

# sommario

QUALITA' DEI MATERIALI E PROCEDURE ESECUTIVE DI OGNI CATEGORIA DI LAVORO.....	3
PARTE I - MATERIALI.....	3
QMA – Qualità e provenienza dei materiali. Materiali in genere.....	3
PARTE II – Procedure esecutive .....	4
AS1– Generalità .....	4
AS 2. Indagini preliminari (accertamento sulle caratteristiche costruttive-strutturali).....	5
AS 3. Demolizione di strutture murarie di fondazione.....	5
AS 4. Demolizione di strutture murarie.....	6
AS 4.1. Strutture portanti e/o collaboranti.....	6
AS 9. Rimozione e smontaggio di rivestimenti lapidei.....	6
AG ml. 2. Stuccatura-Integrazione di elementi in laterizio.....	8
AG ml. 3. Stuccature di elementi lapidei.....	10
AG ml. 4. Risarcimento-Stilatura giunti di malta.....	11
CN ml. Operazioni di Consolidamento di materiali lapidei.....	13
CN ml. 1. GENERALITÀ.....	13
CN ml. 2. Fissaggio e riadesione di elementi sconnessi e distaccati (mediante perni).....	13
CN ml. 5. Sigillatura materiali lapidei (mediante resine sintetiche).....	14
CN ml. 6. Consolidamento in profondità mediante iniezioni con miscele leganti.....	16
CN ml. 7. Consolidamento lastre lapidee da rivestimento (messa in sicurezza).....	18
CN ml. 7.1. Generalità.....	18
CN ml. 7.2. Messa in sicurezza.....	19
CN ml. 7.2.1. Messa in sicurezza con sistemi di fissaggio portanti rigidi.....	20
PR ml. Operazioni di protezione dei materiali lapidei.....	22
PR ml. 1. Generalità.....	22
PR ml. 2. Applicazione di impregnante idrorepellente.....	22
DM am. Operazioni di Deumidificazione di apparecchi murari.....	24
DM am. 1. Generalità.....	24
DM am. 2. Drenaggi, intercapedini, vespai.....	24
DM am. 2.1. Drenaggi, pozzi assorbenti.....	24
DM am. 2.1.1. Pozzi assorbenti.....	26
DM am. 2.2. Intercapedini, scannafossi.....	26
PROCEDURE DI CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE.....	27
SC Operazioni di Scavi e Rinterri.....	27
SC 1. Generalità.....	27
SC 2. Scavi di splateamento e sbancamento.....	28
SC 3. Scavi di fondazione a sezione obbligata.....	29
SC 4. Scavi di accertamento e ricognizione.....	30
SC 5. Armature degli scavi.....	30
SC 6. Rilevati e rinterri.....	31
CN fo. Operazioni di Consolidamento fondazioni.....	32
CN fo. 1. Generalità.....	32
CN fo. 3. Consolidamento di fondazioni con pali.....	32
CN fo. 3.1. Sottofondazione con micropali.....	33
CN fo. 3.1.1. Pali tipo radice.....	33
CN fo. 3.1.2. Pali tipo Tubfix.....	34
CN am. Operazioni di Consolidamento apparecchi murari.....	34
CN am. 1. Generalità.....	34
CN am. 3. Consolidamento mediante iniezioni di miscele leganti.....	36
CN am. 3.1. Consolidamento mediante iniezioni non armate.....	37

