere tenute umide per almeno 48 ore e protette da vento e/o irraggiamento solare diretto.

#### Specifiche sulle malte

La malta o betoncino da utilizzare dovrà presentare un modulo elastico basso così da limitare eventuali inconvenienti legati all'instabilizzazione per carico di punta. A tal fine si potranno utilizzare malte a base di calce idraulica naturale NHL 3,5 (o calce naturale eminentemente idraulica NHL 5) caricata con inerti a comportamento pozzolanico (ad es. pozzolana, metacaolino, cocchiopesto ecc.), sabbie silicee naturali (granulometria 0,1-2 mm) con l'eventuale aggiunta d'additivi aeranti naturali, fibre minerali inorganiche atossiche (così da ridurre le tensioni generate dall'evaporazione dell'acqua e limitare le fessurazioni da ritiro plastico) ed espansivi minerali (così da controllare il ritiro igrometrico). Le malte (rapporto legante-inerte 1:3) ed i betoncini (rapporto legante-inerte 1:4) a ritiro compensato da utilizzare dovranno, in ogni caso, presentare le seguenti caratteristiche:

- resistenza a compressione a 28 giorni > 18 N/mm<sup>2</sup>;
- modulo elastico a 28 giorni < 15000 N/mm<sup>2</sup>;
- espansione contrastata a 7 giorni > 300 mm/m;
- coefficiente di permeabilità al vapore < 150 (M).

L'utilizzo della calce idraulica naturale o idraulica pozzolanica (calce aerea miscelata a cariche con reattività pozzolaniche), rispetto all'uso del cemento presenterà il vantaggio di ottenere un impasto più plastico e maggiormente lavorabile, inoltre l'uso della calce idraulica garantirà capacità di traspirazione delle pareti.

#### Lesione isolata

Per interventi su lesioni passanti isolate, anche di spessori consistenti, la procedura si potrà limitare esclusivamente alle fasce limitrofe alla lesione (circa 60-80 cm a cavallo della lesione). Le fasi esecutive saranno le stesse enunciate nel paragrafo riguardante il placcaggio dell'intera parete ad eccezione di qualche precisazione.

La rete elettrosaldata zincata ( $\varnothing$  4-5 mm maglia 100x100 mm) dovrà essere messa in opera in strisce di 60-80 cm, posizionate a cavallo della lesione, su entrambi i lati della muratura, tramite chiodatura e collegata con tondini in acciaio inossidabile ad aderenza migliorata ( $\varnothing$  6-8 mm intervallati da circa 40-50 cm) passanti attraverso la lesione, precedentemente scarnita e pulita da parti incoerenti. La malta da utilizzare per risarcire la lesione, salvo diverse prescrizioni della D.L., dovrà essere a base di calce idraulica e, preferibilmente, di tipo espansivo (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto negli articoli specifici). L'esecuzione dell'intonaco dovrà seguire sia le prescrizioni enunciate nel paragrafo sul placcaggio di superficie sia quelle inerenti il rappezzo di intonaco, oververosia al fine di non creare discontinuità materiche superficiali si ricorrerà, se non diversamente specificato, ad una rasatura finale utilizzando impasti simili a quelli esistenti (per uno spessore totale non inferiore ai 3 cm).

#### Lesione d'angolo

Per interventi su lesioni d'angolo, sia ad "L" sia a "T", anche di spessori consistenti, la procedura si potrà limitare esclusivamente alle fasce limitrofe la lesione (minimo 60 cm oltre la lesione per una fascia minima di 80-100 cm). Le fasi esecutive saranno le stesse enunciate nel paragrafo riguardante il placcaggio dell'intera parete ad eccezione di qualche precisazione.

Previa esecuzione delle perforazioni nella parete al fine di alloggiare le barre trasversali di collegamento, si posizionerà la rete elettrosaldata zincata ( $\varnothing$  5-6 mm maglia 150x150 mm), su entrambe le facce del muro, con adeguata sovrapposizione e risvolto minimo di 50 cm in corrispondenza di spigoli verticali. La rete verrà fissata tramite chiodatura e collegata con tondini in acciaio inossidabile ad

aderenza migliorata ( $\parallel$  6-8 mm disposti in maniera più ravvicinata, 35-40 cm, per il primo metro verso il basso e verso l'alto per poi diradarsi, 70-80 cm, verso il centro della rete) inghisati nei perfori e passanti attraverso le lesioni precedentemente scarnite e pulite da parti incoerenti. La malta da utilizzare per risarcire le lesioni, salvo diverse prescrizioni della D.L., dovrà essere a base di calce idraulica e, preferibilmente, di tipo espansivo (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto nei paragrafi specifici). L'esecuzione dell'intonaco dovrà seguire sia le prescrizioni enunciate nel paragrafo sul placcaggio di superficie sia quelle inerenti il rappezzo di intonaco ovverosia, al fine di non creare discontinuità materiche superficiali si ricorrerà, se non diversamente specificato, ad una rasatura finale utilizzando impasti similari a quelli esistenti (per uno spessore totale non inferiore ai 3 cm).

Lesioni in corrispondenza di aperture

Per interventi su lesioni nelle vicinanze di aperture (porte o finestre), anche di spessori consistenti, la procedura potrà limitarsi, esclusivamente, alle zone limitrofe le lesioni (generalmente circa 60-80 cm a destra e a sinistra dell'apertura e per un'altezza minima pari a 40 cm al di sopra dell'architrave). Le fasi esecutive saranno le stesse enunciate nel paragrafo riguardante il placcaggio dell'intera parete ad eccezione di qualche precisazione.

Previa esecuzione delle perforazioni nella parete, al fine di alloggiare le barre trasversali di collegamento, si posizionerà la rete elettrosaldata zincata ( $\parallel$  5-6 mm maglia 150x150 mm) su una o entrambe le facce del muro con adeguata sovrapposizione e risvolto minimo di 50 cm in corrispondenza di spigoli verticali. La rete verrà fissata tramite chiodatura e collegata con tondini in acciaio inossidabile, ad aderenza migliorata ( $\parallel$  6-8 mm in ragione di almeno 4 al metro quadrato), inghisati nei perfori e passanti attraverso le lesioni precedentemente scarnite e pulite da parti incoerenti. La malta da utilizzare per risarcire le lesioni, salvo diverse prescrizioni della D.L., dovrà essere a base di calce idraulica e, preferibilmente, di tipo espansivo (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto negli articoli specifici). L'esecuzione dell'intonaco dovrà seguire sia le prescrizioni enunciate nel paragrafo sul placcaggio di superficie sia quelle inerenti il rappezzo di intonaco, ovverosia al fine di non creare discontinuità materiche superficiali si ricorrerà, se non diversamente specificato, ad una rasatura finale utilizzando impasti similari a quelli esistenti (per uno spessore totale non inferiore ai 3 cm).

#### *Consolidamento mediante placcaggio con materiali compositi (FRP)*

La procedura si pone l'obiettivo di conservare la funzione resistente degli elementi murari, dando loro un'opportuna resistenza a trazione e fornendoli di uno stadio, più o meno elevato, di duttilità sia nel comportamento a piastra, sia in quello a parete di taglio.

L'operazione prevederà la fasciatura, o meglio il placcaggio esterno ovvero interno della struttura con nastri di materiale composito, da calibrare in funzione delle condizioni statiche, ancorati direttamente alla muratura da rinforzare mediante l'utilizzo di resine adesive (generalmente epossidiche). Il placcaggio con i materiali FRP consentirà un'efficace incremento, sia del carico ultimo, sia della duttilità così da costituire una più che valida alternativa rispetto alle tecniche più tradizionali come ad esempio le cerchiature rigide. Questa tecnica potrà essere messa in opera, sia per il rinforzo su pannello resistente con lesioni diffuse, sia per ripristinare situazioni di dissesto localizzato come ad esempio risarciture di lesioni d'angolo, lesioni in corrispondenza di aperture, confinamento di pilastri ecc. I nastri di composito forniranno prestazioni superiori a quelle dell'acciaio armonico, un'adesione perfetta al supporto e spessori ridotti così da potersi mascherare facilmente al di sotto di un semplice strato d'intonaco; inoltre, questa tecnica risulterà completamente reversibile, in quanto i nastri saranno semplicemente incollati alla superficie e potranno essere rimossi mediante trattamento termico.

Le prescrizioni sulla procedura operativa seguiranno quelle previste nel paragrafo sul consolidamento di volte, coperture e strutture in c.a. mediante materiali compositi.

Avvertenze

Questo protocollo operativo dovrà essere eseguito esclusivamente da operatori specializzati.

#### *Consolidamento mediante tiranti metallici*

Il consolidamento mediante la messa in opera di tiranti metallici (elementi costruttivi a sviluppo lineare) consentirà di realizzare un collegamento ed irrigidimento delle murature così da riuscire a contrastare rischi di traslazione, crolli e distacchi; la cerchiatura per mezzo dei tiranti permetterà di rendere solidali le strutture murarie tanto da garantire un comportamento di tipo scatolare, soprattutto, in caso di azione sismica. I tiranti (realizzati prevalentemente in acciaio inossidabile) potranno essere inseriti all'interno delle strutture da consolidare (murature, strutture lignee di solai e di copertura, pilastri murari e fondazioni) o all'esterno; la loro messa in opera potrà essere verticale, orizzontale od inclinata secondo le necessità specifiche richieste dal singolo caso e in base agli sforzi che dovranno assolvere. Il bloccaggio all'estremità delle strutture sarà garantito da chiavarde o capichiaive (che potranno essere a paletto o a piastra) posti su piastre (realizzate in acciaio inossidabile di forma e dimensioni tali da consentire una ripartizione omogenea degli sforzi) necessarie per assicurare l'adeguata ripartizione dei carichi; le piastre potranno essere realizzate in acciaio, con la presenza dei fori per consentire il passaggio dei cavi e delle guaine oppure in calcestruzzo armato. I paletti dei capichiaive andranno orientati a 45° con il braccio superiore rivolto contro il muro trasversale su cui insiste il solaio. Indipendentemente dalla messa in opera (esterna o interna, orizzontale o inclinata), prima di procedere con l'operazione dovrà essere appurato il grado di consistenza delle strutture, lo stato di conservazione e, soprattutto, la loro stabilità; a tale riguardo prima di effettuare l'intervento potrà essere utile, dove si renderà necessario, operare un consolidamento (scuci e cuci, iniezioni di boiaccia, rincocciature, rinforzi delle fondazioni ecc.) delle parti interessate ed influenzate dal successivo stato tensionale indotto dal tirante. L'operazione inizierà con la localizzazione esatta dei punti di perforazione per il passaggio del tirante, della sua collocazione e del relativo sistema d'ancoraggio, che dovrà essere saldo ed efficace dal momento che la risoluzione avrà effetto solo se sarà garantita la trazione del tirante, costante nel tempo, capace di contrastare le sollecitazioni in atto. I tiranti potranno essere messi in opera anche binati: uno da una parte e uno dall'altra dello stesso muro trasversale. Il tiraggio del tirante potrà essere fatto a freddo o a caldo.

Specifiche sui materiali

In alternativa ai tiranti metallici si potranno utilizzare barre pultruse in fibra di carbonio o aramide, con diametro circolare (da 5 a 10 mm) o rettangolare di varie sezioni (da 1,5 x 5 mm a 30 x 40 mm). Le suddette barre potranno essere messe in tensione attraverso apposito sistema di pretensione ed opportuna piastra di ripartizione. Il sistema di ancoraggio sarà caratterizzato da una testa di acciaio inox AISI 304, diametro esterno circa 50 mm, lunghezza circa 200-250 mm, filettatura esterna completa di sede per chiavella antitorsione. Rispetto alle tradizionali catene in acciaio, la fibra di carbonio riduce drasticamente i problemi legati alla corrosione essendo esse stesse non soggette a tale fenomeno.

#### *Consolidamento con tiranti trivellati inseriti nella muratura*

Il dimensionamento dei tiranti, definito dagli elaborati di progetto, dovrà essere relazionato alla resistenza a trazione del materiale utilizzato e quella a taglio del muro su cui verrà posizionato il capochiave (potranno essere messi in opera tiranti in acciaio inossidabile zincati Fe 360 opportunamente dimensionati e, se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto, potranno essere utilizzati tiranti // 26 mm o // 32 mm).

#### Tiranti trivellati inseriti nella muratura orizzontalmente

Il tirante orizzontale dovrà essere posizionato in corrispondenza del solaio (al di sotto del pavimento) il più possibile in aderenza al muro ortogonale su cui verrà collocato il capochiave; dopo aver localizzato il percorso del tirante e i punti di perforazione sulla muratura, si procederà alla realizzazione dell'alloggiamento mediante l'utilizzo di trapani esclusivamente rotativi in modo da evitare ulteriori sconnessioni della struttura dissestata, realizzando uno scasso che, se non diversamente indicato dagli elaborati di progetto, potrà essere di circa 25 mm di diametro, profondo 40 mm. L'intervento procederà con il posizionamento degli ancoraggi (angolari o intermedi fissati mediante malta di calce idraulica naturale NHL 5) previa preparazione della parte di muratura interessata mediante l'eventuale asportazione d'intonaco e, se necessario, consolidamento; la piastra di ripartizione dei carichi, se non diversamente indicato dagli elaborati di progetto, potrà avere dimensioni di 25x25 cm o 30x30 cm spessa 15 mm. Sulla muratura verranno eseguiti i fori di passaggio del tirante, il cui dimensionamento si relaziona alla sezione del tirante, ricorrendo ad un trapano a rotazione. Realizzato l'alloggiamento, il cavo dovrà essere fissato alle piastre precedentemente forate; all'interno dei fori (// 50-80 mm) dovrà essere posizionata una guaina protettiva fissata alla parete mediante l'utilizzo di malta o resina. Dopo aver tagliato il tirante a misura d'impiego (pari alla lunghezza della parete più lo spessore del muro e maggiorato di 30 cm, 15 cm per parte, necessari per l'ancoraggio) e provveduto alla filettatura delle estremità indispensabili per il tiraggio a freddo (15 cm per ogni estremità utilizzando filettatrici) si procederà alla relativa messa in opera. Il tirante passerà dalla guaina prolungandosi qualche centimetro all'esterno della piastra di ripartizione così da facilitare il tiraggio e l'ancoraggio; verranno posizionati i capochiave (forati se il tiraggio avverrà a freddo) i sistemi di fissaggio ed ancoraggio (dado e controdado, manicotto di collegamento e tiraggio ecc.). Avvenuta la presa del bulbo di ancoraggio (3 o 4 giorni), il tirante verrà messo in tensione (se teso a mano si ricorrerà ad una chiave dinamometrica che serrerà i dadi sino ad ottenere una tensione di circa 150-200 kg) con gradualità ed a più riprese, fino alla tensione di calcolo (la tensione applicata non dovrebbe superare il 50% di quella ammissibile dal cavo di acciaio utilizzato), controllando eventuali diminuzioni di tensione (causate o dal tipo di acciaio impiegato o riconducibili ad assestamenti murari improvvisi). La sede di posa dei tiranti ed i fori potrà essere riempita con iniezioni di malta a base di calce idraulica naturale NHL 3,5 e si potrà solidarizzare la guaina e il cavo mediante l'ausilio di resina sigillante. L'operazione terminerà con la posizione dei cunei di bloccaggio del cavo. Tutte le parti metalliche rimaste a vista dovranno essere protette mediante l'applicazione di vernici di tipo epossidico.

#### Tiranti trivellati inseriti nella muratura verticalmente

I tiranti potranno essere posti all'interno della muratura anche verticalmente, in questo caso il cavo dovrà penetrare all'interno della muratura in posizione perfettamente baricentrica e dovrà interessare una fascia muraria, mediamente, di circa 2 m. Il tirante verticale sarà formato da un bulbo realizzato al di sotto delle fondazioni del muro e da una testa ancorata alla sommità del muro con una piastra, dadi di bloccaggio e di pretensionamento. La parte sommitale della muratura, che dovrà ospitare la piastra di ripartizione, dovrà essere opportunamente consolidata tramite la messa in opera di una base realizzata con malta di calce eminentemente idraulica così da evitare, soprattutto in murature non perfettamente connesse, danni legati alla precompressione indotta dal tirante su tutta la parete. Per la messa in opera dei tiranti verticali si dovrà ricorrere a delle macchine perforatrici a rotazione potenti, tali da consentire l'esecuzione di fori precisi e di enorme lunghezza. La procedura in questo caso prevedrà: la preparazione dei fori di alloggiamento del tirante tramite sonda a rotazione provvista di punta diamantata per un diametro variabile in ragione della tipologia di muratura, della consistenza del materiale e del tipo di tirante (generalmente sarà sufficiente un diametro di 45-80 mm); messa in opera del tondino e del trefolo in acciaio spingendolo sino al disotto delle fondazioni; iniezione di malta eminentemente idraulica in modo da formare il bulbo di ancoraggio del tirante; messa in opera delle piastre di ancoraggio (a farfalla o a rondella fissate con dadi all'estremità filettata del tirante). Una volta avvenuta la presa del bulbo di ancoraggio si potrà procedere alla messa in tensione del cavo (con martinetto idraulico o a mezzo cavo avvitato alla testa filettata del tirante), la tensione si otterrà mediante chiave dinamometrica applicata sui dadi di serraggio. A tensione avvenuta dovrà essere immessa all'interno del foro che contiene il tirante della boiaccia di malta a base di calce idraulica naturale NHL 3,5, così da assicurare una buona aderenza tra il cavo e la muratura.

#### Consolidamento con tiranti aderenti alla muratura

Nei casi in cui il tirante orizzontale non potrà essere inserito all'interno del solaio poiché strutturalmente fatiscente, sarà opportuno posizionarlo, sempre al livello del solaio ma sul suo intradosso in adiacenza ai muri trasversali (il tirante potrà essere inserito in scanalature ricavate nella muratura così da non renderlo visibile). L'intervento procederà con la localizzazione dei fori da realizzare sui setti che dovranno accogliere il capochiave al fine di consentire il passaggio del tirante; il foro dovrà presentare un diametro, se non diversamente indicato dagli elaborati di progetto, di 30-80 mm realizzato con trapano a sola rotazione con corona diamantata, escludendo qualsiasi azione di percussione. Eseguiti i fori si procederà alla messa in opera del tirante (la cui sezione potrà essere circolare, quadrata o piatta) avendo cura di farlo uscire all'estremità per circa 15 cm (anche in questo caso le due parti che fuoriusciranno dovranno presentarsi opportunamente filettate) e delle piastre di ripartizione messe in opera sulle pareti esterne (seguendo le modalità descritte nel paragrafo inerente i tiranti trivellati inseriti nella muratura orizzontalmente). L'operazione procederà con la tesatura del tirante tramite i dadi (interposti dalle rosette) che potrà essere realizzata sia a freddo (utilizzando una chiave dinamometrica seguendo la procedura indicata nel paragrafo inerente i tiranti trivellati inseriti nella muratura orizzontalmente) che a caldo. Nei casi in cui le piastre esterne, a lavoro ultimato, non potessero essere più ispezionabili (affogate all'interno della muratura, intonacate ecc.) queste dovranno essere rese solidali con il tirante che, in questo caso, si comporrà di due parti unite da un manicotto filettato necessario per effettuare il tiraggio del cavo a freddo. L'utilizzo di manicotti intermedi sarà necessario anche nei casi in cui i tiranti risulteranno particolarmente lunghi.

#### Specifiche

Il tiraggio dei tiranti potrà essere realizzato anche a caldo ovvero, una volta posto in opera il cavo e forzate leggermente le zeppe di contrasto con i capochiave, si effettuerà un preriscaldamento (mediante l'ausilio di fiamma ossidrica o con una fiaccola a benzina) nel tratto centrale; il cavo si allungherà per effetto termico; una volta raggiunta la lunghezza indicata da progetto, si inserirà il sistema di bloccaggio all'estremità dopodiché, bloccando gli ancoraggi, il tirante svilupperà la sua tensione raffreddandosi.

I tiranti orizzontali messi in opera sulle pareti più lunghe dovranno essere applicati leggermente sopra quelli che corrono sulle pareti più corte; inoltre, in presenza di solai sfalsati, i tiranti orizzontali dovranno essere posizionati a metà tra i due. La piastra di ancoraggio potrà essere sostituita da una piastra armata spessa e larga incassata e ammortata all'interno della muratura. Per maggiori specifiche riguardanti le miscele da iniezione si rimanda a quanto detto al paragrafo specifico sulle iniezioni di miscele leganti.

### *Consolidamento mediante tiranti antiespulsivi*

In presenza di pareti caratterizzate da paramenti in parte o totalmente scollegati tra loro (muratura a sacco o a paramenti accostati e non connessi) che presenteranno degli spaccamenti o delle deformazioni, si potrà ricorrere all'uso dei tiranti antiespulsivi. La tecnica d'intervento sarà indirizzata al ripristino della continuità trasversale della muratura, ricorrendo all'inserimento di barre metalliche, passanti, ancorate mediante piccole piastre bullonate alle facce esterne della muratura. L'intervento potrà essere reversibile, poiché non prevedrà l'utilizzo di materiali leganti per fermare la barra ma, allo stesso tempo, per la sua immediata connotazione sulla parete, sarà opportuno limitarlo nella quantità evitando così un'eccessiva alterazione della configurazione superficiale della parete. L'effettiva efficacia dell'intervento sarà strettamente connessa alla natura ed alla qualità della muratura su cui si opererà il consolidamento, così come le singole fasi operative varieranno in relazione al singolo caso specifico. Le fasi esecutive consteranno in: realizzazione dei fori (se non diversamente indicato dagli elaborati di progetto potrà essere sufficiente realizzare una perforazione ogni metro quadrato di parete) mediante l'utilizzo di trapano a sola rotazione e non a percussione poiché potrebbe aggravare il dissesto della struttura, utilizzando una punta da 20-25 mm, i fori dovranno essere eseguiti in punti ottimali per l'ancoraggio dei tiranti (la superficie in quelle zone dovrà presentarsi sufficientemente piana così da consentire la buona aderenza della piastre); asportazione dal foro di eventuali detriti ed introduzione del tirante ( $\varnothing$  16-20 mm) in acciaio inossidabile con le estremità filettate che fuoriescano dalla muratura (circa 4-5 cm) tanto da consentire il facile bloccaggio; inserimento delle piastre (con un diametro dimensionalmente rapportato al tipo di murature sulla quale dovranno insistere, ad esempio, su una muratura mista  $\varnothing$  80-100 mm) che bloccheranno i tiranti su entrambe le contrapposte pareti; infine, il serraggio della barra avverrà mediante bullonatura in acciaio (utilizzando, se esplicitamente richiesti dalla D.L., bulloni ciechi) allo scopo di riuscire ad attribuire una modesta pre-sollecitazione alla barra.

#### *Avvertenze*

Si ricorda che la realizzazione di eventuali piccoli scassi sulla muratura, al fine di nascondere in parte le piastre, saranno sconsigliati poiché potrebbero ridurre l'efficacia dell'intervento.

### *Consolidamento mediante diatoni artificiali*

Al fine di consolidare, e legare trasversalmente murature sconnesse, si potrà procedere introducendo all'interno della struttura elementi artificiali (diatoni), di forma cilindrica messi in opera all'interno di fori realizzati mediante l'uso di una carotatrice. La messa in opera di questo tipo di risoluzione potrà essere fatta anche su murature di qualità molto scadente poiché non genera alcuna presollecitazione; la quantità dei diatoni da introdurre all'interno della muratura sarà connessa alla consistenza della muratura stessa. La procedura prevedrà: realizzazione dei fori ( $\varnothing$  15 cm) mediante l'uso di una sonda a rotazione, fissata alla muratura in modo da realizzare forature perfettamente orizzontali localizzate in modo da non arrecare ulteriori danni alla struttura (da evitare parti particolarmente fragili esteriormente); l'armatura del diatono verrà realizzata tramite un traliccio a spirale in acciaio inossidabile (AISI 304L o 316L) o passivato (5-6 barre  $\varnothing$  8 ed eventuale staffa  $\varnothing$  4-6 a spirale) tagliato in base allo spessore della muratura da consolidare, inserito all'interno del foro (ricorrendo all'uso di opportuni distanziatori per meglio posizionarlo) e collegato con il controtappo (munito di foro per garantire l'iniezione della malta e dotato di ferri longitudinali della lunghezza di 10 cm) tramite legatura o saldatura; su entrambe le pareti, le zone adiacenti al foro dovranno essere sigillate mediante stuccatura in modo da ovviare l'eventuale fuoriuscita della miscela che verrà iniettata, avendo cura di lasciare una piccola fessura nella parete dove avverrà l'immissione della miscela così da consentire il passaggio dell'aria; infine l'intervento terminerà con l'iniezione, tramite una leggera pressione all'interno dell'armatura, di malta fluida (per maggiori delucidazioni al riguardo si rimanda al paragrafo inerente le iniezioni di miscele leganti).

#### *Specifiche*

Questa tecnica risulterà adatta per sopportare sollecitazioni di origine sismica grazie al collegamento monolitico che si verrà a creare tra le due facce del muro.

### *Cerchiature in acciaio di aperture e vani in murature portanti*

La procedura avrà come obiettivo quello di eseguire una cerchiatura con lo scopo di realizzare un'apertura a strappo in una muratura portante senza compromettere la stabilità delle strutture originali. Sarà necessario, in ogni caso, procedere con cautela, considerando l'intervento in modo accurato al fine di evitare possibili lesioni di assestamento.

Dopo aver posto in opera elementi provvisori, allo scopo di forzare staticamente i solai che si appoggeranno sulla muratura oggetto di intervento, si eseguiranno le aperture verticali in corrispondenza delle mazzette, appoggi della struttura di architrave. All'interno della muratura esistente, saranno inseriti due piedritti costituiti da uno o più profilati metallici (in genere profili a doppio "T" Fe 360 o Fe 430) a seconda dello spessore della muratura ed, in ogni caso scelti seguendo le disposizioni di progetto o indicazioni della D.L. (ad es. HEA 140), ancorati mediante spillature perimetrali sagomate ad "L" e saldati a caldo al montante in oggetto; questi ancoraggi saranno costituiti da barre in acciaio ad aderenza migliorata Fe B 44 K (ad es. 4  $\varnothing$  14/300 mm) inghisate, (con malta a base di calce idraulica naturale NHL 3,5 a ritiro compensato e con buone caratteristiche di aderenza), in perfori di diametro 24 mm, eseguiti con strumento a sola rotazione, di lunghezza ed inclinazione variabili (in ogni caso non inferiori ai 200 mm), intervallati ogni 50-60 cm o secondo indicazioni della D.L., constatate sul posto le reali condizioni delle murature.

In alternativa ai piedritti d'acciaio potranno essere messi in opera delle spallette in muratura migliorata (per tutto lo spessore della muratura e di lunghezza minima pari a tre teste) in mattoni pieni allettati con malta a base di leganti idraulici (tipo calce idraulica naturale NHL 5) seguendo la tecnica dello "scuci e cuci" a piccoli tratti fino a sostituire la vecchia struttura con una nuova. Le nuove spallette dovranno essere correttamente ammorsate alla muratura (un adeguato numero di morse sarà di circa una ogni cinque filari) da mantenere e, allo stesso tempo, creare il paramento verticale sui lati interni dell'apertura lungo la quale, procedendo in aderenza, si effettuerà lo strappo della muratura da demolire. I nuovi piedritti dovranno, inoltre, essere fasciati da rete in acciaio elettrosaldata, fissata a mezzo di chiodature, (ad es.  $\varnothing$  5-6 mm con maglia 100x100 mm) per una lunghezza pari a circa 50-60 cm allo scopo di migliorare l'ancoraggio alla muratura esistente.

Di seguito si eseguirà la prima traccia orizzontale sulla muratura (la scelta di utilizzare due profilati accoppiati è dettata, principalmente, da esigenze esecutive) al fine di ospitare il primo profilato metallico (la sezione della trave potrà essere composta, a seconda della luce, del carico e dello spessore del muro di due o più profilati del tipo IPE o HE) che appoggerà su piastra in acciaio, di dimensioni variabili (ad es. con profilato HEA 140 montato su muratura di 45 cm, la piastra avrà dimensioni 140x450x10 mm), saldata sulla sommità dei montanti. Il profilato sarà messo a contrasto con la muratura sovrastante mediante zeppe e/o cunei di ferro o spezzoni di lastre d'ardesia in modo da imprimere al ferro una freccia preventiva. Allorché l'architrave sia di lunghezza notevole e tra l'estradosso del profilato ed il solaio soprastante vi sia sufficiente altezza, la freccia preventiva si potrà ottenere con l'ausilio di un martinetto

idraulico (previa interposizione di una piastra metallica tra muratura e martinetto) alloggiato in un opportuno vano ricavato sopra la trave. Effettuata la messa in opera del primo elemento in acciaio s'interrerrà, sul lato del muro opposto, seguendo la medesima procedura per mettere in opera il secondo. Eseguita l'architrave si potrà demolire la porzione centrale di muratura e si collegheranno i profilati per mezzo di chiavarde (ad es. // 16 mm), inserite in fori corrispondenti eseguiti prima della messa in opera, distanziate da circa 140-150 cm una dall'altra partendo dagli appoggi.

Il vuoto tra le due ali esterne dei profilati, riempito con tavelline in cotto murate con malta a base di leganti idraulici, potrà essere colmato, a seconda delle specifiche di progetto o indicazioni della D.L. con muratura di mattoni pieni, o calcestruzzo di cemento confezionato con inerti sottili, utilizzando come cassaforma a perdere un piano di tavelle posate sulle ali inferiori interne; il getto sarà eseguito mediante fori praticati lateralmente al di sopra dell'estradosso delle travi. Successivamente si eseguirà la messa in opera del traverso inferiore costituito da un piatto in acciaio di dimensioni variabili con uno spessore minimo di 10-12 mm (ad es. 2200x450x15 mm) che dovrà essere, anch'esso, saldato a caldo con cordoni angolari al telaio sovrastante.

#### Specifiche

Al fine di proteggere i profilati metallici sarà consigliabile trattarli con apposita boiaccia passivante anticarbonatante (per maggiori dettagli si rimanda agli articoli riguardanti il ripristino di opere in c.a.), inoltre per migliorare l'aggrappaggio dell'intonaco sarà consigliabile fasciare la cerchiatura con rete in acciaio elettrosaldato a maglia stretta (ad es. // 3-4 mm con maglia 50x50 mm) per una lunghezza pari a circa 60-80 cm.

In caso di cerchiatura mista, ovverosia con spallette in muratura migliorata ed architrave d'acciaio, sarà obbligatorio ammorsare efficacemente i profilati nella muratura esistente pari a circa una volta e mezzo lo spessore del muro. Nel caso l'architrave dovesse sostenere elevati carichi, si inseriranno delle alette di irrigidimento saldate con cordoni d'angolo.

Le aperture a strappo non dovranno essere eseguite in strutture murarie con quadro fessurativo avanzato, in presenza di uno stato conservativo dei materiali pessimo e in quelle che, pur essendo in discrete condizioni, fossero di sostegno ad altre strutture malmesse; fermo restando che non sia previsto un preventivo restauro delle strutture generale quanto accurato. Le sezioni delle architravi dovranno essere scelte calcolando le sollecitazioni a flessione e taglio e le frecce di inflessione di due unità accoppiate e i vincoli di estremità dovranno essere considerati come semplici appoggi.

In presenza di murature di elevato spessore con possibilità di caduta di materiale intermedio fra i paramenti sostenuti dalle travi potranno essere messi in opera, previa esecuzione di fori subito sopra l'estradosso delle stesse, dei monconi di profilati ad "U" appoggiati sulle ali superiori delle travi riempiendo i vuoti con malta a ritiro controllato.

## CONSOLIDAMENTO SOLAI

### OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO SOLAI IN LEGNO

#### Generalità

Le operazioni preliminari, necessarie ed obbligatorie, che l'operatore dovrà compiere prima di iniziare qualsiasi procedura di consolidamento di strutture lignee orizzontali, sono:

- puntellamento in contromonta (L/300-400) della struttura gravante sugli elementi oggetto di intervento mediante sostegno centrale eseguito con ritti regolabili da cantiere ("cristi");
- rimozione dell'eventuale intonaco dalla fascia delle murature interessate all'intervento, successiva rimozione del pavimento e del relativo sottofondo; accurata pulizia degli elementi lignei da consolidare seguendo le indicazioni fornite dal progetto o prescrizioni della D.L. (pulitura manuale con scopinetti, spazzole di saggina, aria compressa, impacchi evitando, in ogni caso, operazioni troppo aggressive per il materiale), al fine di asportare gli eventuali strati di pittura, vernici, cere, grassi e polveri presenti sulle parti da trattare;
- identificazione delle cause intrinseche ed estrinseche del dissesto della struttura;
- precisa verifica del quadro patologico dei manufatti lignei.

#### Appoggi

Allorché si renda necessario conferire una miglior ripartizione del carico che le travi scaricano sulla muratura si potrà inserire un cuscinio di appoggio denominato comunemente dormiente, (o banchina) di base più ampia di quella della trave; potrà essere costituito, a seconda dei casi e delle disposizioni di progetto da: tavola singola (o sovrapposizione di due tavole) di legno massiccio di specie particolarmente dura (es. legno di quercia) spessore minimo 100 mm (larghezza minima = h della trave, lunghezza minima = h trave + 10 cm per parte), uno o più mattoni pieni (spessore 55 mm) disposti per piano o un piatto di acciaio inossidabile Fe 430 di spessore minimo 10 mm. Quest'ultima soluzione è spesso la più utilizzata grazie alla modesta demolizione necessaria per inserire la piastra, è sempre consigliabile inserire tra la trave e la piastra un cuscinetto di neoprene.

#### *Irrigidimento mediante doppio tavolato*

L'intervento è rivolto ad aumentare l'inerzia della struttura contenendo la freccia elastica; viene, sovente, utilizzato in presenza di strutture complessivamente affidabili dal punto di vista della conservazione dei materiali (tavolato) e del dimensionamento delle parti strutturali (travi) ma che necessitano di un intervento di irrigidimento del piano e del conseguente miglioramento delle caratteristiche di rigidità. Tecnologia utilizzabile anche in zona sismica unitamente ad altri accorgimenti atti a garantire il collegamento tra solaio e muri perimetrali.

Dopo aver eseguito uno scrupoloso controllo dello stato di conservazione dell'assito preesistente, integrando le eventuali parti deteriorate ed effettuando un'operazione di chiodatura per fermare le parti distaccate, si procederà, previo posizionamento di telo o foglio di materiale isolante e traspirante, a disporre il nuovo tavolato di irrigidimento dello spessore minimo di 30-40 mm, eventualmente ammorsato con incastro a linguetta, tenone o a battuta semplice; si dovrà utilizzare un'essenza meno deformabile di quella originale, ed il materiale dovrà essere perfettamente stagionato (a seconda delle scelte di progetto si potranno utilizzare tavolati di legno di abete o di douglas). Il tavolato dovrà essere aderente a quello esistente ed ordito rispetto a questo in senso ortogonale od incrociato (in diagonale) e collegato (sempre ortogonalmente) con viti autofilettanti di acciaio inossidabile o chiodi inox filettati o scanalati (il diametro e la lunghezza saranno in funzione della specie e dello spessore del legno; in ogni caso la lunghezza varierà dai 150 ai 400 mm e il diametro non sarà inferiore ai 4 mm) e con collanti resistenti all'umidità. In assenza di altre specifiche di progetto la chiodatura sarà eseguita ad angolo retto rispetto al piano (mediante trapani per chiodature oppure manualmente) e fino ad una profondità tale che la testa dei chiodi (di norma pari a 2,5 volte il diametro del chiodo) sia al livello della superficie del nuovo tavolato. La spaziatura minima tra i chiodi, senza preforatura nel singolo elemento ligneo, sarà di 10 // per chiodi // inferiore od uguale a 4 mm o di 12 // per chiodi //

maggiore a 4 mm per chiodature parallele alle fibre del legno, 5 // per chiodature ortogonali alle fibre del legno (l'interasse massimo tra i chiodi posti parallelamente alla fibratura sarà di 40 // mentre, per quelli infissi ortogonalmente alla fibratura, sarà di 20 //).

I chiodi con diametro inferiore a 6 mm verranno infissi nel legno senza preparazione del foro; per diametri maggiori è opportuno preparare il foro con trapano munito di punta inferiore al diametro del chiodo stesso; per tale motivo è consigliabile utilizzare chiodi con diametro intorno ai 4-5 mm.

In alternativa alle tavole potranno essere utilizzati pannelli di compensato multistrato (dimensioni massime pannello 350x350 cm, spessore minimo consigliato 22 mm, con struttura simmetrica composta da almeno 7 fogli di impiallaccio in pino europeo e abete rosso) per usi strutturali (del tipo bilanciato, ovverosia le direzioni delle fibre saranno ruotate reciprocamente in modo perpendicolare), questi pannelli si collegheranno facilmente ed efficacemente con bordi sagomati a becco di flauto. Il tavolato sarà, infine, ammorsato alle murature perimetrali demolendo l'intonaco corrispondente alla sezione di contatto ed interponendovi cunei di legno duro od altri dispositivi previsti dal progetto. Si dovrà provvedere a livellare perfettamente il nuovo piano, recuperando le eventuali differenze con l'aiuto di idonei spessori, prima della posa in opera della nuova pavimentazione che verrà, preferibilmente, fissata a colla per avere un'efficace posa sull'assito e, allo stesso tempo, evitare la presenza di massetto.

#### *Consolidamento mediante sezioni miste*

Il dimensionamento e la verifica dei solai misti legno-cls dovrà essere eseguito seguendo un criterio di calcolo che tenga conto della deformabilità della connessione (Eurocodice 5, UNI ENV 1995 e norma DIN 1052 teoria di Möhler).

Nel caso in cui i solai lignei non siano più nelle condizioni di assicurare la portata minima di esercizio, si potranno impiegare tecniche a sezione mista (legno-acciaio-calcestruzzo). Lo scopo principale, oltre a quello di irrigidire ed accrescere la resistenza del solaio, sarà quello di effettuare la coesione legno calcestruzzo in modo tale che la sezione mista, in fase di esercizio, non presenti scorrimenti ed agisca uniformemente. Nel caso in cui il cls e il legno siano a diretto contatto, il connettore (acciaio) lavorerà principalmente a taglio dando vita ad un collegamento molto rigido che potrà trovare il suo limite nell'inevitabile fenomeno di rifollamento del foro. Se, invece, non esisterà un contatto diretto (ad esempio il tavolato sovrastante la trave non viene rimosso) il connettore lavorerà a taglio e a flessione e si realizzerà un collegamento meno rigido dove non saranno esclusi scorrimenti di una certa natura.

Durante le fasi di lavoro e fino a maturazione dei getti di calcestruzzo, sia per la sicurezza sia per ottenere la massima funzionalità, si renderà indispensabile puntellare opportunamente le travi di legno: in tal modo anche i pesi propri verranno sopportati dalla trave composta; sarà, altrettanto, opportuno, quando possibile, imporre alle travi una controfreccia iniziale mediante puntelli supplementari.

Il calcestruzzo utilizzato dovrà obbligatoriamente essere di tipo strutturale, utilizzando come leganti solo ed esclusivamente cementi (ad es. R 32,5 o R 42,5) con Attestato di Conformità (DM 12 luglio 1999 n. 314) ed aggregati silicei; potrà essere alleggerito con argilla espansa o vermiculite espansa di granulometria 1-8 mm (impasto tipo: 3 q cemento R 32,5; 0,40 m<sup>3</sup> di sabbia; 1 m<sup>3</sup> di argilla espansa), peso massimo asciutto in opera di 1600 kg/m<sup>3</sup> (comunque non inferiore a 1400 kg/m<sup>3</sup>), resistenza media a compressione di 30 N/mm<sup>2</sup> (in ogni caso non inferiore a 25 N/mm<sup>2</sup>), classe di lavorabilità (slump) S3 (semifluido) rapporto acqua-cemento  $\leq$  0,65, classe 0 di resistenza al fuoco, conducibilità termica media 0,54 W/mK (comunque non inferiore a 0,42 W/mK valore secondo UNI 10351), modulo elastico medio 20000 N/mm<sup>2</sup> (in ogni caso non inferiore a 15000 N/mm<sup>2</sup>).

#### *Connettore inghisato a piolo o a traliccio*

Prima verifica sullo stato di conservazione del legname oggetto di intervento il rinforzo della struttura avverrà mediante connettori metallici (tecnica "Turrini Piazza") costituiti da barre tonde di acciaio inossidabile o zincato (quando non specificamente indicato, sarà sufficiente utilizzare Fe B 38 K altrimenti si utilizzerà Fe B 44 K) ad aderenza migliorata per c.a., piegate ad "L" con l'ala (disposta sull'estradosso di lunghezza di circa 60-80 mm) rivolta verso l'appoggio più vicino al fine di contrastare, con la propria resistenza a trazione, le sollecitazioni tangenziali causate dallo scorrimento longitudinale che opera nel piano di contatto legno-cls. In alternativa si potranno utilizzare vitoni tirafondi da legno (DIN 571) di lunghezza di circa 200-300 mm e diametro 10-12 mm da utilizzare da soli o con saldati, ortogonalmente, degli spezzoni di tondo liscio da cemento armato lungo circa 100-150 mm.

La prima operazione sarà quella di regolarizzare i travicelli ovverosia si taglieranno le loro estremità poggianti sulla trave lasciandone l'appoggio di 3-4 cm per ogni lato della trave dopodiché si procederà all'eventuale nuova chiodatura della struttura secondaria alla trave ed infine, per contenere lateralmente la fuoriuscita del getto, se il soffitto non è munito di apposite bussole (copripolvere o metope), si provvederà mettendo in opera delle tavolette verticali ovvero delle mezzane in cotto tra gli elementi dell'ordito secondario fino alla quota dell'estradosso del tavolato o dello scempiato di pannelle.

Compite le operazioni preliminari si procederà, tramite un trapano, a praticare dei fori secondo le profondità (di norma circa i 2/3 della altezza della trave e comunque non inferiori a 10 // mm del connettore scelto); le inclinazioni (di norma perpendicolari all'asse della trave ma sarà possibile compiere anche perforazioni inclinate), il numero e le posizioni saranno quelle prescritte dagli elaborati di progetto. Seguirà l'aspirazione dei trucioli dal foro, l'iniezione con resina e l'inserimento immediato del connettore. I fori di diametro di circa 14-18 mm (// consigliato = // connettore + 2-4 mm) e i conseguenti connettori (// 10-12-14 mm) dovranno essere disposti più ravvicinati nelle sezioni limitrofe agli appoggi, dove gli scorrimenti sono maggiori, e più distanziati nella mezzana delle travi. Si dovrà tenere presente che, laddove occorrerà inserire connettori molto ravvicinati, (l'interasse consigliato tra i connettori sarà compreso tra gli 8 // e i 15 // della barra scelta; tale distanza potrà essere aumentata fino a 30 // per i connettori autoserranti per ovvi motivi costruttivi) si dovranno posizionare lievemente sfalsati rispetto all'asse longitudinale della travatura per eludere possibili effetti di spacco. Il numero ed il diametro dei connettori dovranno essere calcolati in funzione della forza di taglio, ovvero di scorrimento lungo l'asse geometrico della trave. Se il progetto prevede la possibilità di sollevamento della soletta o si vuole aumentare la rigidità della connessione è consigliabile posizionare doppi connettori autoserranti (infissi inclinati nei due sensi rispetto al piano longitudinale) così da avere resistenza anche a sforzo normale (comportamento assiale).

Dal momento che la pressione del connettore sulla trave, ovverosia di un materiale duro su di uno tenero, può presentare l'inconveniente di allargare ed allentare la sede del connettore (fenomeno di rifollamento) con conseguente diminuzione di solidarietà tra i due elementi i fori di accoglienza dovranno essere sigillati mediante riempimento adesivo epossidico a consistenza fessotropica (caratteristiche meccaniche medie: resistenza a trazione 18-20 N/mm<sup>2</sup>, resistenza a compressione 45-55 N/mm<sup>2</sup>, resistenza a flessione 30-60 N/mm<sup>2</sup>, modulo elastico 4000 N/mm<sup>2</sup>) costituito da due componenti predosati che dovranno essere miscelati tra loro prima dell'uso (componente A = resina, componente B = indurente). Si ricorda, che, prima di inserire i connettori, dovranno già essere stati posizionati sia la rete in acciaio elettrosaldata Fe B 38 K adeguatamente dimensionata (per es. tondi // 6 mm e maglia 100x100 mm) sia i teli di polietilene impermeabile all'acqua del cls, ma traspiranti al vapore, per evitare di bagnare il tavolato o le mezzane sottostanti durante il



successivo getto. Passate 24 ore dalla sigillatura dei connettori, si effettuerà la gettata della soletta collaborante (seguendo le indicazioni di progetto) per uno spessore minimo di 4 cm. Dal momento che la parte mediana della caldana, tra una nervatura e l'altra, collabora solo per continuità, sarà possibile effettuare un getto con calcestruzzo strutturale alleggerito.

In alternativa al sistema "Turrini Piazza" si potrà utilizzare un connettore continuo (tipo LLEAR®), per tutta la luce della trave, costituito da una barra nervata in acciaio inossidabile o zincato Fe B 44 K, dimensionata seguendo indicazioni di progetto (minimo // 12 mm), sagomata a zig-zag (con passo di 400 mm) ovvero a greca. Si procederà, prima alla creazione di una scanalatura, (poco profonda sull'estradosso della trave mediante una lama circolare montata su un carrello-guida a doppio binario) successivamente, secondo i disegni di progetto, si approfondirà la fessura (// circa 14x60 mm) mediante l'utilizzo di sega a catena montata sul medesimo carrello-guida.

Il traliccio (di altezza variabile dai 150 ai 200 mm, con una fuoriuscita superiore di circa 7-10 mm a seconda dell'assito o scempiato presente) sarà inserito all'interno della scanalatura della trave ed a questa solidarizzato mediante una colata di resina epossidica. La procedura si concluderà con il posizionamento di una rete in acciaio elettrosaldato Fe B 38 K adeguatamente dimensionata (per es. tondi // 6 mm e maglia 100x100 mm) ed il successivo getto della soletta collaborante per uno spessore minimo di 4 cm.

#### Specifiche sull'acciaio

Per i connettori, in alternativa all'acciaio inossidabile o zincato, si potranno utilizzare barre di acciaio normale preventivamente trattate con boiaccia passivante anticarbonatante, reoplastica-pennellabile bicomponente (A = miscela di cemento polveri silicee e inibitori di corrosione, B = polimeri in dispersione acquosa; rapporto tra A e B variabile da 2:1 a 3:1); le caratteristiche minime della boiaccia dovranno essere: adesione all'armatura ed al cls > 2,5 N/mm<sup>2</sup>, resistenza alla nebbia salina dopo 120 ore nessuna corrosione, pH > 12, tempo di lavorabilità a 20 °C e 50% U.R. circa 40-60 min.

#### Connettore "a secco" avvitato a piolo o a lastra

Al fine di posizionare i connettori a piolo con piastra si potrà procedere tramite due soluzioni: foratura del tavolato esistente tramite una fresa o una sega a tasca (di diametro sufficiente a inserire la piastra, minimo 65 massimo 90 mm), oppure con un taglio del tavolato per creare una fascia continua sull'estradosso della trave; questa seconda soluzione si adotta anche in presenza di scempiato in cotto. Un accorgimento da prendere in caso di solaio a doppia orditura è quello di chiudere, per mezzo di listelli in legno, gli spazi liberi tra i travetti, fino alla quota di estradosso del tavolato, allo scopo di evitare la fuoriuscita del getto.

Il connettore a piolo, che presenta un rigonfiamento della testa per un diametro di circa 18-20 mm, sarà collegato tramite stampaggio e ricalco a freddo alla piastra (spessore circa 4 mm) munita di 4 ramponi agli angoli che si inseriranno nel legno per una decina di millimetri e di 2 fori per il fissaggio alla trave previo posizionamento sul tavolato di telo separatore impermeabile ma traspirante al vapore, (al fine di proteggere il legno dall'assorbimento di acqua ed evitare l'eventuale percolazione di boiaccia nell'intradosso); seguendo le indicazioni prescritte dal progetto o richieste dalla D.L. si posizioneranno i connettori a piolo dal diametro di 12 mm in acciaio zincato a freddo (altezza gambo variabile da un minimo di 30 mm ad un massimo di 200 mm), con viti tirafondi (DIN 571) di lunghezza variabile da un minimo di 70 mm ad un massimo di 120 mm ed una rete elettrosaldato di acciaio Fe B 38 k adeguatamente dimensionata (ad es. tondi // 6 mm e maglia 100x100 mm) munita di distanziatori per consentire il completo avvolgimento della stessa da parte della soletta.