CN am. 3.2. Consolidamento mediante iniezioni armate.....	40
CN am. 6. Consolidamento mediante tiranti metallici.....	41
CN mu. 6.1. Consolidamento con tiranti trivellati inseriti nella muratura.....	41
CN mu. 6.1.1. Tiranti trivellati inseriti nella muratura orizzontalmente.....	41
CN mu. 6.2. Consolidamento con tiranti aderenti alla muratura.....	42
CN am. 7. Consolidamento mediante tiranti antiespulsivi.....	43
CN am. 8. Consolidamento mediante diatoni artificiali.....	43
CN am.9. Cerchiature in acciaio di aperture e vani in murature portanti.....	44
CN sl. Operazioni di Consolidamento solaio in legno.....	46
CN sl. 1. Generalità.....	46
CN sl. 2. Appoggi.....	46
CN sl. 3. Irrigidimento mediante doppio tavolato.....	46
CN sl. 4. Consolidamento mediante sezioni miste.....	47
CN sl. 4.1. Connettore inghisato a piolo o a traliccio.....	48
CN sl. 5. Consolidamento mediante aumento della sezione.....	50
CN sl. 6. Ancoraggio delle travi alle murature tramite piastre metalliche.....	50
CN sl. 7. Ancoraggi dei solai alle murature d'ambito.....	51
CN sl. 7.1. Cordolo continuo in cemento armato.....	51
CN sl. 7.2. Collegamento discontinuo in cemento armato a coda di rondine.....	52
CN sl. 7.3. Collegamento mediante lame metalliche a V.....	52
CN sl. 7.4. Collegamento mediante barre metalliche metodo “grip-raound”.....	52
CN sl. 7.5. Collegamento mediante profilati in ferro.....	53
CN cl. Operazioni di Consolidamento di coperture in legno.....	53
CN cl. 1. Generalità.....	53
CN cl. 2. Collegamento tra le strutture della copertura e la muratura.....	54
CN cl. 2.1. Collegamento mediate zanche o spillature metalliche.....	54
CN cl. 2.2. Collegamento mediante piatti metallici.....	55
CN cl. 2.3. Collegamento mediate tiranti metallici.....	56
CN cl. 2.4. Collegamento mediate cerchiatura dell'edificio in sommità.....	56
CN cl. 2.4.1. Cordolo in c.a.....	56
CN cl. 2.4.2. Cordolo in muratura armata.....	57
CN cl. 2.4.3. Cordolo in legno.....	57
CN cl. 2.4.4. Cordolatura mediante applicazione di materiali compositi (CFRP).....	58
CN cl. 2.4.5. Iniezioni e cuciture armate.....	58
CN cl. 3. Connessione tra i diversi elementi costituenti l'orditura.....	59
CN cl. 3.1. Connessione mediate staffe e/o piastre metalliche.....	59
CN cl. 3.2. Connessione mediante tavola e/o gattello in legno.....	59
CN cl. 4. Irrigidimento e controventatura delle falde di copertura.....	60
CN cl. 4.1. Irrigidimento e controventatura mediante tavolato ligneo.....	60
CN cl. 4.2. Irrigidimento e controventatura mediante croci di Sant'Andrea.....	60
CN cl. 4.3. Irrigidimento mediante caldana armata in cls.....	61
CN cl. 5. Fissaggio elementi sporgenti.....	61
CN cl. 6. Rigenerazione di testate di travi e nodi di incavallature.....	62
CN cl. 6.1. Ricostruzione mediante protesi in legno.....	62
CN cl. 6.1.1. Protesi con legno lamellare ”artigianale” .....	62
CN cl. 6.1.2. Protesi con guance.....	63
CN cl. 6.1.3. Protesi con incalmi.....	63
CN cl. 6.2. Ricostruzione mediante concrezioni epossidiche ed elementi di rinforzo.....	64
CN cl. 7. Consolidamento di travi mediante cerchiature.....	65
IM cl. Operazioni di Impermeabilizzazione ed isolamento coperture.....	65
IM cl . 1. Copertura ventilata.....	65
IM cl . 1.1. Manto di copertura su pannelli.....	66

## Capitolato speciale per lavori di restauro e consolidamento parte seconda

### QUALITA' DEI MATERIALI E PROCEDURE ESECUTIVE DI OGNI CATEGORIA DI LAVORO

#### PARTE I - MATERIALI

##### QMA – Qualità e provenienza dei materiali. Materiali in genere

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

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

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

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

- individuare gli agenti patogeni in aggressione;