Si procederà, infine, al getto della soletta collaborante con calcestruzzo avente i requisiti richiesti dagli elaborati di progetto ma, in ogni caso, con uno spessore minimo di 4 cm ed una resistenza minima di 250 kg/cm<sup>2</sup>.

In alternativa al connettore a piolo (puntiforme) si potranno adoperare altri connettori (continui) a lastra con profilo ad omega (W) o delta (D) (tipo LPR®) con ali laterali, opportunamente dimensionati come da richiesta dei disegni e calcoli di progetto. Il profilato in acciaio zincato a caldo sarà traforato al fine di permettere la penetrazione del calcestruzzo anche all'interno; come quello a piolo anche questo connettore verrà fissato "a secco" mediante doppie viti mordenti (DIN 571) sull'estradosso della trave (è consigliabile preforare l'arcareccio con punta da 5 mm prima di avvitare le viti); l'operazione di ancoraggio traliccio-trave risulterà, così, estremamente semplice e non necessiterà di manodopera specializzata. Nello spazio libero tra le nervature potranno essere posati pannelli di materiale isolante, con funzione di alleggerimento della caldana in calcestruzzo ed isolamento termoacustico. In caso di messa in opera di tralici di h 40 mm la soletta avrà un'altezza paria a 50-90 mm; se, invece il traliccio sarà di 60 mm la soletta prenderà più consistenza fino ad arrivare ad un'altezza di 80-120 mm. Queste lastre dovranno essere alloggiare all'interno di modesti scassi (circa 70-100 mm) eseguiti nella muratura d'ambito; in presenza di solai contigui e complanari si potranno collegare i due orizzontamenti con il medesimo connettore così da garantire, oltre alla resistenza meccanica del singolo, anche la massima continuità strutturale.

Il traliccio con profilo ad omega potrà essere utilizzato anche in presenza di scempiato di pianelle: il traliccio sarà montato a rovescio, gli ancoraggi con viti (DIN 571) saranno più frequenti e verranno posizionati sulla testa del profilo.

#### Consolidamento mediante aumento della sezione portante

Allorché si renda necessario aumentare la sezione portante di una trave in zona compressa è possibile operare mediante il posizionamento, sull'estradosso dei travicelli, di una tavola collaborante, in legno (massiccio, lamellare o multistrato); in caso di utilizzo di legno massiccio si preferiranno essenze più resistenti quali larice e faggio), preferibilmente a tutta luce, di spessore e larghezza dettati da disposizioni di progetto od indicazioni fornite dalla D.L. (in ogni caso non inferiore a 40 mm di spessore per una larghezza minima di 250-300 mm). Questo "piatto ligneo" verrà collegato alla trave principale per mezzo di un'anima costituita da tasselli di legno (massiccio, lamellare o multistrato) di adeguate dimensioni che verranno posizionati nello spazio vuoto tra i travicelli dell'orditura secondaria. La collaborazione tra questi elementi (piatto-anima-trave) verrà fornita da viti autofilettanti di acciaio inossidabile // 10 mm di lunghezza 250 mm ad interasse di 500-600 mm, o in alternativa da viti // 8 mm, di lunghezza di 200 mm e disposte su due file.

I vantaggi di un sistema di questo tipo risiedono nei benefici strutturali di una sezione a doppio "T" rispetto a quella rettangolare inoltre, è una soluzione completamente "a secco" la cui messa in opera non produce alterazioni all'intradosso; grazie all'estrema facilità di esecuzione, non necessita di maestranze specializzate (vantaggio di grande importanza con l'aumentare del valore dell'edificio) ed è completamente reversibile.

#### Ancoraggio delle travi alle murature tramite piastre metalliche

L'intervento è consigliabile per strutture di modesta entità.

In linea di massima tutte le travi principali dovranno essere collegate alla muratura, ma in sede di progetto-verifica, si potrà anche stabilire un'alternanza fra travi collegate e quelle che non lo saranno. Si procederà ad eseguire un foro passante, mediante strumento a rotazione, dall'interno verso l'esterno, con asse sul piano, su di una faccia o su di un bordo della trave da ancorare, seguendo le prescrizioni di progetto o indicazioni della D.L.

Il collegamento avverrà per mezzo di piatti di acciaio inossidabile 18/8 AISI 304L dentati, disposti sui bordi o sulle facce per un lato o per entrambi, di sezione (minima 5x80 mm) e lunghezza variabile definite dagli elaborati di progetto. In ogni caso la lunghezza dovrà essere adeguata al fine di poter ottenere un efficace ancoraggio nella muratura e comunque non inferiore agli 80 cm oltre l'estremità della trave d'ancorare. Posizionato l'apparecchio metallico si riempirà il foro mediante calcestruzzo di calce idraulica o altra malta prescritta dal progetto. Le lame potranno essere ancorate all'esterno delle murature tramite delle piastre in acciaio (tenuta in sottoquadro di circa 10-15 cm così da non modificare l'aspetto dell'apparecchio esterno), di dimensioni dettate dai disegni di progetto, comunque non inferiori a 10x200x200 mm (che dovranno poggiare su basi perfettamente spianate con malta di calce idraulica naturale NHL 5), che ospiteranno i capochiavi dei piatti sui quali, precedentemente, sarà stata eseguita un'asola (dim. medie 50x40 mm) di sezione adeguata a ricevere i cunei tenditori (dim. medie 40x50x160 mm).

In alternativa si potrà saldare alle lame una barra filettata, così da poterle ancorare, alle piastre ripartitrici (simili a quelle precedenti) per mezzo di dadi e rosette di acciaio. Il piatto sarà munito, dalla parte della trave, di un rampone da infilare ad incastro nel legno e verrà fissato alla trave tramite tirafondi filettati di acciaio inossidabile // 10-12 mm, di lunghezza media di 120-150 mm, ad una distanza di circa 150 mm.

Questa tecnica potrà anche essere utilizzata per la controventatura e l'irrigidimento di tutto il piano del solaio. Individuate le diagonali della struttura si procederà all'esecuzione di perforazioni di dimensioni adeguate da permettere il passaggio del tirante. In corrispondenza dei fori di uscita dovrà essere predisposto un piano per l'appoggio della piastra di ancoraggio. Seguendo le indicazioni di progetto il fissaggio dei tiranti alla piastra potrà avvenire o con cunei o con dadi. I tiranti posti in tensione preventivamente saranno collegati a ciascuna trave per mezzo di cravatte metalliche ripiegate ad "U" e bullonate.

#### *Ancoraggi dei solai alle murature d'ambito*

Il restauro-consolidamento di un solaio dovrà soddisfare, oltre ai requisiti di adeguata resistenza ai carichi previsti dal progetto e di rigidità trasversale del proprio piano, (al fine di funzionare come diaframma di collegamento e ripartizione tra le strutture verticali) quelli di un efficace ancoraggio e collegamento con le murature perimetrali di supporto del solaio stesso così da poter garantire la corretta trasmissione degli sforzi.

#### *Cordolo continuo in cemento armato*

L'ancoraggio solaio-parete può essere ottenuto in svariate maniere tra le quali citiamo, anche se con numerose riserve, quello che la normativa antisismica prevede, ovverosia l'inserimento di un cordolo continuo in cemento armato adeguatamente dimensionato in ragione della consistenza del muro e delle dimensioni del solaio (di norma 15-20 cm di spessore e altezza non inferiore a quella del solaio) inserito "a strappo" nella muratura. La demolizione potrà essere eseguita tutta in una volta per l'intera lunghezza del muro o per "cantieri" separati a seconda che lo spessore e la tipologia della muratura siano in grado di garantire la relativa stabilità della struttura. Nel caso di un'unica soluzione si metteranno in opera le armature in acciaio nervato Fe B 44 K inossidabile o zincato (di norma 2+2 // 14-16 mm e staffe // 8/200-255 mm; in ogni caso l'armatura dovrà essere di almeno 8 cm<sup>2</sup>) collegandole opportunamente alla rete elettrosaldata della soletta del solaio. Una volta che il calcestruzzo della soletta, precedentemente gettata su tutto lo sviluppo del solaio, avrà raggiunto la necessaria consistenza si provvederà a stendere un'imprimatura nella zona di ripresa del getto e, previo posizionamento di idonea cassetta, si getterà il cordolo.

Nel caso in cui si vorrà realizzare il getto (laddove è consentito) per cantieri alternati si getterà la soletta per tutto lo sviluppo del solaio rimanendo distanti dal perimetro per circa 50 cm; una volta che il calcestruzzo avrà raggiunto la necessaria consistenza si disporrà, nei cantieri aperti (di norma vani di circa 100-150 cm intervallati l'uno dall'altro, comunque, indicati dalle prescrizioni di progetto o dalla D.L.) l'armatura e si effettuerà il getto, nella parte di soletta rimasta, e nei tratti di cordolo; al fine di permettere ai ferri dell'armatura di essere piegati ed inseriti nel cantiere successivo, il getto dovrà essere di circa 30 cm più piccolo rispetto alla lunghezza di ciascun vano. Si ricorda inoltre, che i ferri dovranno avere lunghezza tale da poter essere sovrapposti a quelli del cantiere limitrofo e che l'eventuale rete elettrosaldata della soletta, precedentemente piegata lungo i muri perimetrali, dovrà essere distesa all'interno dei cantieri aperti e collegata alla stessa armatura. Una volta che la resistenza del calcestruzzo lo consentirà, si procederà all'apertura del cantiere adiacente ripetendo la procedura descritta ed effettuando le opportune sovrapposizioni dei ferri. Per le caratteristiche specifiche minime del calcestruzzo si rimanda a quanto già detto per il consolidamento mediante sezioni miste.

Le riserve su questa tecnica fanno riferimento alla tipologia dell'intervento estremamente invasiva nei confronti dell'apparecchio murario che, di fatto, rimuovendo fasce di muratura esistente, introduce un elemento di discontinuità.

#### *Collegamento discontinuo in cemento armato a coda di rondine*

Per le medesime riserve espresse per i cordoli in c.a. saranno poco accettabili anche i collegamenti discontinui in cemento armato (anch'essi ricavati "a strappo" nella muratura) a sezione tronco-conica di altezza generalmente pari a quella del solaio (comunque non inferiore a 25 cm) per una profondità minima di 15-20 cm ed una larghezza, all'estremità della coda, variabile tra i 25 e i 40 cm. Questi cordoli saranno, in ogni modo, dimensionati ed armati seguendo le prescrizioni di progetto; in linea di massima si può indicare un'armatura con tondini nervati Fe B 44 K inossidabili o zincati piegati a "Z" (2+2 // 14-16 mm e n. 2/3 staffe // 8-10 mm) sporgenti nella soletta del solaio per una lunghezza minima di 20-25 cm e resi solidali alla stessa mediante saldatura in corrispondenza della rete. L'interasse dei cordoli-ancoraggi potrà variare in relazione alla consistenza ed alla tipologia della muratura, alle dimensioni del solaio ed alle indicazioni di progetto (di norma circa ogni 1,5-2 m). Il getto in calcestruzzo dovrà essere, preferibilmente, eseguito con continuità fra soletta e cordolo, nel caso questo non sia possibile si provvederà a stendere un'imprimatura nella zona di ripresa prima di gettare il cordolo.

#### *Collegamento mediante lame metalliche a V*

Si procede analogamente a quanto detto per l'ancoraggio delle travi alle murature d'ambito ad eccezione di qualche accorgimento:

- le lame di acciaio inossidabile di sezione minima 8x80 mm saranno collegate tramite viti autofilettanti di adeguate dimensioni direttamente sul tavolato per una lunghezza minima di 100 cm;
- i collegamenti saranno più ravvicinati di norma ogni 150-250 cm;
- ogni punto di ancoraggio sarà costituito da due piastre che formeranno tra loro un angolo di 45-60 gradi; queste ultime potranno essere ancorate alle murature esterne o attraverso un tondino metallico filettato saldato all'estremità e fissato con un bullone o attraverso una piastra ripartitrice metallica piegata ed inclinata normalmente alle lame di ancoraggio di dimensioni prescritte dai disegni di progetto (comunque non inferiori a 250x250x200x20 mm).

#### Collegamento mediante barre metalliche metodo "grip-round"

L'intervento prevede una spillatura perimetrale con barre di acciaio inossidabile o zincato Fe B 44 K (in alternativa si potrà utilizzare acciaio normale preventivamente trattato con boiaccia passivante anticarbonatante) ad adherenza migliorata per c.a. minimo // 14 mm inghisato in foro // 24 mm, o // 16 mm inghisato in // 36 mm, di lunghezza variabile, intervallate ogni 50-60 cm. La scelta del tipo di armatura sarà in relazione alla consistenza della muratura, alle dimensioni del solaio ed alle disposizioni di progetto. La procedura prevederà la perforazione della muratura con un'inclinazione, rispetto al piano trasversale della muratura, inferiore ai 45°, dopodiché si inseriranno le barre in acciaio nella muratura per una lunghezza minima di 20 cm ed infine si procederà all'iniezione di malta reoplastica a ritiro compensato fibrorinforzata ad alta duttilità o di resina epossidica bicomponente a consistenza colabile, secondo quanto stabilito dagli elaborati di progetto. Si ricorda che la barra dovrà essere sovrapposta alla rete elettrosaldata per una lunghezza non inferiore a 40-60 // della barra scelta (in ogni caso non inferiore ai 60 cm) e saldata alla rete stessa.

In alternativa alle barre singole si potranno usare anche doppi ferri sagomati ad "U" divaricata (1 +1 // 16 L = 60 cm circa intervallati ogni 2 m) saldati insieme dopo la posa in opera; la base della "U" può essere di circa 30-40 cm mentre, la lunghezza dei bracci è in relazione alla tipologia del muro ed a un'adeguata lunghezza d'ancoraggio. I due gambi della "U" dovranno essere sovrapposti e saldati alla rete elettrosaldata per una lunghezza minima di 40-60 cm. Previa perforazione (con strumento a rotazione) all'altezza dell'estradosso della soletta, con asse sul piano della stessa e per tutto lo spessore della muratura, si posizioneranno i ferri sagomanti, si salderanno insieme e successivamente si sigilleranno con iniezioni di malta reoplastica antiritiro o di resina epossidica bicomponente a consistenza colabile seguendo le prescrizioni di progetto o indicazioni della D.L.

In tutti quei casi dove non verrà messo in opera un cordolo perimetrale continuo, ma solamente collegamenti puntuali dell'orizzontamento lungo la muratura d'ambito, si procederà alla demolizione dell'eventuale intonaco fino al vivo della muratura (per uno spessore minimo di 5 cm) al fine di risvoltare la rete elettrosaldata (per es. tondi // 6 mm e maglia 100x100 mm) verso l'alto per circa 30-40 cm ed ancorarla alla muratura mediante spillature di acciaio zincato // 8-10 con lunghezza 50 cm disposte sfalsate; così facendo si realizzerà un "cordolo" di modeste dimensioni (circa 5x30 cm) poco invasivo ma sufficiente a solidarizzare l'armatura del solaio alla muratura.

#### Collegamento mediante profilati in ferro

L'intervento prevede l'uso di profilati metallici ad "L" o a "T" Fe 360 o Fe 430 (per es. 60x80x8 mm) di forte spessore (8-10 mm) bullonati a "spilli filettati" da collocare all'intradosso in caso di solai caratterizzati da pavimentazioni di pregio da conservare o, più spesso, in estradosso, nel caso di solaio a cassettoni, travi affrescate o, più semplicemente, in caso di smontaggio dell'estradosso dovuto ad un'operazione di consolidamento "globale" del solaio. In entrambi i casi l'angolo verrà fissato per tutta la muratura d'ambito per mezzo di barre filettate AISI 316L // 16 mm, inghisate in fori // 26 mm orizzontali o inclinate a 45° sul piano del muro, alternativamente verso destra e verso sinistra in funzione della dimensione e durezza della muratura per una lunghezza minima di 20 cm. Si sottintende che il profilato, prima della sua messa in opera, sia stato preventivamente forato. La sigillatura delle barre avverrà mediante betoncino reoplastico a ritiro compensato o miscela a base di resina epossidica bicomponente. In caso di profilato da porre nell'intradosso del solaio ogni testa di trave sarà incassata in una gola metallica che verrà saldata al profilato ad "L". Le travi saranno vincolate alle gole tramite vincolo a cerniere fornito da bullonatura passante // 10 mm. In alternativa si potrà collegare la trave direttamente al profilato per mezzo di barre filettate in acciaio inossidabile inghisate nel legno con resina epossidica a consistenza tissotropica vincolate al profilato mediante dado cieco in acciaio. In caso di profilato posto sull'estradosso questo verrà più semplicemente saldato alla rete elettrosaldata della soletta in cls.

Questo tipo di intervento sarà possibile e consigliabile solo in presenza di murature costituite da blocchi lapidei squadrati o sbazzati costituiti da pietrame omogeneo di resistenza a compressione media o con murature in laterizio.

In caso di solai complanari e contigui, muniti entrambi di questo tipo di cordolo, sarà conveniente collegare i due cordoli con apposite barre filettate passanti vincolate con doppi dadi, così da garantire anche una continuità strutturale tra le due unità.

#### Collegamenti fra solai complanari e contigui

L'intervento si pone di garantire la massima continuità strutturale fra solai che, pur essendo complanari e contigui, non sono collegati tra loro. La casistica potrà essere semplificata in due gruppi:

- solai con orditure tra loro parallele (unione sul lato della luce, sul lato della testa delle travi, travi attestare, travi sfalsate);
- solai con orditure tra loro perpendicolari.

Le procedure d'intervento sono molto simili a quelle utilizzate per le connessioni del solaio con le murature perimetrali, ad eccezione di alcune varianti dettate dalle diverse particolarità.

Nei casi di collegamento sul lato della luce (su solai con orditure parallele) ogni collegamento tra i vari solai avverrà al livello dell'estradosso del tavolato esistente mediante l'ancoraggio (con viti tirafondi) di una coppia di piatti di acciaio inossidabile 18/8 AISI 304L o zincato a caldo (sezione minima 8x80 mm) che si incroceranno ad "X" all'interno della muratura formando un angolo di circa 60°. I collegamenti avverranno ogni 2-2,5 m ovvero seguendo le prescrizioni di progetto o le indicazioni della D.L. Questa soluzione si adotterà anche nei casi di solai con orditure tra loro perpendicolari. In alternativa alle piastre si potranno utilizzare delle barre in acciaio Fe B 44 K inossidabile o zincato (in alternativa si potrà utilizzare acciaio normale preventivamente trattato con boiaccia passivante anticarbonatante) ad adherenza migliorata per c.a. // 14 mm da saldare alla rete elettrosaldata della soletta.

Nei casi di collegamento sul lato della testa delle travi con travi attestate l'unione avverrà tramite una staffa metallica di acciaio inossidabile o zincato piatta (sezione minima 5x50 mm) passante nella muratura ed ancorata alle travi sulla faccia superiore o su quella laterale. Di norma, salvo prescrizioni particolari di progetto, l'intervento verrà eseguito su tutte le travi; le piastre dovranno essere collegate ad ogni estremità per una lunghezza non inferiore a 40 cm mediante idonea chiodatura (minimo due viti tirafondi intervallate da 15 cm per ogni testa).

Nei casi di collegamento sul lato della testa delle travi con travi sfalsate si potrà procedere collegando ogni singola trave alla muratura come già illustrato, preferendo l'attacco a piastra per evitare il più possibile le opere di demolizione della muratura; in alternativa, se le travi sono in adiacenza si potranno collegare mediante staffatura metallica (in acciaio inossidabile o zincato sezione minima 5x50 mm) da inserire tra trave e trave fermata, con viti tirafondi distanziate ogni 15 cm, alla trave da una controstaffa di adeguate dimensioni.

#### Rigenerazione di testate di travi

La rigenerazione delle testate delle travi verrà realizzata con l'esecuzione di procedure e tecniche (ricostruzione mediante protesi in legno e ricostruzione mediante concrezioni epossidiche ed elementi di rinforzo) previste e descritte nel paragrafo sulla rigenerazione di testate di travi e nodi di incavallature.

## OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO SOLAIO IN FERRO E LATERIZIO

Prima di effettuare qualsiasi intervento di consolidamento di strutture in ferro dovranno essere effettuate una serie di procedure preliminari simili a quelle previste per i solai in legno. Nel caso si debba ricorrere allo smontaggio dell'estradosso del solaio, sarà buona norma assicurarsi che le putrelle in ferro, che costituiscono la struttura primaria del solaio, non possano spostarsi reciprocamente nel senso orizzontale durante l'operazione. Questo potrà essere evitato mettendo in opera un sistema di presidio temporaneo molto semplice ma altrettanto efficace che consisterà nel collegare, provvisoriamente, le travi sull'intradosso saldandovi tre barre in acciaio (una in mezzzeria e due ai bordi degli appoggi). Una volta assicurata la distanza fissa tra le travi si potrà procedere, allo smontaggio manuale della struttura soprastante le putrelle (pavimento, sottofondo materiale di riempimento) fino al rinvenimento della sua ala e dell'estradosso del piano di laterizio; si demolirà anche una striscia perimetrale di intonaco per una altezza di circa 15-20 cm. Si procederà, quindi, alla pulitura al metallo bianco dei profilati con mola a smeriglio o con sistemi indicati da prescrizioni di progetto, al fine di rimuovere qualsiasi residuo di malta o ruggine.

### Appoggi

Nel caso in cui si ritenga non sufficiente la lunghezza della trave o si voglia ripartire meglio il carico sulla muratura, si potrà posizionare sotto l'ala inferiore della putrella una robusta piastra metallica (spessore minimo 10 mm) in acciaio inox Fe 430 di dimensioni minime 200x200 mm, fissata alla trave per mezzo di cemento espansivo ad alta resistenza.

### Consolidamento mediante cappa in cemento armato

L'intervento sarà applicabile in tutti i casi in cui l'orizzontamento, affidabile dal punto di vista del dimensionamento e dello stato di conservazione dei materiali, per esigenze progettuali debba essere ulteriormente irrigidito e rafforzato. La messa in opera di una caldana in cls armata continua e collaborante con i profilati metallici permetterà di ottenere un aumento della sezione resistente del solaio, di migliorarne la rigidezza e la ripartizione dei carichi di esercizio.

La procedura prevederà la saldatura a caldo sull'estradosso del profilato di un traliccio costituito da una barra di acciaio inossidabile o zincato Fe B 44 K ad aderenza migliorata, dimensionata seguendo indicazioni di progetto (minimo  $\text{///}$  12 mm), sagomata a zig-zag (con passo di 400 mm) ovvero a greca. In alternativa si potranno saldare dei "cavallotti" sagomati ad omega (W) ricavati con tondini di acciaio inox Fe B 44 K ad aderenza migliorata, (minimo  $\text{///}$  14 mm) con interasse di circa 10-15 cm. Previo posizionamento di rete in acciaio elettrosaldato Fe B 38 K adeguatamente dimensionata come da indicazioni di progetto (ad es. tondi  $\text{///}$  6 mm e maglia 100x100 mm), ed abbondante irrorazione con acqua dell'estradosso, si procederà al getto della soletta in cls di altezza tale da ricoprire uniformemente l'ala superiore delle travi (minimo 4 cm). L'impasto di calcestruzzo da utilizzare dovrà avere i requisiti richiesti dagli elaborati di progetto con una resistenza minima di 30 N/mm<sup>2</sup>.

### Consolidamento mediante piatto metallico

L'intervento si pone l'obiettivo di evitare la genesi di lesioni sulla linea di chiave delle voltine, in laterizio, dissesto sovente causato sia dal profilo estremamente ribassato delle voltine sia dal distanziamento reciproco tra i profilati.

L'intervento prevederà, pertanto, la messa in opera di un piatto in acciaio inossidabile 18/8 AISI 304L o zincato a caldo (sezione minima 8x80 mm) posto in mezzzeria e saldato sull'ala delle travi. Nel caso in cui l'ala si dovesse trovare ad una quota inferiore rispetto alla chiave della voltina si disporranno, sopra la trave, dei distanziatori costituiti da blocchetti in acciaio zincato di adeguata altezza. Il piatto sarà ancorato alla muratura d'ambito attraverso una piastra di acciaio (di dimensioni dettate dai disegni di progetto, comunque non inferiori a 10x150x150 mm) da annegare nella muratura o in alternativa potranno essere saldati due monconi di acciaio Fe B 44 K inossidabile ad aderenza migliorata per c.a. (minimo  $\text{///}$  14 mm) piegati e divergenti da annegare nella muratura.

### Miglioramento del collegamento del solaio ai muri d'ambito

L'intervento si pone lo scopo di migliorare le inadeguatezze negli appoggi e negli ancoraggi con le murature. Sovente, infatti, le teste delle travi (in caso di evento sismico, o perché irrisoriamente infisse nelle murature, o per la conseguenza di eventuali dilatazione o di vibrazioni, od infine, per disgregazione del legante) presentano la propensione a sfilarsi non risultando più solidali con le murature; inoltre non di rado risulta essere assente l'unione nei lati paralleli all'orditura, ad eccezione di un appoggio diretto, e spesso instabile, dell'ultimo elemento in laterizio sull'apparecchio appena scanalato per ricavarvi un minimo alloggiamento.

### Collegamento della singola trave

Il protocollo operativo si basa sul metodo del grip-round con delle leggere modifiche dovute alla diversa tipologia del solaio. Sarà prevista l'esecuzione di uno scasso nella muratura al fine di liberare la trave per un intorno minimo di 15-20 cm ai lati e all'estradosso. Previa accurata pulitura si salderanno (saldatura a cordone d'angolo Fe 430) all'anima degli spezzoni di tondo di acciaio inox Fe B 44 K ad aderenza migliorata (minimo 4  $\text{///}$  14/600 mm) opportunamente uncinati che costituiranno il collegamento tra la trave e la muratura perimetrale.

In alternativa si potrà saldare all'ala dei ferri precedentemente piegati ed inghisati (minimo 2  $\text{///}$  14/1200 mm in  $\text{///}$  34 mm) nella muratura in fori inclinati di 45° rispetto al piano del solaio e sigillati con malta reoplastica antiritiro o di resina epossidica a consistenza tissotropica seguendo le prescrizioni di progetto o indicazioni della D.L.

In entrambi le soluzioni i ferri dovranno sovrapporsi alla trave per non meno di 40 cm oltre l'appoggio; previa abbondante bagnatura e con l'ausilio di eventuale cassetta lignea, si procederà prima al riempimento dello scasso (è consigliabile che questa procedura venga eseguita e completata per ogni singola trave prima di passare alla successiva, onde evitare lesioni sia al solaio che alla muratura di appoggio) e, successivamente, al getto della soletta (spessore minimo 4 cm) seguendo i requisiti richiesti dagli elaborati di progetto.

### Collegamento continuo

In alternativa a collegare ogni singola putrella si potrà procedere ad un ancoraggio continuo perimetrale di tutte le travi con la muratura d'ambito mediante la messa in opera sull'estradosso del solaio (o in presenza di pavimenti di particolare pregio sull'intradosso) di un profilo ad "L" in acciaio inossidabile Fe 360 di forte spessore (minimo 8-10 mm) di dimensioni opportune (ad es. 80x120x10 mm)

dettate dai disegni di progetto. L'angolare verrà ancorato alle travi per mezzo di saldature a cordone d'angolo Fe 430 (se sarà necessario si potranno utilizzare spessori in acciaio inox, anch'essi saldati, al fine di eliminare eventuali differenze di quote) e vincolato alla muratura per mezzo di barre filettate AISI 316L // 16 mm inghissate in fori // 26 mm seguendo la procedura già esposta negli articoli del consolidamento di solai in legno.

## CONSOLIDAMENTO STRUTTURE VOLTATE

### OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO DI VOLTE IN MURATURA (LATERIZIO E/O PIETRA)

Prima di mettere in pratica qualsiasi procedura di consolidamento che di seguito verrà enunciata, sarà opportuno seguire delle procedure e delle verifiche indirizzate alla conoscenza dell'unità voltata oggetto d'intervento; queste operazioni inoltre salvaguarderanno l'integrità di ogni singolo elemento che compone l'unità strutturale e creeranno le condizioni atte a garantire la corretta esecuzione e l'efficacia dell'intervento.

#### Verifiche preliminari

- Riconoscimento ed identificazione dello schema di funzionamento statico del sistema voltato;
- analisi dei materiali e della funzione strutturale dei singoli elementi;
- accertamento delle caratteristiche fisiche e meccaniche della volta e dei singoli elementi che ne fanno parte;
- analisi del quadro fessurativo e conseguente studio del degrado;
- valutazione complessiva del comportamento dell'unità strutturale.

#### Stuccature preliminari

Si procederà alla stuccatura con malta idraulica di tutte le eventuali lesioni o soluzioni di continuità localizzate all'intradosso della volta seguendo le prescrizioni della D.L.

#### Puntellatura

Tutta la volta oggetto d'intervento dovrà essere preventivamente sostenuta da un sistema di centine simile a quello utilizzato per la costruzione; si dovrà, inoltre, provvedere alla messa in opera d'adeguate sbatacchiature al fine di contrastare la spinta di volte contigue. In presenza di porzioni di volte affrescate, ovvero decorate, a contatto con i puntelli, queste dovranno essere protette con i sistemi ritenuti più idonei dalla D.L.; si ricorda, inoltre, che le opere di sostegno dovranno insistere su un piano di appoggio assolutamente sicuro.

#### Rimozione materiale inerte

Tutto il materiale (pavimento, sottofondo, eventuale piano di posa, materiale di rinfiango) sovrapposto alla volta dovrà essere rimosso; questa operazione dovrà essere effettuata manualmente e dovrà avanzare (per strati paralleli e successivi fino al vivo dell'estradosso della volta) a partire dalla zona di chiave fino ad arrivare all'esterno della volta facendo attenzione di conservare l'integrità dei materiali. Secondo la tipologia di volta la rimozione seguirà direzioni differenti: nelle volte a botte si procederà per tratti di uguale dimensione a partire da entrambi i lati della generatrice superiore fino a raggiungere i rinfianchi; nelle volte a padiglione ed a crociera, si inizierà dal centro proseguendo lungo i quattro fronti, seguendo le generatrici in quella a padiglione, o seguendo la direzione degli anelli in quella a crociera, fino a giungere il livello di imposta (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto nel paragrafo specifico sullo smontaggio delle strutture voltate).

#### Pulizia dell'estradosso

Si eseguirà la pulitura rimuovendo (mediante spazzole di saggina, raschietti, aria compressa aspiratori od altri sistemi ritenuti idonei dalla D.L.) le malte leganti degradate, i detriti che si presenteranno aridi ed inconsistenti e tutto ciò che potrebbe in qualche modo ostacolare le successive operazioni di consolidamento.

#### Consolidamento mediante materiali compositi (FRP)

L'intervento si pone il fine di non modificare i meccanismi resistenti nelle normali condizioni di esercizio; il nuovo sistema muratura-fibra si manifesterà soltanto in caso di particolari sollecitazioni (ad. es. in caso di sisma) per cui saranno richieste prestazioni che la volta non sarà capace di sostenere.

Questo sistema si potrà utilizzare in presenza di superfici voltate in condizioni di avanzato dissesto (in particolare con intradossi affrescati o comunque con decori da tutelare), per cui dovrà essere evitata la bagnatura estradosale (consolidamento "a secco"), sarà opportuno ridurre al minimo l'incremento del peso delle strutture (normalmente i placcaggi delle superfici potranno oscillare tra 4,5-9 kg/m<sup>2</sup>) e l'eventuale stress al precario organismo strutturale.

Questa tecnica si basa sull'utilizzazione di nastri di tessuto, di varie dimensioni, in fibre secche (carbonio, aramidica, vetro) unidirezionali (fibre orientate secondo un'unica direzione), bidirezionali (fibre orientate secondo direzioni 0° e 90°) o biassiale (fibre inclinate a  $\pm 45^\circ$ ) con elevate caratteristiche meccaniche a trazione ed alta resistenza agli alcali, applicati e "laminati" alla struttura (tecnica "wet lay up"); questo consente di costituire un materiale "composito" direttamente in opera, mediante l'impiego di una matrice a base di resine epossidiche (o resine poliestere) bicomponenti a bassa viscosità, che assicurano sia il trasferimento delle sollecitazioni alle fibre di rinforzo, sia la protezione della fibra da attacchi di tipo chimico o meccanico o da variazioni di temperatura.

I vantaggi derivanti dall'utilizzo dei materiali FRP risiederanno in:

- intervento non invasivo, rimovibile e perfettamente adattabile alla forma dei supporti curvilinei con la conseguente riduzione della vulnerabilità sismica;
- conservazione di traspirazione della volta in muratura;
- conservazione degli schemi statici originali con aumento della resistenza e della duttilità;
- assorbimento di carichi asimmetrici con aumento delle capacità portanti ed invariabilità del peso proprio della struttura.

Le fasce di FRP andranno opportunamente orientate secondo gli assi di riferimento, le linee di frattura (ovvero del quadro fessurativo precedentemente rilevato) e di forza individuate; per il loro posizionamento sarà consigliabile prefiggersi i seguenti scopi:

- fornire capacità di resistenza a trazione nei settori di volta maggiormente sollecitati da eventuali azioni orizzontali, ad esempio mediante una cerchiatura al livello delle reni della volta;
- incrementare il dispositivo resistente agli archi longitudinali e trasversali mediante placcaggio estradosale ovvero intradosale;

– impedire eventuali lesioni a cavallo delle nervature (volte a crociera, a padiglione ecc.) specialmente in presenza di volte affrescate o, comunque, con intonaci da tutelare.

Prima un'accurata pulitura dell'estradosso della volta al fine di eliminare depositi superficiali, polveri e materiale incoerente, si procederà alla preparazione della superficie stuccando e livellando eventuali fessurazioni ed irregolarità con malta a base di calce cercando di disporre superfici il più regolari possibile (lo scarto tra livelli superficiali contigui dovrà essere inferiore a 1 mm); in questa fase andrà, inoltre, identificato prima e studiato poi il quadro fessurativo della volta per determinare il numero, la disposizione e la grammatura delle fasce di rinforzo. Successivamente si procederà alla stesura (da parte di operatore specializzato) di due strati preparatori: un primer di resina epossidica fluida a bassa viscosità esente da solventi da stendere a pennello od a rullo (lavorabilità a 20 °C 480 min, temperatura minima di applicazione 10-12 °C indurimento al tatto a 20 °C 16-18 ore) al fine di migliorare l'efficacia d'aggrappaggio al supporto del sistema FRP. La quantità da applicare è variabile a seconda della porosità e della scabrezza della muratura (in media circa 0,2 l/m<sup>2</sup>); nel caso in cui la prima mano fosse troppo assorbita dal supporto si potrà ricorrere ad una nuova stesura.

Passate almeno 6 ore (ovvero fino a quando il primer non risulterà più appiccicoso), comunque entro le 24 ore successive, si applicherà, se richiesta dal progetto (ovvero nei casi in cui la superficie si presenti irregolare o quando la consistenza del supporto necessiti di un rinforzo supplementare), una rasatura per uno spessore di circa 1-2 mm, stesa a mezzo di spatola o frattazzo, (lavorabilità a 20 °C 30-40 min, temperatura minima di applicazione 5 °C, resistenza a trazione diretta 12-24 MPa, resistenza a trazione per flessione  $\geq 35$  MPa, modulo elastico 180-220 GPa, indurimento al tatto a 20 °C 8-10 h) costituita da stucco epossidico (bicomponente) compatibile con il primer e con il successivo adesivo. Trascorso il tempo necessario (comunque entro le 24 ore successive) per ottenere la condizione di fuori tatto si stenderà, uniformemente sulla superficie della volta mediante pennello o rullo (a pelo corto), e fresco su fresco, sopra le zone precedentemente trattate con il primer, ovvero con la rasatura, un adesivo epossidico (bicomponente) a consistenza tissotropica (lavorabilità a 20 °C 30-40 min, temperatura minima di applicazione 10-12 °C, resistenza a trazione diretta  $\geq 30$  MPa, resistenza a trazione per flessione  $\geq 50$  MPa, modulo elastico a trazione diretta 300-350 GPa, allungamento a rottura 2-5%, assorbimento acqua 0,05-0,3%, indurimento al tatto a 20 °C 16-18 h); seguirà l'immediata applicazione dei nastri di rinforzo (seguendo le indicazioni di progetto e comunque opportunamente orientati secondo gli assi di riferimento, le linee di frattura e di forza individuate) esercitando una pressione regolare, per 2 o 3 volte, nella direzione longitudinale della fibra mediante un rullino di gomma rigida o a denti smussati al fine di eliminare sia l'eventuale aria dallo strato di resina, sia per completare l'impregnazione del nastro. I nastri saranno costituiti da strisce di larghezza variabile da un minimo di 10 cm ad un massimo di 100 cm in tessuto di fibra con spessore a secco variabile a seconda della natura della fibra (ad es. per fibre unidirezionali si potranno avere: carbonio circa 0,16 mm, vetro circa 0,23 mm, aramidica circa 0,21 mm); anche il peso sarà variabile in rapporto al materiale ed alla tipologia della fibra (per es. fibre di carbonio unidirezionali peseranno circa 330-500 g/m<sup>2</sup>, mentre fibre di carbonio bidirezionali peseranno circa 450-600 g/m<sup>2</sup>). Il nastro dovrà presentarsi ben steso e ben ancorato; le eventuali sovrapposizioni, nella direzione longitudinale, dovranno essere di almeno 20-30 cm mentre, nella direzione trasversale potranno essere più ridotte (saranno sufficienti 2-5 cm).

Passata almeno 1 ora si procederà alla stesura della "seconda mano" di adesivo. Se specifiche di progetto o prescrizioni della D.L. indicheranno più strati di composito si ripeteranno le operazioni enunciate precedentemente. Nel caso d'interventi su intradossi di volte, da ripristinare con finitura ad intonaco al fine di consentire l'aggrappaggio dell'arriccio dell'intonaco, si potrà ricorrere all'applicazione, sulla mano finale di resina non ancora indurita, di uno spolvero di sabbia di quarzo.

#### Avvertenze

Sarà necessario far presente che, nel consolidamento di volte in muratura, il dimensionamento dei nastri potrà ritenersi un fattore abbastanza marginale, in quanto il grado di resistenza a trazione, necessario per aumentare la resistenza di una volta, sarà sempre molto al di sotto delle prestazioni minime dei materiali FRP. Altri sono i fattori ai quali si dovrà prestare attenzione, tra questi ci saranno sicuramente il corretto posizionamento dei nastri, la loro idonea "impregnatura" con la resina e la presenza di un doppio strato di nastro. Quest'ultimo aspetto sarà in funzione non tanto del fornire una maggior resistenza all'unità strutturale (resistenza, generalmente, già sufficientemente fornita da un solo nastro), quanto piuttosto del garantire una miglior risposta ad eventuali sollecitazioni "passive", normali alle fibre che possano intervenire a causa delle irregolarità della superficie di supporto (da qui l'importanza di livellare la superficie di posa). Un doppio strato si rivelerà meno "delicato" nei punti angolosi grazie al frazionamento delle "sollecitazioni" dovuto alla presenza di più resina e al non perfetto parallelismo tra le fibre dei due strati. Dovrà essere fatta particolare attenzione nel rispettare i rapporti di miscelazione ed i tempi di catalizzazione del primer e dell'adesivo epossidico; in caso contrario, infatti, potrebbero verificarsi dannose esfoliazioni degli strati.

#### Fasciatura dell'estradosso con FRP

##### Volta a crociera

Prima esecuzione delle procedure preliminari si procederà alla messa in opera di uno strato di calcestruzzo (malta idraulica pozzolanica reoplastica, fibrorinforzata caricata con sabbia grossa) dello spessore necessario a raccordare la curvatura degli archi perimetrali della volta con la zona dei peducci d'imposta della stessa; questa superficie d'appoggio dovrà essere perfettamente livellata con malta di calce idraulica, dopodiché si procederà con la sequenza descritta al paragrafo precedente (primer, adesivo epossidico, nastro FRP, seconda mano d'adesivo epossidico). Il posizionamento dei nastri, in special modo in presenza di volte in laterizio disposto in foglio (con conseguente sezione resistente di spessore ridotto), seguirà, se non altrimenti specificato dai disegni di progetto, il perimetro (ovverosia le unghie a contatto con le pareti di supporto) e le nervature diagonali dell'estradosso della volta, in presenza di dissesti avanzati si potrà effettuare un placcaggio anche lungo le direttrici di chiave. Nel caso di volte in laterizio disposto a taglio con non evidenti dissesti strutturali potrà essere sufficiente collocare le strisce di tessuto solamente lungo il perimetro. In entrambi i casi sarà consigliabile dotare il dispositivo resistente di un ancoraggio con lo scopo di porre resistenza all'eventuale formazione di cerniere sui piedritti. Questi ancoraggi saranno costituiti da un dormiente di malta idraulica pozzolanica, a ritiro compensato fibrorinforzata a consistenza tissotropica, da una piastra d'acciaio inox 18/8 AISI 304L o zincata (dimensioni minime 8x200x200 mm) munita di un cuneo (anch'esso di acciaio) e da un tirante di ancoraggio costituito da una barra filettata di acciaio inox AISI 316L (minimo  $\varnothing$  16-20 mm) inserita in un perforo diagonale (minimo  $\varnothing$  26-30 mm) eseguito con strumento a rotazione (e non a percussione per evitare eccessive sollecitazioni dinamiche che potrebbero danneggiare la muratura) per una profondità sufficiente a garantire un idoneo ancoraggio (minimo 90 cm). La barra verrà sigillata mediante betoncino di malta idraulica reoplastica a ritiro compensato fibrorinforzata ad alta duttilità o di resina epossidica bicomponente a consistenza colabile esente da solventi (secondo quanto stabilito dagli elaborati di progetto); l'ancoraggio sarà, inoltre, vincolato alla piastra tramite doppio dado in acciaio.

#### Volta a padiglione

La procedura seguirà quella descritta agli articoli precedenti ad eccezione d'alcune precisazioni sul posizionamento dei rinforzi. I nastri FRP dovranno essere collocati seguendo le indicazioni fornite dalle deformazioni e dai dissesti tipici di questo tipo di volte, pertanto si posizioneranno i nastri sia lungo il perimetro della volta (al fine di confinare la base del padiglione), sia trasversalmente allo scopo di incrementare la resistenza dell'arco alle eventuali sollecitazioni orizzontali; infine, si prevedranno delle fasciature più modeste, a cavallo delle nervature delle unghie di testata, così da evitare l'eventuale allargamento delle stesse. Anche in questo caso sarà opportuno dotare il sistema resistente di un idoneo ancoraggio volta-piedritto.

#### Fasciatura dell'estradosso con FRP e posa in opera di arco di rinforzo o frenello

Il semplice intervento di "rivestimento" con FRP del perimetro e delle nervature, pur rilevandosi efficace può, talvolta, (specialmente in presenza di volte di laterizio in foglio con sezioni molto modeste) non essere sufficiente ad impedire il formarsi di cerniere in chiave con conseguenti dissesti all'unità strutturale. In questi casi si potrà ricorrere all'ausilio di tecniche cosiddette premoderne, ovvero sia all'aumento dello spessore in chiave attraverso la messa in opera di archi di rinforzo sull'estradosso in laterizio ad una testa, ovvero di frenelli in laterizio (per la messa in opera di questi "presidi" si rimanda a quanto detto nel paragrafo sui rinfianchi cellulari); in questo modo si darà vita ad un organismo monolitico la cui modalità di collasso dovrà essere ricercata solo nell'eventuale rotazione dei piedritti: cinematisimo evitabile inserendo un adeguato ancoraggio volta-piedritto (si veda paragrafo precedente).

#### Consolidamento sull'intradosso con barre in FRP

L'intervento è mosso dalla necessità di rinforzare l'intradosso della volta segnato da forti lesioni. Previa eventuale rimozione dell'intonaco si procederà alla creazione di scanalature di modesta sezione (circa 20x20 mm) con il solo ausilio di mezzi manuali (mazzetta e scalpello) al fine di creare un alloggio per il posizionamento di barre di fibra di carbonio pultruse, ad aderenza migliorata (conseguita mediante sabbiatura superficiale di quarzo sferoidale e/o spirale esterna) di dimensioni e caratteristiche dettate da prescrizioni di progetto ( $\varnothing$  7-12 mm, modulo elastico 200-240 GPa, resistenza a trazione media 2500-3000 MPa, deformazione ultima 1,5-2%). Successivamente questa scanalatura sarà sigillata con adesivo strutturale, a base di resina epossidica (bicomponente) a consistenza tissotropica priva di solventi, steso a spatola (caratteristiche meccaniche medie: temperatura minima di applicazione 5-10 °C, resistenza a trazione diretta  $\geq 30$  MPa, resistenza a trazione per flessione  $\geq 35$  MPa, modulo elastico a trazione diretta 750 GPa). Una volta terminata la fase di indurimento della resina si potrà provvedere alla nuova intonacatura della volta.

#### Consolidamento dell'estradosso mediante cappa armata con barre in FRP

Il protocollo si pone l'obiettivo di risolvere problematiche dovute all'incremento di carico di strutture voltate e, allo stesso tempo, ha il fine di aumentare la sezione resistente. La procedura prevedrà, previa esecuzione delle operazioni preliminari, la messa in opera di una cappa armata a spessore traspirante costituita da un getto di calce idraulica pozzolanica, fibrorinforzata a consistenza tissotropica (spessore minimo 4 cm) caricata con inerti silicei di grammatura dettata da disposizioni di progetto.

L'armatura sarà costituita da barre di fibra di carbonio pultruse, ad aderenza migliorata ( $\varnothing$  7-12 mm, modulo elastico 200-240 GPa, resistenza a trazione media 2500-3000 MPa, deformazione ultima 1,5-2%); il numero ed il diametro saranno dettati da calcoli di progetto (se non altrimenti specificato verranno montate 2  $\varnothing$  8 mm lungo il perimetro, le nervature e le direttrici in chiave della volta). Queste barre, posizionate sull'estradosso della volta, non saranno ancorate al supporto ma solamente appoggiate a questo; al fine di evitare scorrimenti si posizioneranno preventivamente dei chiodi (in acciaio inox) distanziati di circa 20-30 cm, alternati a sinistra ed a destra in modo da creare una sorta di guida alla barra. Previa perforazione (mediante mezzi meccanici a rotazione) della muratura d'ambito si procederà ad ancorare a questa le estremità delle barre mediante adesivo epossidico bicomponente a consistenza tissotropica, privo di solventi.

#### Consolidamento mediante posa in opera di rinfianchi cellulari (frenelli)

L'intervento si pone il fine di alleggerire la spinta attraverso l'asportazione delle masse non strutturali di rinfianco, più o meno pesanti, che insistono sulla volta (in condizioni statiche questo materiale incoerente stabilizza le reni impedendone l'innalzamento) e nel ristabilire l'equilibrio della curva delle pressioni interne attraverso la messa in opera di frenelli (muretti leggeri e di modesto spessore) localizzati ortogonalmente alle generatrici delle falde cosicché si possano distribuire omogeneamente i carichi e, allo stesso tempo, irrigidire complessivamente il sistema volta.

Previa esecuzione delle operazioni preliminari si procederà alla raschiatura e spazzolatura dei giunti di malta della volta sull'estradosso, dopodiché si passerà all'esecuzione di una sottile cappa tramite boiaccia di malta a base di calce idraulica naturale (eventualmente additivata con pozzolana o cocciopesto) al fine di "saturare" gli eventuali giunti sconnessi fra gli elementi lapidei o laterizi. A presa avvenuta si provvederà, seguendo le indicazioni di progetto (dove dovranno essere specificate la quantità e la "forma"), a gettare la massa di calcestruzzo alleggerito (cemento 100 kg/m<sup>3</sup>, argilla espansa 1 m<sup>3</sup>) che andrà a costituire il nuovo rinfianco della volta. L'operazione procederà con la messa in opera dei rinfianchi cellulari (frenelli) costituiti da mattoni pieni o semipieni (per le volte reali) o forati (per le volte in foglio) allettati con malta idraulica; l'interasse e la dimensione dei frenelli saranno quelli indicati dalle prescrizioni di progetto, di norma lo spessore non sarà superiore alla sezione, in chiave, della volta (generalmente una testa 12-13 cm) e l'interasse potrà variare tra gli 80 e i 110 cm (a seconda della luce della volta, del suo spessore e del sovraccarico previsto). Al fine di impedire i naturali scorrimenti fra la superficie della volta e il rinfianco, questo verrà ancorato all'estradosso della volta tramite prese (almeno 4 per metro) costituite da spillature metalliche (sporgenti dall'estradosso per almeno 10 cm) annegate nella muratura, di tipo e diametro indicato dagli elaborati di progetto e/o indicati dalla D.L. (in ogni caso il diametro minimo sarà 6-8 mm e l'acciaio utilizzato potrà essere di tipo inossidabile, zincato o normale trattato con boiaccia passivante anticarbonatante). In presenza di strutture con luci notevoli (superiori a 4-5 m) si renderà necessario disporre una seconda orditura di frenelli normali ai primi con lo scopo di impedire eventuali spostamenti laterali. In alternativa ai frenelli in muratura si potranno utilizzare riempimenti di calcestruzzo alleggerito con argilla espansa, vermiculite o pomice come da prescrizioni di progetto.