- individuare le cause dirette e/o indirette determinanti le patologie (alterazioni del materiale, difetti di produzione, errata tecnica applicativa, aggressione atmosferica, sbalzi termici, umidità, aggressione microrganismi, ecc.);

- effettuare in situ e/o in laboratorio tutte quelle prove preliminari in grado di garantire l'efficacia e la non nocività dei prodotti da utilizzarsi e di tutte le metodologie di intervento. Tali verifiche faranno riferimento alle indicazioni di progetto, alle normative UNI e alle raccomandazioni NORMAL recepite dal Ministero per i Beni Culturali con decreto n. 2093 del 11/11/82. Il prelievo dei campioni verrà effettuato in contraddittorio con l'Appaltatore e sarà appositamente verbalizzato. Sarà in ogni caso da eseguirsi secondo le norme del C.N.R.

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

## PARTE II – Procedure esecutive

### AS1– Generalità

Le operazioni di demolizioni e smontaggi dovranno essere conformi a quanto prescritto nel DPR 7 gennaio 1956, n.164 (in modo particolare 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 da non provocare eventuali danneggiamenti alle residue strutture, sia da prevenire qualsiasi infortunio agli addetti al lavoro; dovranno, inoltre, essere evitati incomodi, disturbi o danni collaterali. Particolare attenzione dovrà essere fatta allo scopo di eludere l'eventuale formazione d'eventuali zone d'instabilità strutturale.

Sarà divieto 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 eventuali, necessarie opere di puntellamento ed alla messa in sicurezza temporanea (mediante idonee opere provvisionali) 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 ai 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, pianelle, tegole, travi, travicelli ecc.) dovranno essere

opportunamente calati a terra, scalcinati, puliti (utilizzando tecniche indicate della 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.

## AS 2. 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 all'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.

## AS 3. 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 eseguiti 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 incrementandole 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 controspinta 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 costituisce contrasto con il terreno, che non sia contemporaneamente o anteriormente rimosso. Precedentemente alla demolizione si renderà necessario costituire un presidio d'opere provvisionali 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.

## AS 4. 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 al 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.

### AS 4.1. Strutture portanti e/o collaboranti

Previa 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.

## AS 9. 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 lo smontaggio), sia verificare se lo smontaggio potrà interessare il singolo elemento o più elementi contemporaneamente (ad es., nel 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 potranno 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.

Preventivamente 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 veda 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 potrà comportare la rottura o la perdita del pannello.

AG ml. Operazioni di stuccature, integrazioni dei materiali lapidei (aggiunte)

AG ml. 1. Generalità

Prima di mettere in pratica i protocolli di stuccatura, integrazione ed aggiunte sui materiali lapidei (con questo termine saranno intesi, oltre che i marmi e le pietre propriamente detti, anche gli stucchi, le malte, gli intonaci ed i prodotti ceramici come laterizi e cotti) sarà opportuno seguire delle operazioni preliminari indirizzate alla conoscenza del materiale oggetto di intervento (pietra arenaria, calcarea, travertini, tufi ecc.). L'adesione tra la superficie originale e quella d'apporto sarà in funzione della scrupolosa preparazione del supporto, operazione alla quale si dovrà porre molta attenzione dal momento che si rileverà fondamentale per assicurare l'efficacia e la durabilità dell'intervento di "stuccatura-integrazione". Le modalità con cui si eseguiranno questo tipo di operazioni saranno correlate alle caratteristiche morfologiche del materiale da integrare (pietra, laterizio, intonaco ecc.) e alla percentuale delle lesioni, oltre che dalla loro profondità ed estensione. Verifiche preliminari Prima di eseguire qualsiasi operazione sarà necessario procedere alla verifica del quadro fessurativo così da identificare eventuali lesioni "dinamiche" (che potranno essere dovute a svariati motivi tra i quali assestamenti strutturali non ancora terminati, dilatazioni termiche interne al materiale o fra materiali diversi ecc.); in tal caso non si potrà procedere semplicemente alla stuccatura della fessurazione ma si dovranno identificare e risolvere le cause a monte che hanno procurato tale dissesto.