Un accorgimento da tenere presente è che le camere d'aria, che si verranno a creare tra l'estradosso della volta e la pavimentazione soprastante, non siano ermetiche ma comunicanti tra loro al fine di consentire la circolazione d'aria; per questo motivo, all'interno dell'apparecchio dei frenelli (sia primari che, eventualmente, secondari) si dovranno lasciare dei fori di areazione. Dietro specifica richiesta della D.L. le aperture potranno essere posizionate in modo da consentire il passaggio di canalizzazioni impiantistiche.

Sui frenelli si imposterà il nuovo piano di solaio che potrà essere costituito da tavelloni in laterizio (spessore minimo 6 cm) o da una lamiera di acciaio zincata e grecata con bordi ad incastro dello spessore minimo di 8/10 (seguendo le prescrizioni di progetto) sulla quale

verrà gettata una soletta di 4-5 cm, precedentemente armata con una rete in acciaio elettrosaldato Fe B 38 K, adeguatamente dimensionata (comunque non inferiore a  $\sqrt{\sqrt{6}}$  mm con maglie 100x100 mm o 200x200 mm). Il posizionamento dei frenelli sarà, ovviamente, differente a seconda della tipologia di volta: in una volta a botte i frenelli saranno disposti paralleli al piano trasversale della stessa; in una volta a padiglione i frenelli si disporranno a 90° con il vertice posto sulle generatrici della volta, infine, in una volta a crociera, saranno ugualmente a 90° ma disposti ad anello verso il centro.

Questa tecnica di consolidamento potrà essere messa in opera solo quando la volta risulterà sufficientemente stabile, presenti modeste deformazioni sul suo profilo e in un buon stato di conservazione dei materiali.

#### Consolidamento con tirante metallico

L'intervento si pone il fine di presidiare i meccanismi di spinta presenti in un sistema voltato, collaborando ed assorbendo la componente orizzontale della spinta, diretta diagonalmente verso il basso. Generalmente saranno messi in opera alle reni della struttura (ovverosia in posizione staticamente più corretta ed efficace); talvolta, comunque, potranno essere posizionati anche all'imposta, o all'estradosso, parzialmente annegati nella muratura in corrispondenza della chiave.

L'intervento consisterà nel posizionamento di tiranti in acciaio Fe 360, adeguatamente dimensionati secondo le prescrizioni di progetto (comunque non inferiori a  $\sqrt{\sqrt{16}}$  mm e lunghezza massima 20 m), a livello dell'imposta della volta. Il dimensionamento e la tipologia di ancoraggio (paletto, piastra, tirafondi, fialoide ecc.) del tirante saranno in relazione sia al tipo ed allo stato di conservazione della muratura dei piedritti, sia al fatto che la reazione al punzonamento del muro dovrà essere almeno uguale alla spinta orizzontale esercitata dalla volta. L'interesse tra i tiranti sarà tanto più modesto quanto più sottile sarà la sezione del muro su cui agiranno gli ancoraggi e quanto più avanzato sarà il dissesto della struttura.

La procedura operativa d'intervento seguirà quella prevista nel paragrafo sul consolidamento delle murature con tiranti metallici orizzontali.

#### Avvertenze

Questo tipo d'intervento non sarà sufficiente da solo a riequilibrare e ripristinare il primitivo stato tensionale delle volte, come non potrà riportare una struttura deformata e decoesa allo stato originale (operazioni che dovranno essere previste parallelamente a questa procedura); potrà, però, evitare ulteriori peggioramenti dei dissesti dell'unità strutturale. L'operazione, pertanto, dovrà essere di complemento o di completamento ad interventi di consolidamento strutturale.

#### Specifiche sui materiali

Si vedano le specifiche inerenti nel paragrafo Consolidamento mediante tiranti metallici".

## CONSOLIDAMENTO COPERTURE

### OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO COPERTURE IN LEGNO

#### Generalità

Prima di mettere in pratica qualsiasi risoluzione che, di seguito, verrà enunciata si renderà necessario seguire delle procedure preliminari indirizzate sia alla salvaguardia dell'integrità di ogni singolo elemento che compone la struttura del tetto, sia per creare le condizioni atte a garantire una corretta esecuzione dell'intervento. Le operazioni sotto elencate, per fasi successive, costituiranno le accortezze da prendere nell'effettuare il cauto smontaggio del tetto (ci potrebbe essere il caso in cui lo smontaggio non comprenderà gli elementi lignei che costituiscono l'orditura primaria in quanto l'intervento di manutenzione è stato previsto, qualora le condizioni conservative lo consentano, in loco):

- puntellamento e/o sbatacchiamento con appropriati ritti regolabili da cantiere della struttura portante del tetto;
- rimozione dei canali di gronda delle canne fumarie, dei comignoli, delle antenne, delle scossaline e quant'altro sia presente sulla copertura;
- verifica della stabilità dei cornicioni e, nel caso siano direttamente connessi con la struttura del tetto, provvedere ad idonei puntellamenti;
- rimozione del manto di copertura ed accatastamento all'interno del cantiere od in altro luogo sicuro (in ogni caso non in modo da gravare sulla struttura dell'edificio);
- verifica di ogni singolo elemento che compone il manto di copertura (presenza di eventuali rotture e/o cricature) al fine di accertarne l'eventuale riutilizzabilità e, in tal caso, procedere con la rimozione dalla superficie di ogni genere di deposito (muschi, licheni ecc.) per mezzo di una pulitura manuale tramite bruschinaggio con spazzole di saggina;
- totale o parziale (a seconda del tipo di intervento) rimozione del sottopiano (in pianelle o in tavolato) e della piccola orditura lignea compreso il disancoraggio dalla struttura primaria e loro, eventuale, accatastamento in luogo sicuro ed esterno alla struttura, avendo cura di selezionare gli elementi ancora efficienti e riutilizzabili e di effettuare eventuali interventi di pulitura che dovranno essere di tipo manuale con l'ausilio di spazzole di saggina. Nel caso in cui gli elementi si presentassero alterati (dipinti, trattati con materiali cerosi o vernici a smalto) e il progetto preveda il ripristino dello stato originale, occorrerà procedere alla loro sabbiatura con l'ausilio di appropriati apparecchi aeroabrasivi ricorrendo ad inerti indicati, nello specifico, dalla D.L.

#### Collegamento tra le strutture della copertura e la muratura

L'intervento si pone il fine di garantire un'adeguata connessione tra le strutture lignee di copertura e le murature, così da ridurre l'azione spingente delle coperture ed evitare pericolosi fenomeni di martellamento delle stesse sui setti murari. Particolare attenzione si dovrà porre nel valutare l'effettiva capacità meccanica delle murature d'imposta, sovente soggette ad infiltrazioni d'acqua, ad oscillazioni termiche (con conseguente disgregazione dei giunti di malta e degrado del materiale costituente l'apparecchio) e, appunto, a sollecitazioni degli appoggi delle strutture lignee.

Per quanto detto sopra risulta, sovente, consigliabile "bonificare", ovvero consolidare preventivamente le murature sommitali mediante il ripristino dell'imposta con elementi di laterizio pieno ben apparecchiati con malta idraulica. Varianti di questa procedura sono trattate nel paragrafo specifico sul consolidamento delle murature.

#### Collegamento mediante zanche o spillature metalliche

Intervento quasi sempre attuabile ed idoneo a risolvere problemi legati all'azione spingente delle orditure lignee (special modo falsi puntoni).

Prima perforazione dei puntoni nell'asse mediano si procederà a collegarli con la struttura sottostante mediante zanche da annegare nella muratura sommitale ovvero nel cordolo, se questo è presente. Le zanche saranno costituite da piattine in acciaio inossidabile 18/8 AISI 304L (sezione minima 5x50x500 mm) con l'estremità ancorata alla muratura, sdoppiata in due lembi ripiegati in versi opposti. Le



zanche dovranno essere fissate ai falsi puntoni tramite doppia bullonatura in acciaio (minimo  $\varnothing$  12 mm) fermata con doppio dado. L'appoggio del puntone alla muratura d'imposta potrà essere aiutato grazie al posizionamento di opportuni cunei di legno (pancali), sagomati e dimensionati secondo le disposizioni di progetto, fissati (con chiodi inox o tirafondi filettati) alla struttura muraria, alle zanche di collegamento e ai puntoni stessi.

In alternativa, previo eventuale consolidamento della muratura d'attico (ovvero creazione di cordolo in muratura armata), si potrà ricorrere a spillature armate, intervallate ogni 40-50 cm, costituite o da barre nervate Fe B 44 K in acciaio inossidabile o zincato o da barre filettate AISI 316L (minimo  $\varnothing$  16 mm) di lunghezza variabile (comunque non inferiore ai 90 cm), inghisate in fori di diametro 36 mm, verticali o leggermente inclinati e successivamente sigillati con malta reoplastica a ritiro compensato o con resina epossidica a consistenza colabile esente da solventi, secondo quanto stabilito dagli elaborati di progetto. Queste barre filettate dovranno essere di lunghezza leggermente variabile tra loro, affinché nella muratura d'imposta non si crei un allineamento che potrebbe agevolare l'insorgenza di una lesione orizzontale. In presenza di cordolo in muratura armata potrà essere sufficiente collegare un tirafondo in acciaio inox uncinato (ad es.  $\varnothing$  20 mm) all'armatura del cordolo. Le spillature saranno collegate ai puntoni, sulla linea di gronda, attraverso un piatto metallico in acciaio Fe 360 zincato a caldo adeguatamente dimensionato (sezione minima 15x200 mm) posizionato sopra i puntoni con la duplice funzione di collegamento degli elementi lignei sul piano di gronda e ancoraggio degli stessi alla muratura. A seconda delle scelte di progetto la spillatura potrà essere saldata alla piastra (barra ad aderenza migliorata) o vincolata attraverso bullonatura (barra filettata).

L'intervento sarà completato con un modesto "getto" di malta adesiva (spessore minimo 6 cm) a sigillo dell'armatura longitudinale di collegamento (piatto più ancoraggi).

#### Collegamento mediante piatti metallici

L'intervento sarà consigliabile per tutte le coperture con orditure lignee semplici costituite da travi principali parallele alla gronda ed appoggiate su murature trasversali a timpano e orditura secondaria costituita da travicelli, mezzanelle, o palombelli. Il protocollo operativo prevede l'inserimento di più elementi congiunti (ancoraggi verticali, collegamenti longitudinali dei muri con tiranti ad "L", selle di appoggio delle travi ecc.), in corrispondenza del piano di imposta della copertura, capaci di collegare le murature e garantire un comportamento scatolare. La messa in opera di questo tipo di soluzione permetterà di realizzare un'opportuna indeformabilità e rigidità del piano così da poter rinunciare alla messa in opera della caldana in cls. Tutte le connessioni saranno, preferibilmente, eseguite con bullonatura e non con saldatura allo scopo di prevenire la diminuzione di protezione (disposizione all'ossidazione, dovuta alla rimozione della zincatura protettiva) che questa tecnica potrebbe introdurre.

Di pari passo all'eventuale consolidamento della muratura trasversale d'imposta, si procederà alla messa in opera dei dispositivi di appoggio ed ancoraggio delle travi principali costituiti, seguendo i disegni di progetto, da selle in acciaio inossidabile 18/8 AISI 304L o zincato a caldo (spessore minimo 5 mm), precedentemente ancorate al timpano di muratura mediante barre filettate AISI 316L (minimo  $\varnothing$  16 mm) di lunghezza variabile (comunque non inferiore ai 90 cm), inserite in perforazioni (minimo  $\varnothing$  36 mm) verticali (o con lieve inclinazione) ed annegate in malta reoplastica, colabile, a ritiro compensato, fibrorinforzata ad alta duttilità. Le travi saranno vincolate alle selle (al fine di bloccare gli eventuali movimenti di scorrimento) mediante una caviglia metallica trasversale che potrà essere costituita (a seconda delle prescrizioni di progetto) da un tubo liscio (in acciaio inox) all'interno del quale verrà posto il perno che potrà essere formato da un bullone dotato di doppi dadi all'estremità; in alternativa la caviglia potrà essere composta da una barra inox filettata a sezione circolare (minimo  $\varnothing$  14 mm) dotata anch'essa di doppi dadi all'estremità. La superficie di contatto della trave con quella della sella sarà isolata tramite un foglio di neoprene (spessore circa 8-10 mm).

Le interconnessioni tra i vari elementi, in corrispondenza dei nodi (come angoli e collegamenti a martello) e dei colmi dei timpani murari saranno risolte con la preventiva messa in opera di piastre di connessione (spessore minimo 10 mm) che accoglieranno le necessarie bullonature (da 4 a 8) dei tiranti longitudinali, trasversali e diagonali. Queste piastre saranno ancorate alla muratura sottostante mediante opportuni tirafondi in acciaio zincato (minimo 4-6  $\varnothing$  14 mm inghisati in  $\varnothing$  24 mm).

Per tutto il perimetro della muratura d'attico, sarà posizionato un ferro piatto (sui muri di testa e sui setti trasversali rompitratta) ovvero sagomato ad "L" (sulle pareti di gronda, dove appoggiano solo i travicelli), di acciaio zincato a caldo, adeguatamente dimensionato (ad es. 100x100 mm) di sezione minima 10 mm ancorato, tramite bullonatura (dado e rosetta di acciaio zincato) e/o tirafondi, alle piastre nodali, ai congegni di appoggio ed ancoraggio delle travi, ai travicelli ortogonali alla gronda e alla chiodatura armata della muratura longitudinale costituita da barre in acciaio uguali a quelle utilizzate per l'ancoraggio delle selle ( $\varnothing$  16/900 mm inghisate in  $\varnothing$  36 mm intervallate ogni 60 cm).

Il protocollo prevede, inoltre, il posizionamento di tiranti diagonali costituiti da piatti in acciaio (sezione minima 5x80 mm) disposti sulle falde e bullonati ai piatti perimetrali in modo da rendere indeformabile la maglia quadrangolare costituita in precedenza.

Viti autofilettanti in acciaio inox ( $\varnothing$  6/80-100 mm) assicureranno il collegamento tra l'orditura minuta e quella principale.

#### Collegamento mediante tiranti metallici

L'intervento verrà realizzato seguendo la procedura prevista al paragrafo sul consolidamento delle murature con tiranti metallici.

In presenza di tetti spingenti a padiglione o a capanna con teste a padiglione, oltre a rimuovere la spinta dei falsi puntoni ortogonali alla linea di gronda, si dovrà rivolgere particolare attenzione ai falsi puntoni d'angolo (paradossi). Si renderà opportuno dotare il paradosso di doppio tirante in acciaio inox Fe 360, adeguatamente dimensionato (per es.  $\varnothing$  26 mm o  $\varnothing$  32 mm), messo in opera in modo tale che il falso puntone risulti come asse bisettore dell'angolo formato dalle due catene, che avranno il compito di assorbire la spinta secondo due componenti ortogonali. La catena (collegata al paradosso da imbracatura metallica, dim. minime 5x50 mm, fermata alla trave mediante bullonatura cieca) correrà al di sotto della struttura lignea e sarà ancorata (tramite capochiave in acciaio) dalla parte opposta ad un setto murario di taglio o di spina in idonea posizione e più prossimo al falso puntone.

Queste soluzioni dovranno essere utilizzate unicamente su materiale ligneo ancora in buono stato di conservazione così da garantire un valido collegamento con i dispositivi metallici.

In alternativa ai tiranti metallici e per strutture a capanna molto semplici e di modeste luci si potrà ricorrere alla messa in opera di doppie catene lignee adeguatamente dimensionate (ad es. 100x150 mm) posizionate allo spicco della muratura ed ancorate ai falsi puntoni spingenti attraverso barre filettate inox (minimo  $\varnothing$  12 mm) munite di doppi dadi ciechi a ciascuna estremità. Il legname utilizzato dovrà essere esente da difetti, perfettamente stagionato (salvo diversa prescrizioni di progetto), di specie durevole (ad es. faggio o larice) ed essere trattato preventivamente con prodotto anti-muffa ed anti-tarbo. Al fine di evitare eventuali svergolamenti delle tavole potranno essere introdotte delle chiavardature costituite da barre bullonate distanziate ogni 100-120 cm.

Collegamento mediante cerchiatura dell'edificio in sommità  
Cordolo in c.a.

Il cordolo in cemento armato verrà realizzato seguendo le procedure previste nel paragrafo sul consolidamento dei solai lignei (tenendo conto delle debite riserve espresse per questo tipo d'intervento). L'unica precisazione riguarda la preparazione della superficie di appoggio del cordolo che non dovrà essere, come, invece, usualmente avviene, spianata sommariamente ma, al contrario, dovrà essere lasciata scabra, debitamente bagnata e ripulita dalle polveri che vi si depositeranno tra un'operazione e l'altra, così da migliorare l'ancoraggio meccanico nella superficie a contatto.

Cordolo in muratura armata

In alternativa alla procedura precedente, si potrà mettere in opera un cordolo in muratura armata con barre nervate Fe B 44 K in acciaio inossidabile o zincato (l'armatura dovrà essere di almeno 8 cm<sup>2</sup>). Questa soluzione è accettabile dal momento che dà vita a cantieri che utilizzano materiali compatibili con quelli esistenti (laterizio o pietre) e, allo stesso tempo, non creano discontinuità tra le murature, evitando (in caso di eventi sismici) il frequente scorrimento in corrispondenza della superficie di contatto muratura-cordolo; inoltre non crea problemi di ponte termico e presenta una buona deformabilità verticale, che consente di scaricare i pesi sulle murature sottostanti evitando "l'effetto trave" proprio dei cordoli in c.a. Per armare il cordolo dovranno essere, preferibilmente, utilizzate barre ad aderenza migliorata in acciaio inossidabile o zincate (in alternativa si potrà utilizzare acciaio normale preventivamente trattato con boiaca passivante anticarbonatante); di norma per un cordolo a tre teste si utilizzerà una gabbia costituita da 2+2 // 16 mm e staffe // 8/200-255 mm mentre, per cordoli più piccoli, potrà essere sufficiente armare con 2 // 22-24 mm legati con 2 spille // 8-10/200 mm; in questi casi assieme al mattone UNI sarà richiesto l'uso di quadrucci pieni (ovverosia elementi di larghezza ridotta) così da lasciare lo spazio necessario per il collocamento delle barre di armatura. L'altezza del cordolo sarà dettata dai disegni di progetto, comunque non potrà essere inferiore a quattro filari di mattoni pieni con i rispettivi allettamenti di malta mentre, la larghezza minima, non potrà essere inferiore alle due teste.

Nel caso la copertura venga munita di soletta di cls, si renderà necessario provvedere l'armatura del cordolo di staffe secondarie (minimo // 8/400 mm) da collegare alla rete elettrosaldata della soletta soprastante. Medesimo criterio verrà adottato in presenza di oggetti di gronda: in questo caso, la gabbia di armatura, a supporto del cornicione, potrà essere "sagomata" seguendo le esigenze di progetto.

Una soluzione di questo tipo non prevederà l'uso di casseforme lignee per il getto (costituito da calce idraulica e sabbia silicea), in quanto i mattoni stessi faranno le veci di casseri a perdere, e, come tali, risulteranno in grado di racchiudere la malta che avvolgerà l'armatura.

Cordolo in legno

La funzione di "cappello strutturale" potrà essere ottenuta anche tramite l'inserimento, in sommità alle murature portanti, di una cordolatura in travi di legno, adeguatamente dimensionate seguendo le prescrizioni di progetto (comunque non inferiore a 250x250 mm). Il legname utilizzato dovrà essere netto, cioè esente da difetti, perfettamente stagionato (salvo diversa prescrizioni di progetto) e di specie particolarmente dura e durevole (ad es. quercia o castagno). Il cordolo dovrà essere posato su una muratura perfettamente livellata, solida e stabile, sarà ancorato alla muratura d'imposta mediante barre filettate in acciaio inossidabile AISI 316L verticali o leggermente inclinate (minimo 1 // 16 mm inghisata in // 26 mm sigillata con malta reoplastica, colabile, a ritiro compensato, intervallate ogni 50-60 cm) di lunghezza variabile (lunghezza minima all'interno della muratura pari a 60 cm), fermate al cordolo mediante dado con rosetta in acciaio inossidabile (il cui lato minimo sarà di 3 // per uno spessore minimo 0,3 //); la rosetta dovrà appoggiare sul legno per tutta la sua superficie. La superficie di contatto del cordolo con la muratura sarà isolata tramite un doppio foglio di neoprene (gomma sintetica resistente all'azione nociva degli agenti atmosferici).

Tutte le travi di cordolo dovranno essere preventivamente trattate con specifici prodotti anti-fungo e anti-muffa (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto nel paragrafo specifico).

Cordolatura mediante applicazione di materiali compositi (FRP)

Qualora non fosse possibile procedere alla cerchiatura della muratura d'imposta del tetto seguendo le tecniche descritte negli articoli precedenti si potrà ricorrere all'applicazione di nastri di FRP (Fiber Reinforced Polymers): materiale composito costituito dall'unione di fibre (di carbonio, di vetro, aramidiche) continue ad altissime proprietà meccaniche a trazione e di una matrice polimerica (per es. resina epossidica bicomponente).

L'intervento prevede la cordolatura esterna mediante fasciatura (o wrapping) dell'apparecchio murario con nastri (larghezza variabile tra i 20 e i 30 cm con peso del tessuto variabile dai 230 g/m<sup>2</sup> ai 500 g/m<sup>2</sup>) costituiti da fibre unidirezionali previste dagli elaborati di progetto (fibre di carbonio, fibre aramidiche) combinate con i prescritti adesivi strutturali polimerici. Questo tipo di fasciatura presenta sia il vantaggio di collegare le murature ortogonali chiudendo la "scatola muraria", sia di assorbire le spinte orizzontali della copertura. I nastri saranno impregnati di resina epossidica seguendo il rapporto medio, se non diversamente specificato, di 50% fibra, 50% resina. Dal momento che gli spigoli vivi potranno comportare fenomeni di distacco e di esfoliazione dei nastri sarà opportuno, preventivamente, smussarli con un raggio minimo di 2 cm (maggiore sarà il raggio, migliore sarà la resistenza del sistema). A causa della scarsa resistenza della resina agli agenti atmosferici sarà necessario proteggere la zona di intervento con appropriati teli di plastica od altri tipi di barriere, sia durante le fasi di lavoro sia dopo aver completato la procedura (almeno 24 ore e comunque fino a quando il "materiale composito" non abbia completato la fase di indurimento).

Nel caso di apparecchi murari, fasciati con FRP, ed esposti direttamente alle radiazioni solari si procederà all'applicazione di un'ideale pellicola a base di elastomeri poliuretanic (lavorabilità a 20 °C 60 min, temperatura minima di applicazione 5 °C, resistenza a trazione diretta ≥ 8 MPa, allungamento a rottura 100-200%, indurimento al tatto a 20 °C 24 h) che presenti sia buone caratteristiche elastiche sia resistenza all'azione degli agenti atmosferici. Questa protezione (disponibile in diversi colori) potrà essere messa in opera solo dopo che risulterà completata la fase di indurimento iniziale della seconda mano di adesivo epossidico. Nel caso in cui il progetto preveda di lasciare a vista la cerchiatura sommitale si provvederà a scegliere, per la protezione, un tono di colore non troppo discordante dalle tonalità circostanti.

Nel caso di interventi su apparecchi da ripristinare con finitura ad intonaco al fine di consentire l'aggrappaggio dell'arriccio, si potrà ricorrere all'applicazione, sulla mano finale di resina non ancora indurita, di uno spolvero di sabbia di quarzo. Per poter manifestare la

presenza della fasciatura si potranno utilizzare gli accorgimenti già, precedentemente descritti nel paragrafo inerente il ripristino delle lacune di intonaco.

Le prescrizioni sulla procedura operativa seguiranno quelle previste nel paragrafo sul consolidamento di volte mediante materiali compositi.

#### Iniezioni e cuciture armate

L'intervento verrà realizzato seguendo la procedura prevista nel paragrafo sul consolidamento delle murature con iniezioni armate. Normalmente sarà indicato per quegli edifici il cui apparecchio murario a faccia vista risulti di particolare pregio o si presenti in un ottimo stato di conservazione, per cui la messa in opera di cordoli in cemento armato o in muratura armata sommitale, risulti sconveniente.

#### Connessione tra i diversi elementi costituenti l'orditura

L'intervento si pone il fine di garantire un adeguato collegamento fra i diversi elementi strutturali costituenti l'orditura, in quanto la sola eliminazione delle spinte dei falsi puntoni non è sufficiente a contenere i possibili danni creati da scorrimenti e cadute degli elementi lignei.

#### Connessione mediante staffe e/o piastre metalliche

Al fine di migliorare o creare collegamenti tra i vari elementi lignei costituenti l'orditura primaria e secondaria e seguendo le necessità dettate dal progetto, si potranno posizionare delle piastrelle in lamierino zincato (sezione minima 2x40 mm) ancorate sull'intradosso delle orditure minori (per es. travicelli o mezzanelle) e in seguito ripiegate sulla superficie di appoggio di travi o travi di colmo. Queste piastre saranno ancorate alle strutture lignee attraverso viti autofilettanti o chiodi inox (minimo 3 // 4 mm per ogni elemento). Se il progetto dovesse prevedere il collegamento, in corrispondenza dell'orditura principale, (tramite tavola di legno o piatto metallico), di tutti i travicelli non si renderà necessario collegarli tutti, ma sarà sufficiente vincolarne uno su tre; in caso contrario occorrerà effettuare l'intervento su tutta l'orditura minuta. I correnti potranno anche essere collegati all'orditura principale mediante vaschette metalliche zincate a doppio vano oppure attraverso angolari di lamiera di acciaio (spessore minimo 5 mm) muniti eventualmente di squadretta di irrigidimento; entrambi i dispositivi di ancoraggio saranno opportunamente fissati alle strutture lignee attraverso chiodi inox o viti autofilettanti.

In alternativa per collegare i travicelli inclinati di falda alla trave di colmo o i falsi puntoni agli arcarecci si potranno utilizzare delle staffe metalliche verticali ritorte sagomate a sella secondo i disegni di progetto; in ogni caso si renderà necessario anche il posizionamento di un piatto metallico zincato (sezione minima 2x50 mm) da collocare sull'estradosso dell'orditura e fissato a questa tramite tirafondi filettati zincati (minimo 3 // 10-12 mm lunghezza 120 mm per parte).

Sarà sempre consigliabile (nei casi in cui si renderà possibile) realizzare il collegamento tra puntoni contrapposti, attraverso l'inserimento di doppio bullone in acciaio zincato a sezione circolare (minimo // 14 mm su foro di // 15 mm) e testa esagonale vincolato al legno con dado e rosetta in acciaio poggiata sul legno per tutta la sua superficie.

#### Connessione mediante tavola e/o gattello in legno

Nel caso di scempiato costituito da pannelle o mezzane il collegamento tra l'orditura lignea verrà garantito dal posizionamento di una tavola in legno posta in sostituzione del filare di pannelle in corrispondenza delle travi. Le tavole da impiegarsi dovranno essere prive di nodi, (rettificate con piallatura sulle facce maggiori e su quelle di costa), di spessore uguale a quello delle pannelle (comunque non inferiore a 25 mm) e verranno fissate ad ogni morale o travicello, attraverso chiodi ad aderenza migliorata o viti autofilettanti in acciaio inox (// 4/80-100 mm), ed irrigidite saltuariamente con piastrelle metalliche trasversali (sezione minima 5x35 mm) in grado di assorbire eventuali trazioni. Con questa tecnologia si otterrà sia l'eliminazione di ogni sconnessione lungo il piano di falda, sia il contenimento delle pannelle, altrimenti fermate solo dalla seggiola di gronda.

In alternativa per la connessione tra puntoni e arcarecci si potranno utilizzare gattelli in legno della stessa essenza dei puntoni o di qualità più dura. Il gattello potrà essere realizzato con massello trapezoidale largo circa 120-140 mm ed alto 70-100 mm, fissato con un tirafondo filettato di acciaio zincato (// 10-12 mm lunghezza 150 mm) sull'arcareccio e con due tirafondi (delle stesse caratteristiche) sul puntone.

#### Irrigidimento e controventatura delle falde di copertura

L'intervento si pone lo scopo di migliorare o fornire una controventatura ed il conseguente irrigidimento delle falde di copertura, al fine di garantire un comportamento cosiddetto a piastra.

#### Irrigidimento e controventatura mediante tavolato ligneo

La procedura risulta realizzabile in tutte le coperture semplici nelle quali il piano di appoggio del manto di copertura si rilevi visibilmente deformato, in uno stato avanzato di degrado e male, o per niente, ancorato all'orditura sottostante. Tale intervento risulta di facile esecuzione (non richiede, infatti, manodopera specializzata), veloce ed a secco.

Dopo aver eseguito le operazioni preliminari di smontaggio della copertura si procederà alla posa in opera del tavolato ligneo perfettamente stagionato, (ad es. abete o larice) di spessore indicato dai disegni di progetto (comunque non inferiore a 25 mm) ed in funzione dell'interasse dei morali o correnti, piallato, fissato a perfetto contatto e posizionato ortogonalmente alla pendenza di falda. Il tavolato, che presenterà una maschiatura da entrambi i bordi, sarà ancorato alla sottostante struttura attraverso viti autofilettanti di acciaio inossidabile o chiodi inox filettati o scanalati (minimo // 4 mm inseriti con trapani per chiodature oppure manualmente) cominciando dalla linea di gronda e proseguendo, per corsi rigorosamente paralleli, fino a quella di colmo.

Si ricorda che tutto il legno che andrà posato in opera dovrà essere preventivamente trattato con prodotti fungicidi e/o tarlicidi (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto nel paragrafo specifico).

#### Irrigidimento e controventatura mediante croci di Sant'Andrea

La procedura risulterà adatta per le strutture di copertura allorché occorra aumentare l'indefornabilità del piano. L'intervento prevedrà il posizionamento di un "numero discreto" di controventature conformate a croce di Sant'Andrea (o altra configurazione) costituite da strutture supplementari quali tiranti in acciaio o in legno, necessariamente dotati di meccanismi di regolazione progettati secondo le rispettive tecnologie. Nel caso frequente in cui i dispositivi non siano collocati su ogni campata, ma solo in alcune, sarà necessario associare a questo intervento quello di connessione tra le orditure e le strutture complementari con, ovviamente, maggior

attenzione nelle campate prive di controventature. Questo tipo d'intervento potrà essere collocato non solo sui piani di falda ma anche nel piano d'imposta delle incavallature o in quello verticale longitudinale che passa tra i monaci delle capriate. Questa tecnologia si rivela valida dal momento che non è troppo invasiva, non produce incrementi di peso, consente la conservazione anche integrale della struttura originale (quando lo stato di conservazione lo consente) e permette di migliorare la risposta strutturale all'eventuale evento sismico.

Operativamente la procedura (per tiranti costituiti da piatti in acciaio, di norma più adatti per leggerezza, modesto ingombro, misurato disturbo visivo e differenziazione totale dalla struttura originale) prevedrà la messa in opera di collari e staffe di ritenuta dove agganciare i tiranti, costituiti (seguendo le prescrizioni di progetto) da cavi nudi o rivestiti e protetti da guaine isolanti (in ogni caso dovranno essere dotati di organi di regolazione, tipo tenditore a manicotto), o più frequentemente da piatti in acciaio Fe 360 zincato a caldo, di sezione minima 5x80 mm. I punti dove "ancorare" i tiranti dovranno essere sufficientemente resistenti e saldi da sostenere le nuove azioni senza incorrere in successivi dissesti dell'unità strutturale; verranno, pertanto, scelte le sezioni prossime ai nodi, nei quali la stessa unione delle membrane concorrenti garantisce un ricalzo della sezione (per scontate ragioni di convergenza delle forze). Di norma la controventatura di falda sarà applicata ai puntoni in corrispondenza degli appoggi ed in sommità; oppure, nel caso di controventatura costituita da piatti in acciaio, potrà essere ancorata direttamente alla muratura d'ambito. I tiranti, saranno fissati a piastre d'ancoraggio, preventivamente collegate alla muratura con tirafondi filettati AISI 316L (minimo // 12 mm), preferibilmente mediante bullonatura.

In alternativa ai piatti metallici potranno essere utilizzate tavole di legno (ad es. faggio o larice), perfettamente stagionate, di spessore minimo 25 mm da fermare all'intradosso dell'orditura con viti autofilettanti d'acciaio inossidabile (minimo // 4 mm). Un limite di questo intervento risiederà nel fatto che, modificando esteticamente l'aspetto dell'intradosso del coperto, non sempre risulterà applicabile.

#### Irrigidimento mediante caldana armata in cls

Obiettivo dell'intervento è di irrigidire il piano di copertura mediante una cappa in calcestruzzo. L'operatore dovrà porre particolare attenzione alla realizzazione di un'adeguata collaborazione tra soletta e morali lignei; tale connessione non dovrà presentare scorrimenti, potrà essere garantita da connettori costituiti da vitoni tirafondi adatti per il legno con testa esagonale in acciaio zincato di lunghezza di circa 100-150 mm e // 8-10 mm. Dopo aver posizionato i connettori sui correnti ad una distanza massima di 30 // si posizionerà e si leggerà a questi la rete in acciaio elettrosaldato di Fe B 38 K adeguatamente dimensionata (ad es. tondi // 6 mm e maglia 200x200 mm).

Si procederà infine al getto della soletta collaborante con calcestruzzo alleggerito (con argilla espansa o vermiculite di granulometria 1-8 mm) isolante, avente i requisiti richiesti dagli elaborati di progetto (peso asciutto in opera di 950 kg/m<sup>3</sup>, conducibilità termica a secco 0,24 W/mK, classe di lavorabilità S3 (semifluido), classe 0 di resistenza al fuoco) con, in ogni caso, uno spessore minimo di 5 cm. Questa soletta, oltre ad assolvere il compito di controventatura e, grazie alla rete elettrosaldato, di ripartizione di carichi, assolverà anche il compito di regolarizzare il piano di falda, dato da non sottovalutare in quanto, frequentemente, fonte di infiltrazioni di acque meteoriche con conseguente degrado dei materiali.

#### Fissaggio elementi sporgenti

L'intervento è indirizzato verso tutti gli elementi aggettanti dalle coperture come comignoli, antenne, abbaini, torrioni ecc.

I manufatti che fuoriescono dal piano di copertura con vasta superficie di appoggio ed alto peso, proprio come comignoli ed abbaini, andranno fissati alla base attraverso un profilato ad "L" di dimensioni minime 100x8 mm e lunghezza uguale alla dimensione del manufatto da ancorare. Tale profilato verrà ancorato all'impalcato di copertura (costituito, a seconda dei casi, da tavolato in legno, da piattelle in cotto o da soletta in cls) attraverso 4 tirafondi in acciaio zincato, minimo // 10 mm di lunghezza tale da essere fissati all'intradosso dell'impalcato con dado ad una contropiastra in acciaio di sezione minima 8x80 mm.

Altri elementi leggeri e snelli, come antenne o aste per bandiere, dovranno essere messi in opera sull'impalcato attraverso una piastra in acciaio zincato (dimensione minima 10x300x300 mm) munita di asola ad incastro di dimensioni tali da poter posizionare la base del manufatto in oggetto. La suddetta piastra sarà ancorata all'impalcato mediante 4 viti tirafondi seguendo la procedura descritta sopra. In caso di elementi alti si renderà necessario posizionare, ad un'opportuna distanza dalla base del manufatto, una o più piastre, (seguendo le prescrizioni della D.L.) di analoghe dimensioni alle quali saldare un dispositivo regolabile (ad es. i tenditori tradizionali con cavetto e morsetti di bloccaggio in acciaio zincato) per controventare l'estremità libera dell'elemento da fissare.

Successivamente all'ancoraggio di queste piastre si dovrà porre particolare attenzione ai raccordi tra i piani verticali con quello "orizzontale" di copertura posizionando appositi faldali, o gusci di raccordo, al fine di evitare infiltrazioni di acque meteoriche.

#### Rigenerazione di testate di travi e nodi di incavallature

L'intervento verrà eseguito allorché la testa di una trave risulti deteriorata in modo avanzato, (tanto da compromettere la stabilità dell'intera unità strutturale con il rischio di coinvolgere, per l'azione che le strutture ausiliarie esercitano, quelle adiacenti) e, pur non garantendo un adeguato appoggio, non si ritenga opportuno operare la sostituzione totale della struttura, sia per ragioni estetiche, sia economiche che logistiche (difficoltà della procedura di sostituzione). Prima di effettuare qualsiasi operazione sostitutiva e/o consolidante parziale o integrale, dovrà essere effettuata una scrupolosa campagna diagnostica del manufatto al fine di verificare lo stato conservativo della trave e la sua reale efficienza statica.

A questa categoria di intervento appartengono diverse tecniche esecutive, alcune condivisibili (quelle cioè che impiegano prevalentemente legno come gli incalzi o legno lamellare in opera) altre accettabili con riserva, come quelle che prevedono la ricostruzione della testata della trave mediante getto di betoncino epossidico e protesi costituite da barre in acciaio inossidabile o vetroresina.

#### Ricostruzione mediante protesi in legno

La procedura si effettuerà dall'estradosso della trave; previa puntellatura della struttura, con ritti regolabili da cantiere, si rimuoveranno nelle zone limitrofe alla testa della trave le porzioni del pavimento o del manto di copertura con i relativi tavolati di supporto ed eventuali travetti o morali dell'orditura secondaria; infine si scoprirà la testa della trave liberandola dall'ammorsatura del muro. Si eseguirà, seguendo le indicazioni di progetto, un'accurata pulizia al fine di evidenziare la parte danneggiata e si procederà ad asportare le parti deteriorate (marcescenti) del legno che, a giudizio della D.L., non potranno essere risanate; si ricorda che sarà esplicitamente vietato l'uso dell'aceta.

La creazione d'appropriate protesi in legno potrà essere eseguita seguendo diverse tecniche, in ogni caso l'obiettivo dell'intervento, oltre al ripristino dell'efficacia del collegamento esistente, sarà quello di mantenere, per quanto sarà possibile, l'articolazione e la duttilità originale del nodo. Il materiale ligneo, da mettere in opera per l'integrazione, dovrà essere d'eccellente qualità (anche superiore a quella del materiale originale), privo di difetti, a bassa umidità (non dovrà superare il 6-10%); inoltre dovrà essere, se sarà possibile, della stessa

specie legnosa o, altrimenti, di una specie altrettanto dura e durevole. Tutto il legname utilizzato dovrà essere preventivamente trattato con prodotti biocidi.

#### Protesi con legno lamellare "artigianale"

L'operazione prevederà la creazione di teste di travi o nodi di capriate tramite legno lamellare artigianale eseguito in cantiere mediante la posa in opera di tavolette (di norma della stessa specie legnosa e di uno spessore di circa 25 mm) attaccate gradualmente sul legno originario e tra loro. Tra queste fasce di legno sarà possibile inserire delle lamine in acciaio inossidabile 18/8 AISI 304L (in alternativa delle barre d'acciaio inossidabile filettate o ad aderenza migliorata) sigillate con adesivo epossidico a consistenza tissotropica (caratteristiche meccaniche medie: resistenza a trazione 18-20 N/mm<sup>2</sup>, resistenza a compressione 45-55 N/mm<sup>2</sup>, resistenza a flessione 30-60 N/mm<sup>2</sup>, modulo elastico 4000 N/mm<sup>2</sup>). Questa tecnica presenterà il vantaggio di una possibile, quanto parziale reversibilità; di contro è una tecnica lenta e talvolta onerosa (è consigliabile che la procedura sia eseguita da manodopera specializzata) inoltre, normalmente, si rivela difficile aumentare i carichi d'esercizio mantenendo le sezioni originali.

#### Protesi con guance

La procedura sarà messa in opera sia per fornire resistenze aggiuntive, a complemento di quelle perse, alle strutture degradate da agenti biologici, sia per infondere la rigidità all'intera unità strutturale che ha perduto, in esercizio, le proprietà geometriche originali a causa dell'insufficiente dimensionamento, par carico eccessivo o per fluage.

L'intervento potrà essere interpretato come una sorta di placcaggio laterale (il calcolo della trave verrà condotto per unica sezione, somma delle singole sezioni) costituito dall'aggiunta di "guance" lignee, composte da tavole di legno duro o strisce di pannelli di compensato multistrato per usi strutturali sui bordi della struttura (nel caso di riconferire la rigidità perduta sarà necessario applicare lamine parallele estese per tutta la luce della membratura) o del nodo, eseguendo le connessioni nelle parti sane delle membrane. Il ricorso a questi pannelli sarà consigliabile in quanto, in essi, il ritiro dei fogli componenti sarà compensato dalle direzioni alternativamente perpendicolari delle fibre, inoltre presenterà il vantaggio di utilizzare sezioni esigue ed evitare l'attacco di parassiti. La specie legnosa dovrà, preferibilmente, essere la stessa della membratura ma, se ciò non risultasse possibile, si potrà optare per altra specie con accutate caratteristiche meccaniche. Questa procedura verrà utilizzata, prevalentemente, per il rinforzo di strutture secondarie dove gli sforzi non hanno ordini di grandezza elevati e dove presentando sovente sezioni non rigorosamente uguali per tutti gli elementi, l'eventuale lieve aumento di spessore potrà essere accetto; nel caso in cui la struttura fosse sottoposta anche a sforzi di torsione l'operazione sarà sconsigliata.

Queste lamine di compensato ligneo, messe in opera già forate, dovranno essere incollate alla struttura originale mediante adesivo epossidico ed ancorate mediante barre filettate in acciaio inossidabile AISI 316L fermate con dadi ciechi (minimo 2 // 10 mm inghisate in // 14 mm) o viti autofilettanti in acciaio inossidabile seguendo le indicazioni di progetto; talvolta potrà essere necessario mettere in opera anche cerchiature, in special modo in presenza di sezioni sottoposte a momento flettente (per maggiori specifiche sull'inserimento di cerchiature si rimanda al paragrafo specifico).

#### Specifiche

Nel caso in cui le guance fossero costituite da tavole di legno duro sarà necessario disporle in modo da contrastare il naturale ritiro del legno, pertanto se i dispositivi di collegamento saranno posti in vicinanza o direttamente agenti sui bordi, la tavola dovrà essere posta in modo che la concavità degli anelli di accrescimento sia rivolta verso l'interno così da contrastare l'imbarcamento; mentre se i collegamenti saranno posizionati in corrispondenza dell'asse longitudinale la disposizione sarà opposta, ovverosia con gli anelli di accrescimento rivolti verso l'esterno.

#### Protesi con incaltri

L'intervento si baserà sulla tecnica dell'incalmo, ovverosia la sostituzione della parte degradata con una protesi di legno massiccio stagionato della stessa specie di quello originale, unita al moncone sano mediante una giuntura verticale da realizzarsi con profili ad incastro (ad es. a metà legno retto od obliquo, a dardo di Giove, a forchetta ecc.) sagomato seguendo le prescrizioni di progetto o specifiche delle D.L. (di norma la lunghezza dell'incastro varia dalle 2 alle 3 altezze della trave). Al fine di migliorare questa unione si potranno utilizzare delle appropriate cravatte metalliche o dei bulloni in acciaio inossidabile (minimo 2 // 10 mm inghisate in // 11 mm, i fori per i bulloni potranno avere un diametro massimo aumentato di solo 1 mm rispetto al diametro del bullone stesso) a sezione circolare e testa esagonale vincolati al legno con dado cieco e rondella in acciaio con diametro minimo 3,5 // (con diametro uguale al diametro del bullone) e spessore di almeno 0,3 // (in ogni caso non inferiore ai 4 mm). I bulloni dovranno essere stretti in modo tale che gli elementi siano ben serrati e, se sarà necessario, dovranno essere ulteriormente stretti quando il legno avrà raggiunto il suo contenuto di umidità di equilibrio. Una regola pratica per calcolare la distanza tra le barre stabilisce una misura minima di 7 // e comunque non inferiore a 10 cm.

Una variante a questa procedura, per testate di travi, prevederà il taglio a 45° (in ogni caso compreso tra 30° e 60°) della struttura lignea degradata, con la conseguente messa in opera della protesi in legno massiccio. Le due parti saranno vincolate da barre nervate Fe B 44 K in acciaio inossidabile, il numero minimo consigliato, dall'Eurocodice 5, sarà di 2+2 // 12 mm inghisate in // 16 mm (il diametro del foro consigliato sarà pari al diametro nominale della barra scelta + 4 mm) per una lunghezza minima di ancoraggio, (consentita dall'EC5, UNI ENV 1995) di 200 mm (la lunghezza minima consentita dall'EC5 è la massima fra 0,4 x // 2 della barra e 8 x //). Queste barre verranno posizionate in altrettanti fori o scassi laterali (distanza minima tra centro della barra ed i bordi laterale, inferiore/superiore della sezione 2,5 x // = 35 mm) realizzati nella trave e nella protesi, tramite trapani o frese, vincolate alla struttura lignea tramite adesivo strutturale epossidico (caratteristiche meccaniche medie: resistenza a trazione 18-20 N/mm<sup>2</sup>, resistenza a compressione 45-55 N/mm<sup>2</sup>, resistenza a flessione 30-60 N/mm<sup>2</sup>, modulo elastico 4000 N/mm<sup>2</sup>), in caso di scassi laterali, saranno richiuse con un tassello in legno che, consentendo una finitura con pialletto, permetterà di raggiungere una buona risoluzione estetica.

In caso di ripristino degli elementi di una capriata lignea la procedura sarà identica a quella sopra descritta ad eccezione dell'inclinazione del taglio della parte degradata che sarà in funzione della sollecitazione principale che la struttura dovrà assolvere: per la catena l'inclinazione sarà di circa 60° per meglio trasmettere lo sforzo di taglio, per i puntoni (o altra struttura prevalentemente compressa) sarà indicato operare un taglio a 90° (giunto testa a testa).

#### Ricostruzione mediante concrezioni epossidiche ed elementi di rinforzo

Questo tipo di intervento dovrà essere eseguito solo in caso di vera necessità e quando non si possa realmente intervenire con sistemi meno invasivi. L'intervento si effettuerà dall'estradosso della trave e seguirà le medesime procedure preliminari del precedente, ad

eccezione della possibilità, se espressamente richiesta dalla D.L., di lasciare uno strato superficiale di legno in modo da assumere la funzione di cassetta, almeno parziale, del successivo getto. Si praticheranno dei fori nel legno sano aventi profondità ed inclinazione dettate dal progetto; previa pulizia del foro mediante aspirazione dei trucioli si inseriranno, seguendo le indicazioni di progetto, le barre in acciaio inossidabile Fe B 44 K ad aderenza migliorata o filettate (ad es. // 12 mm inghisato in // 16 mm) o in vetroresina per una lunghezza minima di 50 cm e si posizioneranno le eventuali staffe // 8/200 mm (di acciaio inossidabile) di completamento dell'armatura; infine si provvederà al getto riempitivo in conglomerato di resina epossidica normalmente caricato con inerti o fibre. Questo composto dovrà essere capace di trasmettere sforzi di taglio nell'ordine di grandezza di quelli sopportati dal legno massiccio (circa 2-3 N/mm<sup>2</sup>).

L'eventuale cassetta potrà essere rimossa solo a presa avvenuta (circa una settimana), mentre la puntellatura potrà essere dismessa previa ricostruzione della breccia e maturazione del getto.

Questa tecnica ha, indubbiamente, il vantaggio di essere relativamente economica, rapida e versatile senza alterare significativamente (specie se è possibile lasciare l'involucro della trave) l'estetica della trave, di contro, specie se adoperata per ricostruire interi nodi di capriate, può rivelarsi pericolosa a causa del mutamento della ripartizione delle tensioni interne. Inoltre, il valore antisismico dei collegamenti delle aste lignee, indotto dalla duttilità del collegamento stesso, viene a mancare.

Consolidamento di travi mediante cerchiate

La procedura si rivolgerà a strutture sottoposte a sollecitazioni non elevate interessate da rotture, deformazioni o in ogni caso fessurate, purché queste non siano attaccate da funghi, insetti o altre patologie debilitanti i tessuti legnosi. Questa tecnica si baserà sul ricollamento di porzioni distaccate attraverso l'operazione combinata di viti autofilettanti e di cerchiate metalliche. Sarà una procedura totalmente reversibile che non richiederà alcuno smontaggio dell'unità strutturale.