L'intervento di stuccatura ed integrazione sarà lecito solo su fessurazioni oramai stabilizzate (lesione statica).

Asportazione di parti non compatibili

Si procederà, seguendo le indicazioni della D.L., all'ablazione puntuale tramite scopini (di saggina), spatole, cazzuolini, mazzetta e scalpello di piccole dimensioni, martelline, vibroincisori ecc., di tutte le parti non compatibili con il supporto (legno, ferro, malte erose o gravemente degradate ecc.), ovvero stuccature od integrazioni realizzate con malte troppo crude (cementizie) in grado di creare col tempo stress meccanici. L'operazione

dovrà avvenire con la massima cura evitando accuratamente di non intaccare il manufatto originale.

#### Pulitura della superficie

Ciclo di pulitura con d'acqua deionizzata e successiva spazzolatura (o con altra tecnica indicata negli elaborati di progetto) della superficie da trattare allo scopo di rimuovere sporco, polveri, oli, scorie e qualsiasi altra sostanza estranea al materiale lapideo. Tutte le operazioni di pulitura dovranno tendere a lasciare l'interno della lesione o del giunto privo di detriti o patine, ma con la superficie scabra, così da favorire un idoneo contatto con malta da ripristino. Nel caso in cui la superficie, oggetto di intervento, si dovesse presentare con efflorescenze saline od altre patologie derivate dalla presenza di sali si renderà indispensabile procedere alla desalinazione della muratura utilizzando metodi e tecniche dettate dalle indicazioni della D.L. (ad es., impacchi di polpa di cellulosa imbevuti in acqua deionizzata). Lo stesso criterio sarà utilizzato se l'apparecchio murario risultasse affetto da umidità di risalita capillare od ancora dovesse presentare muschi, licheni o vegetazione superiore infestante:

prima di qualsiasi intervento d'integrazione si dovrà procedere alla bonifica della muratura. Per specifiche sulle tecniche di pulitura, desalinazione, bonifica o deumidificazione si rimanda a quanto esposto agli articoli specifici.

*Specifiche sulle stuccature:* saranno da evitare le stuccature a base di cementi tradizionali, perché questi potranno cedere ioni alcalini e solfati che potrebbero portare alla formazione di sali solubili dannosi per il materiale lapideo. Inoltre, gli impasti a base di cemento sono, spesso, meno porosi di molti materiali lapidei, cosicché, se si verificasse un movimento d'acqua all'interno di una struttura, la sua evaporazione e la conseguente cristallizzazione dei sali presenti potrebbe avvenire a carico delle parti più porose e non delle stuccature. Infine, le differenze di dilatazione termica fra pietra e cemento potrebbero provocare fessurazioni o danni di tipo meccanico (estratto dalla Raccomandazione NORMAL n. 20/85).

**Avvertenze:** sarà vietato effettuare qualsiasi procedura di stuccatura, integrazione o, più in generale, 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 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 (se si tratterà di emulsioni ovverosia miscele di due liquidi rapporto volume/volume) o di concentrazione (se si tratterà di soluzioni cioè scioglimento di un solido in un liquido rapporto peso/volume) utilizzati, le modalità ed i tempi di applicazione.

#### AG ml. 2. Stuccatura-Integrazione di elementi in laterizio

L'intervento si rivolge agli apparecchi "faccia vista" in laterizio e avrà come obiettivo quello di mettere in sicurezza i frammenti in cui si sono suddivisi i laterizi, integrare le eventuali lacune (dovute alla disgregazione, erosione, alveolizzazione del materiale) e, allo stesso tempo, difendere l'apparecchio dagli agenti atmosferici. Sarà un'operazione, sia di consolidamento che di protezione, che dovrà essere necessariamente estesa anche alle più piccole lesioni e fratture del mattone, affinché la superficie non abbia soluzioni di continuità e possa, così, opporre alla pioggia ed agli agenti aggressivi ed inquinanti, un corpo solido e compatto.