Previo puntellamento dell'unità strutturale si procederà all'immissione perpendicolare, alla superficie di rottura (così da essere sollecitate, in prevalenza a taglio e trazione), delle viti autofilettanti (operazione da compiere a mano e con il sussidio di idonee dime lignee) in eventuali perfori eseguiti con trapano a sola rotazione munito di punta notevolmente più sottile del gambo della vite. L'uso del trapano potrà essere d'aiuto anche per sondare i tessuti legnosi, non si potrà, infatti, utilizzare questa procedura in presenza di rotture nette con tessuti legnosi affetti da attacchi biocidi (inconsistenza del legno). Le viti (minimo // 6-8 mm) dovranno, preferibilmente, essere d'acciaio inossidabile (o in ottone) così da presentare, oltre alla resistenza alla corrosione, particolare proprietà di durezza del filetto e un'eccellente attitudine al taglio. La lunghezza sarà in rapporto alla sezione della struttura e seguirà le disposizioni di progetto, in ogni caso la parte liscia del gambo dovrà essere circa pari alla parte separata della trave più vicina alla testa della vite stessa.

La cerchiatura sarà composta, se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto, da due bracci piatti in acciaio inossidabile AISI 304L (uniti da viti di serraggio e di regolazione rivolte in basso per facilitare la regolazione) sagomati a sella (al fine di escludere sollecitazioni nocive sui bordi della struttura in fase di bloccaggio e di esercizio) nelle parti (superiori ed inferiori) a contatto con la trave, ma con l'interposizione di idonei materiali (tavole di legno duro, strisce di compensato per usi strutturali ecc.) adatti a diffondere le tensioni ed evitare il contatto diretto tra acciaio e legno, sovente fonte di condense, a tal fine anche i bracci laterali saranno tenuti separati dal legno mediante interposizione di foglio in neoprene.

## IMPERMEABILIZZAZIONE COPERTURE

### OPERAZIONI DI IMPERMEABILIZZAZIONE ED ISOLAMENTO COPERTURE

Copertura ventilata

L'intervento si pone lo scopo di fornire un'adeguata impermeabilizzazione e isolamento ai coperti in legno. Le casistiche sono molteplici in ogni caso si dovrà mettere in opera un sistema d'impermeabilizzazione ed isolamento atto a realizzare un tetto ventilato. Una copertura si può definire ventilata (superficie di aerazione almeno 1/5 della superficie totale del manto) quando il manto di copertura si distacca dallo strato isolante, creando un'intercapedine che permetta una costante circolazione d'aria dalla gronda fino alla linea di colmo (allo stesso tempo si devono evitare correnti trasversali). I vantaggi di una costante ventilazione sono molteplici:

- riduzione della trasmissione di calore all'interno del sottotetto;
- omogeneità della temperatura dell'aria tra la faccia inferiore e quella superiore del coppo, con conseguente riduzione di shock termici, a favore del degrado dei coppi;
- eliminazione di eventuale umidità tra il coppo e l'impermeabilizzazione, con il vantaggio di avere il pacchetto tetto asciutto;
- eliminazione della formazione di condensa che favorisce l'insorgenza di muffe e la conseguente riduzione della vita dei coppi;
- miglioramento dell'isolamento termico in quanto evita che il materassino isolante si inumidisca.

La camera d'aria potrà essere ricavata con diverse soluzioni tecniche anche se la casistica può essere semplificata in due gruppi:

- a) intercapedine con pannelli,
- b) intercapedine con lastre ondulate o regoli.

Manto di copertura su pannelli

L'intervento potrà essere adottato per tutti i manti di copertura (coppi e canali, embrici e coppi, tegole marsigliesi, lastre di ardesia, tegole canadesi ecc.) grazie alla messa in opera di particolari pannelli modulari, (leggeri, robusti e facili da posare) composti da una lastra termoisolante (costituita a seconda delle esigenze da polistirene estruso, polistirene espanso sintetizzato o sughero termopressato) di densità variabile dai 25 kg/m<sup>3</sup> ai 35 kg/m<sup>3</sup> per le lastre di polistirene, fino a 200 kg/m<sup>3</sup> per quelle in sughero, conducibilità termica (Ⓛ) W/mk 0,033-0,036, munita di distanziatori troncoconici o parallelepipedi del medesimo materiale e battentatura sui quattro lati. Gli spessori della lastra e dei relativi distanziatori potranno variare secondo le esigenze di progetto (spessore lastra minimo 40 mm massimo 80 mm; distanziatore minimo 40 mm massimo 60 mm). Il pannello sarà completato con una lastra di OSB (Oriented Strand Board) idroresistente (spessore 10 mm) solidamente assemblata ai distanziatori al fine di formare un supporto piano (una sorta di assito facilmente pedonabile) comodo ed affidabile per la successiva messa in opera di qualsiasi manto di copertura; in ogni caso, se non vietato da prescrizioni di progetto o indicazioni della D.L., sarà opportuno impermeabilizzare il piano attraverso guaine bituminose ardesiate saldate a caldo, oppure con membrane permeabili al vapore posate a secco.

La circolazione d'aria sarà garantita in gronda dalla posa in opera di laterizi forati schermati da pettine parapassero in pvc di altezza adeguata (h = 95-125 mm) o, più semplicemente da rete, a maglia stretta, di ottone od altro materiale idoneo; sulla linea di colmo si

garantirà la fuoriuscita d'aria posando apposite bocchette in plastica (di sagoma variabile a seconda del tipo di manto montato) ovvero posando un laterizio forato tagliato a dimensione opportuna e fissato con malta. In alternativa potrà essere messo in opera un listone ligneo, distanziato e fissato al pannello (o alla sottostante caldana in cls) con idonee staffe metalliche zincate. Sul listone, protetto da una grembialina impermeabile e traspirante (larghezza media 300-400 mm), verranno fissati i ganci fermacolmo, e, successivamente, le tegole di colmo. Al fine di evitare correnti trasversali i pannelli dovranno essere tamponanti sui lati dove non sarà prevista la ventilazione; la tamponatura potrà essere eseguita con gli stessi elementi forati utilizzati sulla linea di gronda, posti in opera sul lato pieno o con analoghi sistemi di tamponatura riportati dalle disposizioni di progetto o indicazioni della D.L.

I pannelli si potranno posare direttamente sulla caldana in cls o sull'assito in legno o cotto, saranno ancorati con punti di incollaggio, viti autofilettanti o chiodi da carpentiere solo in caso di pendenza superiore al 30%: in presenza di queste pendenze si renderà necessario agganciare gli elementi di copertura con appositi ganci fermacoppo sagomati ad "S" di acciaio inossidabile o zincati a sezione piatta o circolare (è, comunque, buona norma utilizzare sempre i ganci fermacoppo). La posa in opera partirà dalla linea di gronda per poi risalire fino al colmo; i pannelli dovranno essere accostati fra loro avendo cura di garantire la continuità dello strato isolante specie negli eventuali tagli a misura (displuvi, compluvi, colmi), tagli che potranno essere eseguiti facilmente con normali attrezzi da cantiere.

In presenza di tetti a padiglione le falde di testa dovranno essere provviste, nella parte sommitale, di dispositivi aeratori di copertura. La procedura prevedrà la foratura del piano in OSB mediante una fresa a tasca di diametro di circa 100 mm al fine di inserirvi una curva in pvc o, preferibilmente in cotto, del medesimo diametro. Questa bocchetta dovrà essere sigillata ovvero, protetta mediante appositi faldali di raccordo al manto impermeabilizzante e dovrà altresì essere dotata di rete in ottone parapasseri e/o insetti.

La posa in opera del manto di copertura avverrà in maniera tradizionale, la prima fila di coppi sulla linea di gronda potrà essere tranquillamente tamponata con malta di calce, in quanto la ventilazione sarà garantita dal sottostante elemento di battuta (laterizio forato).

#### Manto di copertura su lastre ondulate o regoli

L'intervento simile a quello descritto nel paragrafo precedente si differenzia per alcuni elementi: il pannello isolante, della medesima natura di quello precedente (spessore medio 40-60 mm), non sarà munito di distanziatori ma soltanto di battenti sui quattro lati.

La ventilazione sarà garantita dalla posa in opera di idonee lastre sottocoppo costituite da un monostrato di fibre organiche bitumate (spessore variabile da 2 a 2,6 mm) opportunamente ondulate, secondo le indicazioni di progetto, così da organizzare il perfetto alloggiamento degli elementi di copertura (coppi, embrici, tegole marsigliesi). La posa di queste lastre su assito di legno o caldana in cls avverrà per file parallele, partendo dall'angolo inferiore della copertura, opposto ai venti dominanti, salendo via via verso il colmo; le sporgenze in gronda non dovranno superare i 2-4 cm. La prima lastra sarà posizionata a battuta di una griglia parapasseri in lamiera 20/10 preverniciata, precedentemente chiodata (in ragione di 4-5 fissaggi a ml) al listello di controseggiola (sulla linea di gronda) con una sporgenza all'interno del canale di gronda di circa 2 cm (al fine di permettere la percolazione dell'acqua); in alternativa si potranno utilizzare appositi pettini in pvc. L'ancoraggio delle lastre avverrà attraverso un adeguato fissaggio meccanico (sempre sul vertice dell'onda) con chiodi in acciaio inossidabile ( $\parallel$  3 mm lunghezza 60-120 mm) muniti di guarnizione in polietilene; il numero e la disposizione dei chiodi, variabile a seconda della ventosità della zona, sarà dettata da specifiche della D.L., di norma i fissaggi saranno posizionati in due file parallele al senso della sovramonta trasversale (non inferiore ai 10-15 cm) in sommità ad ognuno dei lati delle lastre; la terza fila verrà posizionata al centro di ogni lastra (per una lastra di 200x100 cm occorreranno, in media, dai 5 ai 10 chiodi al metro quadrato a seconda delle condizioni climatiche). La sovrapposizione laterale delle lastre sarà di un'onda.

La ventilazione sul colmo verrà garantita da apposite bocchette di ventilazione posizionate tra i coppi o attraverso la messa in opera di dispositivi per la sopraelevazione degli elementi di colmo (listello di legno) così come descritto nel paragrafo precedente.

La messa in opera del manto di copertura potrà avvenire tramite l'ausilio di appositi ganci fermacoppo, in acciaio inossidabile, sagomati ad "S" da posizionare sulla griglia in gronda (lunghezza 50 mm), con il fine di impedire in maniera semplice e sicura lo scivolamento dei coppi e dei canali e lungo la falda (lunghezza circa 90-105 mm), per permettere una sovrapposizione costante dei manufatti; in caso di elevate pendenze o prescrizione di progetto si potrà ancorare una fila di coppi ogni 5-6 tramite un gancio rompitratta di lunghezza superiore ai 300 mm.

In alternativa alla lastra ondulata, per posizionare in maniera tecnicamente corretta le tegole si potrà utilizzare un'orditura minuta supplementare (da montare sopra il pannello isolante munito di apposite guide) costituita da correnti e listelli in legno (dim. circa 50x25-30 mm) orditi nei due sensi e sovrapposti (preventivamente trattati con prodotti insetticida e fungicida) o, più semplicemente, da dei profilati sagomati ad omega (W) in metallo zincato e traforati al fine di far circolare l'aria. Entrambi i dispositivi dovranno essere distanziati in funzione della tegola o del coppo che andrà montato (distanza variabile dai 24 ai 33 cm). Il primo listello in gronda, al fine di effettuare una corretta messa in opera delle tegole, dovrà essere, ovviamente, maggiorato in altezza.

I pannelli isolanti utilizzati, generalmente, per quest'ultima procedura saranno realizzati in schiuma rigida di poliuretano espanso a cellule chiuse, ricoperti da un involucro impermeabilizzante in fibra minerale ovvero da una lamina di alluminio goffrato, lo spessore varierà da un minimo di 50 mm, ad un massimo di 85 mm, densità 35 kg/m<sup>3</sup>, conducibilità termica ( $\odot$ ) W/mk 0,026-0,030. I pannelli saranno battentati sui quattro lati al fine di agevolare la messa in opera; eventuali raccordi in punti particolari (compluvi, displuvi) si eseguiranno tramite iniezioni di schiuma poliuretana; sarà, comunque, consigliabile sigillare tutte le giunture dei pannelli con apposite bande autoadesive a freddo in alluminio bitumato.

#### Impermeabilizzazione terrazze a tasca

La procedura sarà rivolta a quei manufatti che necessiteranno di operazioni di impermeabilizzazione al fine di ripristinare la tenuta all'acqua ed eliminare le eventuali infiltrazioni ai vani sottostanti.

La procedura prevedrà lo smontaggio della pavimentazione (si veda il paragrafo specifico) compreso l'eventuale zoccolino battiscopa, la sottostante malta d'allettamento e l'eventuale massetto di pendenza (saranno categoricamente da evitare smontaggi e demolizioni di solette collaboranti). Successivamente previa asportazione di parti friabili, polvere e qualsiasi sostanza estranea dalla superficie della soletta, la procedura prevedrà la regolarizzazione delle irregolarità e la eventuale correzione delle pendenze (che non dovranno essere inferiori al 2%) mediante la posa in opera di un massetto (minimo 3 cm) in conglomerato dosato a 2,5 q di calce idraulica naturale NHL 5 e sabbia grossa (granulometria: 2 parti 1,5-5 mm + 1 parte 0,5-1,2 mm) o aggregati alleggeriti tipo argilla espansa o vermiculite (granulometria 1-5 mm); il massetto dovrà essere tirato a regolo, battuto e spianato seguendo i livelli stabiliti dagli elaborati di progetto; dovrà, inoltre, essere lasciato stagionare per il tempo necessario (almeno 3 giorni) e le eventuali lesioni che si manifestassero andranno riempite con boiaccia di calce idraulica.

Su questo piano si procederà alla messa in opera dell'impermeabilizzazione utilizzando se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto, una guaina liquida elastomero bituminosa all'acqua (prodotto a consistenza liquida a base di bitumi con elastomeri

e filler in dispersione acquosa, allungamento a rottura ca. 1000%, resistenza alte temperature >150 °C, flessibilità a freddo -10 °C, resistenza a trazione long. 16 N/cm<sup>2</sup> e trasv. 20 N/cm<sup>2</sup>, tempo di essiccazione superficiale ca. 1 h) stesa a pennello o a rullo in due mani, a distanza di 24 ore una dall'altra, (diluita con il 5% di acqua per un consumo di circa 1 kg al metro quadrato) in uno spessore massimo di 1 mm per ogni mano. I piani orizzontali dovranno essere raccordati con quelli verticali (così da ottenere una perfetta tenuta impermeabile del sistema) tramite l'utilizzo d'appositi faldali o gusci (ad es. nastro di poliestere gommato fermato ed in seguito verniciato con la medesima guaina liquida) al fine di evitare infiltrazioni di acque meteoriche.

Ad impermeabilizzazione perfettamente secca s'incollerà (mediante la stessa resina bituminosa) un foglio di tessuto non tessuto in poliestere imputrescibile da 170 g/m<sup>2</sup> (caratteristiche minime: punto di rammollimento >150 °C, peso ca. 1,2 kg/m<sup>2</sup>, flessibilità a freddo -10 °C, stabilità di forma a caldo >120 °C, carico di rottura a trazione long. 800 N/5 cm, trasv. 370 N/5 cm, allungamento a rottura long. 30%, trasv. 50%) allo scopo sia di proteggere il manto impermeabile sia per assolvere il compito di supporto poroso per la successiva adesione del collante (o d'altro impasto indicato dalla D.L.) delle nuove piastrelle di rivestimento. La procedura terminerà con la posa in opera del pavimento precedentemente smontato ovvero con elementi nuovi, se quelli originali non potranno essere recuperati, indicati negli elaborati di progetto; particolare cura dovrà essere eseguita nella sigillatura delle fughe (di norma non dovranno superare i 3 mm) con impasto indicato dagli elaborati di progetto, in alternativa si potrà utilizzare una boiaccia liquida a base di cemento bianco (eventualmente pigmentato con ossidi colorati massimo 10%) con l'eventuale aggiunta di lattice acrilico al fine di conferire un minimo d'elasticità alla boiaccia.

#### Avvertenze

Durante la procedura (in special modo dopo l'asportazione del massetto di pendenza o dopo la prima mano d'impermeabilizzante) sarà sempre necessario (anche in estate) predisporre idonee protezioni temporanee della zona d'intervento al fine di evitare eventuali infiltrazioni d'acqua (nei vani sottostanti) causate da precipitazioni piovose.

#### Impermeabilizzazione corticale di copertura piana

La procedura sarà rivolta a quelle coperture che necessiteranno di operazioni di impermeabilizzazione corticale, così da ripristinare la tenuta all'acqua ed eliminare le eventuali infiltrazioni ai vani sottostanti, la procedura operativa seguirà quella descritta per l'impermeabilizzazione delle terrazze ad eccezione di alcuni passaggi.

#### Preparazione del piano di posa

Rimozione della vecchia guaina (per vecchia s'intende che abbia perso gli oli plastificanti), e di eventuali depositi superficiali, successivo ciclo di pulitura con acqua in pressione della superficie da trattare allo scopo di rimuovere sporco, polvere e qualsiasi altra sostanza estranea (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto nel paragrafo sulla pulitura mediante macchina idropulitrice).

#### Impermeabilizzazione

Prima posa in opera di eventuale profilo prefabbricato di arrotondamento dello spigolo fra piano orizzontale e verticale o esecuzione di un guscio di malta con le medesime funzioni, si procederà a stendere su tutte le superfici da impermeabilizzare una mano di primer a base di bitume ossidato e solventi in ragione di circa 300 g/m<sup>2</sup>, applicato a pennello, rullo o a spruzzo. Successivamente si applicherà lo strato di impermeabilizzazione, costituito, secondo gli elaborati di progetto, da una membrana bitume-polimero elastoplastomerica dello spessore minimo di 4 mm, armata con tessuto-non-tessuto di poliestere da filo continuo, caratteristiche medie: flessibilità a freddo di -15 °C, carico a rottura long. 970 N/5 cm e trasv. 690 N/5 cm, allungamento a rottura long. 45% e trasv. 48%. L'applicazione dei teli sarà effettuata in totale aderenza per sfiammatura con cannello a gas propano, a cavallo delle giunzioni dell'isolante termico, con sovrapposizioni minime laterali di 10 cm e di testa di circa 15 cm, saldate a fiamma; inoltre, la membrana dovrà anche essere risvoltata sugli eventuali piani verticali (ad es. muretti di colmo, parapetti ecc.) per almeno 10 cm oltre il livello della finitura prevista e dovrà essere incollata a fiamma.

Lo strato di protezione sarà costituito (se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto) da una seconda membrana bitume-polimero elastoplastomerica dello spessore di 4 mm, armata con tessuto non tessuto di poliestere da filo continuo e rivestita con scaglie d'ardesia (di colore variabile secondo le disposizioni di progetto), avente una flessibilità a freddo di -15 °C, carico a rottura long. 930 N/5 cm e trasv. 720 N/5 cm, allungamento a rottura long. 45% e trasv. 50%. Anche questa membrana sarà applicata a fiamma in totale aderenza sullo strato sottostante, ma a teli sfalsati di 50 cm rispetto a questo; le sovrapposizioni lungo l'apposita banda di sormonto saranno saldate a fiamma. La membrana ardesiata dovrà, infine, essere risvoltata sugli eventuali piani verticali per almeno 20 cm oltre il livello previsto per le acque e dovrà essere incollata a fiamma.

Le eventuali testate di muretti di colmo, parapetti, cornicioni ed aggetti dovranno essere protette da idonea scossalina sommitale in lamiera zincata (spessore 8/10) e verniciata nel colore scelto dalla D.L., (in alternativa, specialmente in ambiente marino dove sarà consigliabile evitare lamierini zincati, si potranno utilizzare altri materiali metallici facilmente lavorabili come il rame e il piombo) ancorata alla struttura e successivamente ripiegata seguendo il profilo da ricoprire. La lamiera sagomata dovrà presentare risvolti a gocciolatoio e dovrà essere fissata alla muratura con perni e grappe in ottone da inghisare nella muratura tramite idonei sigillanti elastomerici.

Nel caso l'elemento da proteggere sia di notevoli dimensioni, ovvero presenti una curvatura complessa, sarà opportuno eseguire dei tagli al fine di far seguire l'andamento dell'elemento alla protezione; le vari parti dovranno, comunque, essere sovrapposte e fissate con l'aiuto di graffette.



## Capo quarto

### NORME PER LA MISURAZIONE E LA VALUTAZIONE DEI LAVORI

#### 14. NORME GENERALI

Le quantità dei lavori a **misura** e delle provviste saranno determinati con metodi geometrici, a numero, a misura lineare, superficiale o volumetrica e a peso, in relazione a quanto previsto nell'Elenco Prezzi.

I lavori a corpo dovranno essere comprensivi di ogni tipo di prestazione d'opera e onere per i materiali impiegati per avere l'oggetto finito e compiuto nella sua unitaria interezza, così come descritto nell'Elenco Prezzi.

I lavori saranno liquidati in base all'art. 180 del Regolamento di attuazione D.P.R. 207/10 ed applicando i prezzi unitari dell'elenco allegato, secondo le misure fissate dal progetto anche se le misure di controllo rilevate dagli incaricati dovessero risultare per spessori, lunghezze e cubature effettivamente superiori.

Soltanto nel caso che la D.L. abbia ordinato per scritto diverse dimensioni, se ne terrà conto nella contabilizzazione.

In nessun caso saranno tollerate dimensioni diverse da quelle ordinate, le quali potranno essere motivo di risarcimento a carico dell'impresa.

Le misure saranno prese in contraddittorio mano a mano che si procederà all'esecuzione dei lavori e riportate su appositi libretti che saranno firmati dalla D.L. e dall'impresa.

Resta sempre salva ad ogni caso la possibilità di verifica e rettifica in occasione delle operazioni di collaudo.

#### 15. APPARATI DECORATIVI

Per gli apparati decorativi, trattandosi di interventi specialistici che interesseranno il reale sviluppo superficiale del manufatto, andranno esclusi i sistemi di misurazione che implicheranno proiezioni in piano o valutazioni vuoto per pieno. Si procederà, pertanto come di seguito specificato:

a) manufatti da valutare a corpo: tutti quei manufatti complessi, costituiti da materiali di natura diversa, di dimensioni ridotte, di forma complessa o che presentino finiture particolarmente e finemente lavorate;

b) manufatti da valutare a misura: secondo le seguenti prescrizioni.

– Cornici, fasce, mostre modanature, balaustre di altari per manufatti di fattura complessa e fortemente lavorati dovrà essere calcolata la superficie inscrivibile in forma geometrica regolare moltiplicata per la lunghezza. Per manufatti semplici dovrà essere calcolata la superficie effettiva tramite lo sviluppo del profilo per la lunghezza della loro membratura più sporgente. Il prezzo dovrà comprendere il compenso per la lavorazione degli spigoli. A compenso della maggiore forma dei risalti, la misura di lunghezza verrà aumentata di 0,40 m per ogni risalto. Saranno considerati risalti quelli determinati da lesene, pilastri e linee di distacco architettonico che impongano un doppio profilo.

– Bugnati, anteridi e cassettoni: i bugnati e le anteridi comunque gettati, ed i cassettonati, qualunque sia la loro profondità, verranno misurati secondo la loro proiezione su di un piano parallelo al paramento di fondo, senza tenere conto dell'incremento di superficie prodotto dall'aggetto delle bugne ovvero dei cassettoni. I prezzi dei bugnati resteranno validi ed immutabili qualunque sia la grandezza, la configurazione delle bozze e la loro disposizione in serie (continua o discontinua).

– Sculture a tutto tondo: per le sculture a tutto tondo dovrà essere misurata la superficie laterale del cilindro medio circoscrivibile incrementato del 20% per sculture di decoro semplice, del 40% per sculture di decoro complesso. Il cilindro medio dovrà essere misurato rilevando la circonferenza in almeno quattro punti significativi escludendo quelle minime (collo, caviglia, polso ecc.). Le parti molto aggettanti non dovranno essere incluse nel cilindro medio, ma calcolate con gli stessi criteri e ad esso sommate. Nel caso di sculture cave, la valutazione sarà da esprimersi a corpo.