Previa esecuzione delle operazioni preliminari di preparazione (asportazione parti non consistenti e lavaggio della superficie) ed abbondante bagnatura con acqua deionizzata della superficie oggetto d'intervento, si effettuerà l'applicazione dell'impasto in strati separati e successivi secondo la profondità della lacuna da riempire, al fine di evitare

spaccature e lesioni durante la stagionatura e successivi rischi di distacco. L'impasto della malta sarà effettuato seguendo le indicazioni di progetto; in assenza di queste si potrà utilizzare uno stucco a base di grassello di calce (10 parti) caricato con tre parti di polvere di coccio pesto (30 parti); in alternativa il coccio pesto potrà essere sostituito per metà, o del tutto, con pozzolana (rapporto legante-inerte 1:3);

questo impasto potrà, eventualmente, essere "aiutato" con una parte di resina acrilica in emulsione al 10% in acqua con funzione di fluidificante (quantità < al 2%). La stuccatura sarà effettuata utilizzando cazzuolini, cucchiarotto o piccole spatole tipo quelle a foglia d'olivo evitando con cura di intaccare le superfici non interessate (sia con la malta, sia con gli attrezzi); a tal fine potrà essere conveniente schermare le superfici limitrofe utilizzando nastro di carta, o altro sistema idoneo. Con la spatola si dovrà dare forma alla porzione mancante del mattone costipando il materiale al fine di eliminare sia l'acqua in eccesso, sia di migliorare la compattezza e l'aderenza alla parte sana del laterizio oggetto di intervento.

Dovranno essere effettuate miscele di prova, delle quali si trascriveranno le proporzioni e si prepareranno dei piccoli campioni di malta, così da poterli avvicinare alla superficie da stuccare per la verifica del tono finale. Nel realizzare i provini delle malte bisognerà tener conto di eseguirli molto tempo prima per confrontare i colori dopo la presa e la naturale stagionatura.

In presenza di lievi fessure ovvero sacche intergranulari nel mattone, si potrà ricorrere ad applicare a pennello o mediante iniezioni una boiacca (miscelata con l'ausilio di frusta da zabaione) simile a quella descritta precedentemente, ma con un rapporto legante-inerte di 1:1 (1000 parti di acqua; 100 parti calce idraulica naturale NHL 2; 100 parti coccio pesto o pozzolana; 10 parti di resina acrilica in emulsione; 1 parte di gluconato di sodio); le cariche saranno superventilate (granulazioni inferiori i 60 m). Al fine di favorire l'efficacia dell'assorbimento, in special modo per le iniezioni, si renderà necessario un pre-trattamento della cavità con acqua ed alcool denaturato con l'eventuale aggiunta di dispersione acrilica al 10%.

*Specifiche sul grassello:* si dovrà cercare di evitare la consuetudine di realizzare grassello semplicemente aggiungendo

un'adeguata quantità d'acqua (circa il 20%) alla calce idrata. Così facendo si otterrà un grassello in appena 24 ore ma sarà un prodotto scadente; pertanto, risulterà opportuno utilizzare grassello di calce spenta da almeno sei mesi al fine di diminuire la possibilità che restino grumi di calce non spenta nella malta.

Eventuale inserimento di armatura

Nel caso in cui si dovesse operare in cospetto di parti mancanti consistenti si renderà necessario "armare" la stuccature con rete metallica elettrosaldata a doppia zincatura a maglia stretta (per es., filo 2 mm maglia 10x10 mm) e/o con perni filettati di acciaio inossidabile, preferibilmente di tipo austenitico, della serie AISI 300L (314L o 316L), che presenterà anche buone doti di piegabilità (ad es., 2-3 4 mm), opportunamente sagomati allo scopo di migliorare l'aderenza al supporto della malta da ripristino. Si eseguiranno i fori per l'inserimento dei perni con trapano a sola rotazione a bassa velocità dopodiché, previa aspirazione degli eventuali detriti con pera di gomma ed iniezione di acqua deionizzata ed alcool, (rapporto 5:1 in volume) si inserirà il perno. In questa operazione si dovrà ricorrere ad ogni accortezza al fine di evitare danni o rotture ai manufatti.

I perni dovranno essere annegati in particolari malte a base di calce idraulica naturale NHL 3,5 e pozzolana superventilata, rapporto 1:2, con l'eventuale aggiunta di gluconato di sodio (per migliorare la fluidità) ed, eventualmente, di cemento bianco (per aumentare le proprietà meccaniche). In alternativa si potranno utilizzare collanti a base di resine epossidiche a bassa viscosità, esenti da solventi, polimerizzabili a temperatura ambiente ed in presenza di umidità. In ogni caso si utilizzerà un impasto di adeguata tissotropicità o fluidità in relazione alla dimensione e caratteristiche degli elementi da far riaderire.

**Specifiche sui perni:** dovrà essere evitato l'uso di metalli facilmente ossidabili come il ferro, il rame e le sue leghe; mentre potranno essere utilizzati con tutta tranquillità: perni in titanio o in acciaio inossidabile o, se l'integrazione interessa parti non sottoposte a particolari sollecitazioni meccaniche, barre in vetroresina. Il perno dovrà possedere buona stabilità chimica e coefficiente di dilatazione termica lineare e il più possibile vicino a quello dei materiali da ripristinare.

#### Trattamento finale

A presa avvenuta la superficie stuccata verrà trattata con spugna inumidita (esercitando una leggera pressione) con il risultato di arrotondare gli spigoli, compattare lo stucco e, nello stesso tempo, rendere scabra la superficie rendendola simile ai mattoni limitrofi. Allo scopo di rendere l'integrazione non troppo discordante dagli elementi originali, si può trattare la superficie con una patinatura di polvere di pozzolana (per maggiori dettagli si rimanda alla procedura specifica).

#### AG ml. 3. Stuccature di elementi lapidei

Lo scopo dell'intervento sarà quello di colmare le lacune e le discontinuità (parziale mancanza di giunti di malta, fratturazione del concio di pietra ecc.) presenti sulla superficie della pietra (qualsiasi sia la loro origine) così da "unificare" la superficie ed offrire agli agenti di degrado (inquinanti atmosferici chimici e biologici, nonché infiltrazioni di acqua) un'adeguata resistenza.

Previa esecuzione delle operazioni preliminari di preparazione (asportazione di parti non consistenti e lavaggio della superficie) e bagnatura con acqua deionizzata si effettuerà l'applicazione dell'impasto in strati separati e successivi secondo la profondità della lacuna da riempire: per le parti più arretrate sarà consigliabile utilizzare una malta a base di calce idraulica naturale NHL 2 a basso contenuto di sali composta seguendo le indicazioni di progetto e la tipologia di lapideo (ad es., si utilizzeranno, preferibilmente, delle cariche pozzolaniche su materiali di natura vulcanica e degli inerti calcarei se si opererà su pietre calcaree); in assenza di queste si potrà utilizzare, un impasto caricato con una parte di sabbia silicea lavata (granulometria costituita 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%) ed una parte di cocci pesto; in alternativa al cocci pesto si potrà utilizzare pozzolana ventilata (rapporto legante-inerte 1:3). La stuccatura si eseguirà utilizzando piccole spatole a foglia o cazzuolini evitando con cura di intaccare le superfici non interessate (sia con la malta sia con gli attrezzi); si potranno, eventualmente, mascherare le superfici limitrofe utilizzando nastro di carta. Nel caso occorra preparare una malta particolarmente resistente a compressione si potrà ricorrere all'utilizzo di piccole quantità di cemento bianco esente da gesso e sali solubili; le eventuali quantità dovranno essere limitate in quanto il cemento bianco presenta notevoli ritiri in fase di presa (un sovradosaggio porterebbe a delle malte di eccessiva durezza, ritiro e scarsa permeabilità al vapore acqueo).