– Rilievi, fregi: il manufatto andrà inquadrato in una o più forme geometriche piane e regolari. Lo sviluppo della superficie sarà incrementato del 20% per bassorilievi, del 40% per rilievi medi, del 60% 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%.

– Dipinti: se non riconducibili in forme geometriche semplici e di facile valutazione si dovrà ricorrere al calcolo della loro superficie effettiva con le formule più idonee della geometria.

– Manufatti archeologici: i manufatti (sia oggetti integri sia frammenti) riconducibili a semplici forme geometriche, saranno inquadrati nella suddetta forma di riferimento. Per tutti gli altri manufatti, la superficie verrà computata moltiplicando lo sviluppo del loro profilo per la circonferenza del minimo cilindro circoscrivibile. Gli elementi applicati dovranno essere valutati con gli stessi criteri e sommati. Il computo metrico dovrà comprendere anche la misura della superficie interna misurabile.

Nel prezzo di tutte le decorazioni dovrà essere compreso l'onere per l'ossatura (nei casi in cui gli elementi non superino l'aggetto di 5 cm), per l'abbozzatura dei bugnati, per l'arricciatura della malta, per l'intonaco di stucco perfettamente profilato ed eventualmente levigato, per le modine, i calchi, le forme, per l'esecuzione dei campioni-modello nonché tutto quanto occorra a condurre le opere in stucco perfettamente a termine.

Per lavorazioni particolarmente disagiati potranno essere valutati i seguenti incrementi:

– Interventi su volte, soffitti, settori circolari si calcolerà l'effettivo sviluppo geometrico aumentato del 10% nel caso di volte e soffitti (maggiore onere per superfici rivolte verso il basso).

– Ambienti disagiati (ad es., ipogei, ambienti urbani ad alta densità di traffico) si applicherà l'incremento previsto in progetto per disagi conseguenti alla distanza del sito o a particolari condizioni climatiche e/o ambientali. Tale incremento sarà da valutare anche per opere ubicate in siti isolati di difficile accesso.

#### 16. OPERAZIONI DI PRECONSOLIDAMENTO

La valutazione di dette operazioni (ristabilimento parziale della coesione di materiale lapideo, ristabilimento della coesione degli intonaci per mezzo di pennelli, siringhe e pipette), data l'evidente difficoltà di stabilire l'esatta misura delle porzioni di materiale che necessitano l'esecuzione di questo intervento, verrà espressa secondo diversi criteri:

- a metro quadrato con un prezzo distinto secondo la percentuale di diffusione del fenomeno di degrado;
- a singolo intervento per una diffusione del fenomeno entro il decimetro quadrato cui vanno riportati i casi al di sotto di questa misura;

La stesura di uno strato protettivo a base di malta idraulica su superfici disgregate lapidee o mosaici verrà valutata a singolo intervento per una diffusione del fenomeno entro il decimetro quadrato.

L'applicazione e la rimozione di bendaggi protettivi sarà valutata con un prezzo al decimetro quadrato nel caso di preconsolidamento su materiale lapideo e mosaici al metro quadrato nel caso di stucchi, intonaci e dipinti murari. Data la funzione di sostegno, la superficie da bendare dovrà sempre eccedere l'estensione del fenomeno di degrado che ne richiederà l'applicazione. La superficie minima sarà pari a un decimetro quadrato nel caso di materiale lapideo e mosaici ovvero, pari a 0,5 m<sup>2</sup> per stucchi, intonaci e dipinti murari a cui andranno riportati anche i casi di bendaggi al di sotto di queste misure.

Il ristabilimento dell'adesione e della coesione della pellicola pittorica sarà stimato in metri quadrati o parti di metro quadrato delle porzioni di materiale interessato in maniera diffusa da distacchi o disgregazioni.

Il puntuale bloccaggio delle tessere mobili della superficie mosaicata sarà valutato a singolo intervento.

## **17. OPERAZIONI DI PULITURA**

La valutazione di tutte le operazioni di pulitura eseguite su materiale lapideo, stucchi, dipinti murari, intonaci e mosaici (con sostante solventi a tampone o a pennello, a secco, ad umido, con impacco ecc.) sarà eseguita al metro quadrato o parti di metro quadrato delle porzioni di materiale interessate in maniera diffusa da strati e/o depositi soprapposti. Le rifiniture saranno valutate al decimetro quadrato per materiali lapidei ovvero al metro quadrato per stucchi e dipinti murari. Nel caso di puliture di dipinti murari nel suddetto prezzo sarà esclusa l'incidenza del risciacquo con acqua distillata e l'applicazione di materiale assorbente per l'estrazione di sali solubili e dei residui dei sali utilizzati per l'operazione di pulitura; le suddette operazioni saranno valutate al metro quadrato.

Allorché si parli di cicli di applicazione questi dovranno essere intesi come l'insieme di operazioni costituito dall'applicazione del prodotto indicato secondo il metodo descritto dalla D.L. e dalla successiva rimozione meccanica o manuale delle sostanze da esso solubilizzati.

Nell'uso della nebulizzazione o dell'automazione per puliture di materiali lapidei saranno a carico dell'appaltatore ed inclusi nel prezzo la canalizzazione delle acque di scarico e la protezione delle superfici circostanti mediante gomme siliconiche, teli di plastica e grondaie.

## **18. OPERAZIONI DI DISERBO E TRATTAMENTO DA ATTACCHI BIOLOGICI**

Alla rimozione di vegetazione superiore saranno riferiti due diversi tipi di valutazione uno al metro quadrato uno al metro lineare tra loro alternativi; ciò in considerazione del fatto che questo fenomeno può verificarsi sia su ampie zone di diffusione sia lungo elementi rettilinei quali cornici, angoli, marcapiani oppure lungo fratture o fessure.

## **19. OPERAZIONI DI RIMOZIONI DI STUCCATURE O DI ELEMENTI NON IDONEI APPLICATI IN PRECEDENTI INTERVENTI**

La valutazione del prezzo per la rimozione di stuccature (profondità massima 3 cm) non idonee eseguite nel corso di precedenti interventi seguirà tre criteri:

- al metro nei casi di stuccature con forma lunga e molto sottile servite per chiudere o sigillare fessurazioni;
- al metro quadrato nei casi di stuccature o rifacimenti abbastanza estesi (oltre il metro quadrato);
- al decimetro quadrato nei casi di stuccature con estensione al di sotto del metro quadrato sarà in ogni caso utile dare tre diverse stime ovvero sia entro 5 dm<sup>2</sup> tra 5 e 20 dm<sup>2</sup> tra 20 e 1 m<sup>2</sup>.

La durezza del materiale utilizzato per le stuccature (gesso, calce, cemento, resina ecc.) resterà un criterio fondamentale di distinzione dei costi in quanto inciderà direttamente e sensibilmente sui relativi tempi di esecuzione così come lo stato di conservazione del manufatto modificherà, altrettanto sensibilmente, il tempo necessario alla rimozione.

Per l'asportazione di elementi metallici la valutazione sarà espressa per ciascuno elemento rimosso e sarà altresì differenziata a seconda dell'adesivo con cui saranno stati vincolati e della lunghezza degli stessi elementi.

La rimozione temporanea di inserti in pietra o di fasce, cerchiature o grosse staffe sarà valutata per ogni singolo intervento (previo eventuale progetto).

## **20. OPERAZIONI DI DISTACCO E RIADESIONE DI SCAGLIE, FRAMMENTI E PARTI PELLICOLANTI O CADUTE**

Le operazioni in oggetto saranno valutate a singolo frammento in linea generale potranno essere individuate due categorie con relative valutazioni: frammento di dimensioni limitate che comprenderà sia la scaglia sia il pezzo più pesante ma comunque maneggiabile da un singolo operatore, frammento di grandi dimensioni che comprenderà un complesso di operazioni preparatorie e collaterali. In entrambi i casi qualora si rivelasse necessaria un'operazione di bendaggio preliminare questa sarà contabilizzata a parte secondo le indicazioni fornite alla relativa voce. Saranno altresì esclusi gli oneri di eventuali controforme di sostegno che dovranno essere aggiunti al costo dell'operazione.

La riadesione di frammenti di dimensioni limitate già distaccati o caduti, sarà valutata sempre al pezzo singolo e prevedrà una differenziazione di difficoltà nel caso di incollaggi semplici e di incollaggi con inserzioni di perni. In questo ultimo caso saranno

contemplate ulteriori valutazioni dovute alla possibilità o meno di sfruttare eventuali vecchie sedi di perni, alla diversa lunghezza e al diverso materiale dei perni (titanio, acciaio inox, carbonio ecc.).

Il consolidamento di grosse fratture mediante iniezione di consolidanti e adesivi (organici ed inorganici) avrà una valutazione al metro, tuttavia per l'elevata incidenza delle fasi preparatorie verrà contemplata una superficie minima di 0,5 m a cui andranno riportati anche i casi di fatturazioni al di sotto di tale misura.

## **21. OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO**

Nell'operazione di consolidamento mediante impregnazione (ristabilimento della coesione di materiale lapideo, mosaici, ristabilimento della coesione della pellicola pittorica o doratura/argentatura all'intonaco per mezzo di pennelli, siringhe e pipette), data l'evidente difficoltà di stabilire l'esatta misura delle porzioni di materiale che necessitano l'esecuzione di questo intervento, verrà espressa secondo diversi criteri:

- a metro quadrato con un prezzo distinto secondo la percentuale di diffusione del fenomeno di degrado ovverosia entro il 30% in un metro quadrato, tra il 30% e il 50% e tra il 50% ed il 100%.
- a singolo intervento per una diffusione del fenomeno entro il decimetro quadrato cui vanno riportati i casi al disotto di questa misura.

Nell'operazione di ristabilimento dell'adesione tra supporto murario ed intonaco e tra i diversi strati di intonaco l'esecuzione di questo intervento verrà espressa:

- a singolo intervento per distacchi contenuti in precise dimensioni ed espresse in decimetri quadrati;
- a metro quadrato per distacchi di dimensioni più limitate ma diffuse sulla superficie secondo percentuali differenti.

Nell'operazione di consolidamento ad impacco il costo verrà valutato al metro quadrato, sarà contemplata una superficie minima di 1 m<sup>2</sup> a cui andranno riportati anche quei casi di impacchi al di sotto di questa misura. Il costo della manodopera sarà minore nel caso di oggetti a tutto tondo, dove l'impacco sarà sostenuto facilmente da una fasciatura, mentre aumenterà nel caso di superfici che richiederanno il sostegno dell'impacco con controforme e puntellature.

Il ristabilimento dell'adesione nei fenomeni di scagliatura ed esfoliazione su materiali lapidei eseguito in maniera puntuale mediante incollaggi con resine sintetiche, sarà valutato a singolo intervento, nel caso di ristabilimento dell'adesione eseguito mediante infiltrazione di malta idraulica verrà contemplata una superficie minima pari a 1 dm<sup>2</sup> a cui andranno riportati anche i casi di intervento al di sotto di questa misura.

Le operazioni di puntellatura provvisoria di applicazione di perni di distacco e di collocamento di piccole parti saranno da valutare a singolo intervento.

## **22. OPERAZIONI DI STUCCATURA, MICROSTUCCATURA E PRESENTAZIONE ESTETICA (COMPRENDO ANCHE LE INTEGRAZIONI PITTORICHE E LE PROTEZIONI SUPERFICIALI)**

Le operazioni di stuccatura, in considerazione della diversa morfologia e delle dimensioni delle lacune saranno valutate secondo tre criteri:

- al metro lineare nei casi di stuccature con forma lunga e molto sottile al fine di chiudere o sigillare fessurazioni;
- al metro quadrato nei casi di stuccature o rifacimenti abbastanza estesi (oltre il metro quadrato). Nel caso di dipinti murari saranno individuate tre diverse valutazioni che prevedranno su ogni metro quadrato di superficie una diversa percentuale di estensione di velature o reintegrazioni non idonee: entro il 70%, entro il 30% ed entro il 15%;
- al decimetro quadrato nei casi di stuccature con estensione al di sotto del metro quadrato sarà in ogni caso utile dare tre diverse stime ovverosia entro 5 dm<sup>2</sup> tra 5 e 20 dm<sup>2</sup> tra 20 e 1 m<sup>2</sup>.

La microstuccatura (ovvero la sigillatura di zone degradate per fenomeni di scagliature, esfoliazione, pitting, microfessurazione o microfratturazioni) sarà valutata al metro quadrato distinguendo tre percentuali di diffusione del fenomeno sul supporto: entro il 70%, entro il 30% ed entro il 15%.

La revisione estetica per l'equilibratura di stuccature ed integrazioni (ovvero la possibilità di assimilare al colore della pietra originale tutte le parti non equilibrate) verrà valutata al metro quadrato delle porzioni di materiale interessate in maniera diffusa dal fenomeno di squilibrio.

## **23. OPERAZIONI DI INTEGRAZIONI DI PARTI MANCANTI**

L'integrazione delle lacune sarà differenziata secondo le tipologie di intervento e la valutazione di queste sarà al decimetro quadrato (dm<sup>2</sup>) per superfici comprese entro i 50 dm<sup>2</sup> e al metro quadrato per superfici superiori al metro quadrato.

## **24. OPERAZIONI DI PROTEZIONE**

Le operazioni di protezioni dovranno essere valutate a superficie effettiva (m<sup>2</sup>) con detrazione dei vuoti o delle parti non interessate al trattamento con superficie singola superiore a 0,5 m<sup>2</sup>.

Operazioni di stacco ed applicazioni nuovi supporti

Le operazioni saranno valutate al metro quadrato per interventi compresi entro i 2,5 m<sup>2</sup>, oltre tale misura saranno valutate in riferimento al singolo progetto.

## **25. ELENCO PREZZI**

L'elenco dei prezzi unitari allegato al progetto e facente parte integrante del contratto è suddiviso in capitoli e paragrafi ricomprendenti i vari articoli inerenti una determinata categoria di lavoro. Nel prezzo di ogni singola voce di E.P.U. sono sempre compresi e compensati (salvo diversa indicazione riportata nella descrizione della voce stessa) tutti gli oneri ed i magisteri comuni alla categoria di lavoro inerente quel paragrafo. Tali oneri e magisteri sono di seguito indicati e suddivisi per paragrafi.

#### DEMOLIZIONI

Tutti i prezzi degli articoli del presente paragrafo sono da intendersi comprendenti dei seguenti oneri, salvo diversa indicazione presente nell'articolo stesso: ponteggi realizzati secondo le vigenti normative sulla sicurezza dei luoghi di lavoro; abbassamento, carico, trasporto alla discarica e smaltimento dei materiali di risulta ivi compresi materiali speciali, dannosi, tossici etc. (compreso tasse, imposte e quant'altro connesso allo smaltimento secondo le vigenti normative in materia); salvo che per quei materiali di cui la D.L. ordinerà il recupero che saranno perciò rimossi in modo non distruttivo, ripuliti ed accatastati in cantiere per il successivo riutilizzo; l'onere derivante dai magisteri necessari per la puntellazione ed il consolidamento delle parti da non demolire; la rettifica dei tagli e delle breccie al fine di rendere pronte alle successive lavorazioni le parti non demolite ed in generale tutti quegli oneri necessari per dare le demolizioni eseguite come da indicazione della D.L. e con la massima sicurezza delle persone, degli edifici o parti di essi. I prezzi sono validi per lavori anche di piccola entità ed eseguiti all'interno di fabbricati e pertanto comprensivi di scarrettamento dei materiali di risulta all'esterno eseguito manualmente o con piccolo mezzo meccanico.

#### IMPERMEABILIZZAZIONI E COIBENTAZIONI

Tutti i prezzi degli articoli del presente paragrafo sono da intendersi comprendenti dei seguenti oneri, salvo diversa indicazione presente nell'articolo stesso: trasporto, accatastamento e manipolazione dei materiali necessari alle lavorazioni; per sormonte, tagli, sfridi e mantelline; la realizzazione dei necessari giunti di dilatazione. Lavori anche di piccola entità ed eseguiti all'interno di fabbricati e pertanto comprensivi di scarrettamento all'interno eseguito manualmente o con piccolo mezzo meccanico.

#### MANTI DI COPERTURA

Tutti i prezzi degli articoli del presente paragrafo sono da intendersi comprendenti dei seguenti oneri, salvo diversa indicazione presente nell'articolo stesso: innalzamento e accatastamento dei materiali necessari alle lavorazioni; tagli, sfridi e mantelline; opere murarie, oltre a quant'altro occorrente a dare le lavorazioni finite a regola d'arte. Lavoro eseguito anche per piccole superfici. Pertanto comprensivi di scarrettamento all'esterno eseguito manualmente o con piccolo mezzo meccanico.

#### OPERE IN PIETRA

Nei prezzi del presente paragrafo sono compresi e compensati tutti gli oneri derivanti dall'inserimento degli elementi in pietra nelle murature o qualsivoglia tipo di struttura, comprese le eventuali opere di demolizione i materiali per la muratura o l'incollaggio, le sagomature, la levigatura e le lavorazioni (quali tori, gole, guscie ecc.) richieste dal progetto e dalla D.L. oltre a quant'altro occorrente a dare il lavoro finito a regola d'arte. Le misurazioni volumetriche sono da intendersi riferite alla figura geometrica semplice circoscrivibile alla sezione del manufatto.

#### TINTEGGIATURE

Tutte le voci del seguente paragrafo sono comprensive salvo diversa specificazione inserita nella singola voce, degli oneri della stuccatura e levigatura dei supporti per prepararli alla verniciatura e di quelli relativa alla pulitura ed eliminazione delle scorie e della sabbia per le sabbiature e spazzolature Misurazione di 1,5 volte la superficie netta per le finestre a disegno semplice, di 2,5 volte le persiane, di 1,5 volte ringhiere a disegno semplice, 2,0 volte le ringhiere a disegno complesso, 1,20 volte la luce coperta le volte e archi ribassati, 1,5 volte le cupole, volte a botte, a crociera o vela Verranno scomputati i vuoti maggiori di 3 mq

INDICE

<u>SCHEMA DI CONTRATTO e.....</u>	<u>1</u>
<u>CAPITOLATO SPECIALE D'APPALTO.....</u>	<u>1</u>
<b><u>SCHEMA DI CONTRATTO.....</u></b>	<b><u>2</u></b>
Art. 1 DOCUMENTI CHE FANNO PARTE INTEGRANTE DEL CONTRATTO	3
Art. 2 GARANZIE E COPERTURE ASSICURATIVE	3
Art. 3 ONERI DELL'APPALTATORE	4
Art. 4 OBBLIGHI DELL'APPALTATORE NEI CONFRONTI DEGLI OPERAI DIPENDENTI.	6
Art. 5 RESPONSABILITÀ DELL'APPALTATORE NEI CONFRONTI DEI SUBAPPALTATORI	7
Art. 6 SPESE CONTRATTUALI E ONERI FISCALI	7
Art. 7 DOMICILIO DELL'APPALTATORE	7
Art. 8 CONSEGNA DEI LAVORI	7
Art. 9 TEMPO UTILE PER DARE COMPIUTI I LAVORI PENALE PER IL RITARDO	8
Art. 10 SOSPENSIONE E RIPRESA LAVORI - PROROGHE	8
Art. 11 DANNI DI FORZA MAGGIORE	8
Art. 12 RESCSSIONE DEL CONTRATTO	8
Art. 13 ANTICIPAZIONE	8
Art. 14 PAGAMENTI IN ACCONTO E MODI VALUTAZIONE LAVORI	9
Art. 15 CONTO FINALE	9
Art. 16 CERTIFICATO DI REGOLARE ESECUZIONE O COLLAUDO	9
Art. 17 PAGAMENTO A SALDO	9
Art. 18 DELLA MANUTENZIONE	9
Art. 19 VARIAZIONE DELLE OPERE PROGETTATE E NUOVI PREZZI	10
Art. 20 LAVORI ESEGUITI IN ECONOMIA	10
Art. 21 PROGRAMMA DEI LAVORI E MODO DI ESECUZIONE	10
Art. 22 DISPOSIZIONI GENERALI RELATIVE AI PREZZI E LORO INVARIABILITA'	11
Art. 23 ADEGUAMENTO PREZZI	11
Art. 24 PRESCRIZIONI RELATIVE AI LAVORI DA ESEGUIRE	11
Art. 25 DEFINIZIONE DELLE CONTROVERSIE	11
Art. 26 CLAUSOLE VESSATORIE	12
<b><u>CAPITOLATO SPECIALE DI APPALTO.....</u></b>	<b><u>13</u></b>
<i>Capo Primo.....</i>	<i>14</i>
OGGETTO E IMPORTO DELL'APPALTO.....	14
DESIGNAZIONE DELLE PRINCIPALI OPERE.....	14
1. OGGETTO DELL'APPALTO	14
2. IMPORTO DELL'APPALTO, DISCIPLINA DELLE VARIANTI, QUALIFICAZIONE E DISCIPLINA	14
3. DESCRIZIONE SOMMARIA DELLE OPERE	15
<i>Capo secondo.....</i>	<i>16</i>
QUALITÀ E PROVENIENZA DEI MATERIALI.....	16
MODO DI ESECUZIONE DI OGNI CATEGORIA DI LAVORO.....	16
PROGRAMMA DEI LAVORI.....	16
4. qualità E PROVENIENZA DEI MATERIALI IN GENERE	16
5. ACQUA, CALCI, GESSO	16
6. LEGANTI SINTETICI	19
7. MATERIALI INERTI PER MALTE, STUCCHI E CONGLOMERATI	21
8. MATERIALI DIVERSI (SIGILLANTI, ADESIVI, GEO-TESSUTI, TESSUTI-NON-TESSUTI)	23
9. SOLVENTI	24
10. MATERIALI IMPREGNANTI – GENERALITA'	25
11. MATERIALI VARI	31
<i>Capo terzo.....</i>	<i>35</i>
MODALITÀ DI ESECUZIONE DEI LAVORI.....	35
12. PROCEDURE OPERATIVE DI RESTAURO	35
13. PROCEDURE OPERATIVE DI CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE	61
<i>Capo quarto.....</i>	<i>89</i>
NORME PER LA MISURAZIONE E LA VALUTAZIONE DEI LAVORI.....	89
14. NORME GENERALI	89
15. APPARATI DECORATIVI	89
16. OPERAZIONI DI PRECONSOLIDAMENTO	89
17. OPERAZIONI DI PULITURA	90
18. OPERAZIONI DI DISERBO E TRATTAMENTO DA ATTACCHI BIOLOGICI	90
19. Operazioni di rimozioni di stuccature o di elementi non idonei applicati in precedenti interventi	90

<u>20. Operazioni di distacco e riadesione di scaglie, frammenti e parti pellicolanti o cadute</u>	<u>90</u>
<u>21. Operazioni di consolidamento</u>	<u>91</u>
<u>22. Operazioni di stuccatura, microstuccatura e presentazione estetica (comprendendo anche le integrazioni pittoriche e le protezioni superficiali)</u>	<u>91</u>
<u>23. Operazioni di integrazioni di parti mancanti</u>	<u>91</u>
<u>24. Operazioni di protezione</u>	<u>91</u>
<u>25. ELENCO PREZZI</u>	<u>91</u>

## Contrassegno Elettronico

TIPO

QR Code

IMPRONTA (SHA-256): 6597d7359046c6ea2ee7f7c246b3fbe03e318418b655bec0581400422cc24337

**Firme digitali presenti nel documento originale**

MASSIMO PETAGNA

### Dati contenuti all'interno del Contrassegno Elettronico

Determinazione N.6559/2017

Data: 03/08/2017

Oggetto: SCUOLA MICHELI: CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE E PRIMO LOTTO RESTAURO  
FACCIAE. (EA 78-2017 )  
APPROVAZIONE PROGETTO ESECUTIVO E AUTORIZZAZIONE A CONTRARRE.

CUP: J42F17000230004 – CIG: 7154518F03



Ai sensi dell'articolo 23-ter, comma 5, del D.Lgs. 82/2005, le informazioni e gli elementi contenuti nel contrassegno generato elettronicamente sono idonei ai fini della verifica della corrispondenza al documento amministrativo informatico originale. Si precisa altresì che il documento amministrativo informatico originale da cui la copia analogica è tratta è stato prodotto dall'amministrazione ed è contenuto nel contrassegno.



URL: [http://www.timbro-digitale.it/GetDocument/GDOCController?qrc=b7f642053f47a629\\_p7m&auth=1](http://www.timbro-digitale.it/GetDocument/GDOCController?qrc=b7f642053f47a629_p7m&auth=1)

ID: b7f642053f47a629