La stuccatura di superficie sarà eseguita con grassello di calce (sarà necessario utilizzare grassello ben stagionato; minimo 12 mesi, se non si avrà certezza sulla stagionatura si potrà aggiungere un minimo quantitativo di resina acrilica in emulsione); la carica dell'impasto sarà di pietra macinata (meglio se triturata a mano così da avere una granulometria simile a quella del materiale originale); verrà, preferibilmente, utilizzata la polvere della pietra stessa o, in mancanza di questa, un materiale lapideo di tipologia uguale a quella del manufatto in questione in modo da ottenere un impasto simile per colore e luminosità;

potranno essere utilizzate anche polveri di cocci pesto, sabbie silicee ventilate, pozzolana, o carbonato di calcio: rapporto tra legante-inerte di 1:3 (per es., 1 parte grassello di calce; 1 parte pietra macinata; 2 parti di polvere di marmo fine). Sarà

consigliabile tenere l'impasto dello stucco piuttosto asciutto in modo da favorire la pulitura dei lembi della fessura.

In alternativa si potranno effettuare stuccature di superficie invisibili utilizzando idoneo stucco costituito da elastomeri fluorurati e polvere della stessa pietra o altra carica con caratteristiche e granulometria simile (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto all'articolo sul fissaggio e riadesione di elementi sconnessi e distaccati).

*Specifiche sulla stuccatura:* la scelta di operare la stuccatura a livello o in leggero sottoquadro nella misura di qualche millimetro (così da consentirne la distinguibilità), dovrà rispondere principalmente a criteri conservativi; sovente, infatti, le integrazioni sottolivello creano percorsi preferenziali per le acque battenti innescando pericolosi processi di degrado. Gli impasti dovranno essere concepiti per esplicare in opera valori di resistenza meccanica e modulo elastico inferiori a quelle del supporto, pur rimanendo con ordini di grandezza non eccessivamente lontani da quelli del litotipo. A stagionatura ultimata si potranno verificare, in opera i seguenti intervalli di valori:

- modulo elastico 10-20000 N/mm<sup>2</sup>;
- resistenza meccanica compressione 30-50 N/mm<sup>2</sup>, flessione 7,5-9,5 N/mm<sup>2</sup>;
- adesione al supporto a trazione diretta 1-4 N/mm<sup>2</sup> (in funzione della scabrosità della superficie);
- permeabilità al vapore < 50 ;
- resistenza al passaggio CO<sub>2</sub> 1000-3000

#### Additivi organici

Le malte utilizzate potranno essere caricate, se le disposizioni di progetto lo prevedono, con additivi organici (in quantità < al 2- 5%), quali: resine acriliche in emulsione al 10% in acqua con funzione di fluidificante, o, nel caso d'utilizzo con calce aerea, di colloide protettore che tende a trattenere l'acqua, così da non far "bruciare" prematuramente la pasta da stucco. Qualora, invece, venga richiesta alla malta una forte adesività strutturale (ad es., per stuccature profonde non esposte ai raggi UV) ed un'alta resistenza meccanica sarà più opportuno impiegare resine termoindurenti come quelle epossidiche. In ogni caso, salvo diverse disposizioni della D.L., il rapporto legante-additivo sarà generalmente 10:1.

**Colore stuccatura** Al fine di rendere possibile un'adeguata lettura cromatica si potrà "aiutare" il colore dell'impasto additivandolo con terre colorate e pigmenti (massimo 5% di pigmenti minerali o 10% di terre). Il colore della pietra si raggiungerà amalgamando, a secco, le cariche fino ad ottenere il tono esatto ma più scuro per bilanciare il successivo schiarimento che si produrrà aggiungendo la calce. Effettuate le miscele di prova si dovranno, necessariamente, trascrivere le proporzioni e preparare dei piccoli campioni di malta su mattone o lastra di pietra, così da poterli avvicinare alla superficie da stuccare per la verifica del tono finale. Per tutte quelle stuccature che interesseranno porzioni di muro vaste potrà essere preferibile ottenere una risoluzione cromatica in leggera difformità con la pietra originale.

#### Trattamento finale

A presa avvenuta, al fine di ottenere una stuccatura opaca, la superficie interessata verrà lavata e/o tamponata (esercitando una leggera pressione) con spugna inumidita di acqua deionizzata, così da compattare lo stucco, far emergere la cromia della punteggiatura ed eliminare eventuali residui di malta.

#### AG ml. 4. Risarcimento-Stilatura giunti di malta

L'intervento prevederà l'integrazione delle porzioni di malta mancanti e sarà eseguito mediante impasti plastici a base di calce con i requisiti di resistenza simili a quelle del materiale originale e con caratteristiche fisiche (tessitura, grana, colore ecc.) simile o discordanti in relazione alle disposizioni di progetto. Lo scopo della rabboccatura sarà quello di preservare le cortine murarie da possibili fenomeni di degradazione e di restituire

continuità alla tessitura, al fine di evitare infiltrazioni od attacchi di vegetazione infestante, accrescendone le proprietà statiche. L'operazione di stillatura dovrà essere evitata (previa rimozione) su manufatti saturi di sali, in particolare in presenza di estese efflorescenze saline, ovvero di muffe, polveri o parti non solidali che potrebbero impedire la solidificazione della malta tra gli elementi.

Previa esecuzione delle verifiche e delle operazioni preliminari (asportazione parti non consistenti e lavaggio della superficie) la procedura prevederà l'abbondante bagnatura con acqua pulita (specialmente se il sub strato è particolarmente poroso) del giunto, così da garantire alla malta originale, ed alle superfici limitrofe l'utile saturazione, basilare per evitare che si verifichi l'assorbimento del liquido dalla nuova malta compromettendone la presa. Una volta inumidito il giunto si effettuerà l'applicazione dell'impasto in strati successivi secondo la profondità e la lunghezza della lacuna da riempire. Per l'impasto, seguendo le disposizioni di progetto, si potranno utilizzare appositi formulati costituiti da calce idraulica, grassello di calce, sabbie od altri aggregati minerali di granolumetria nota; per le parti più arretrate sarà opportuno utilizzare un impasto a base di calce idraulica naturale NHL 3,5 (ottenuta per calcinazione a bassa temperatura, esente da sali solubili, con un'ottima permeabilità al vapore) e sabbia di fiume vagliata (granolumetria 0,5-1,5 mm). In alternativa alla sabbia si potranno utilizzare altre cariche quali: pozzolana, o cocci pesto (coccio macinato disidratato ricavato dalla frantumazione d'argilla cotta a basse temperature); in ogni caso il rapporto legante inerte sarà sempre di 1:2. Questo strato di "fondo" si effettuerà utilizzando cazzuolino, cucchiarotto o una piccola spatola metallica facendo attenzione a non "sporcare" le superfici non interessate. A questo scopo sarà conveniente proteggere, preventivamente, con idonea pellicola protettiva (ad es., nastro di carta adesivo) o con teli di nylon, sia le superfici lapidee o laterizie dei conci che delimitano il giunto d'allettamento, sia gli eventuali serramenti od elementi ornamentali prossimi alla zona d'intervento. Per la stilatura di finitura si potrà utilizzare un impasto a base di grassello di calce; la carica dell'impasto potrà essere di pietra macinata, sabbia di fiume fine (granolumetria 0,5-0,8 mm) o, in caso di apparecchio in laterizi, polvere di cotto macinato: rapporto tra legante-inerte di 1:3. La scelta degli inerti sarà dettata dalle analisi preventive effettuate su materiali campioni, e dalla risoluzione cromatica che si vorrà ottenere in sintonia o in difformità con le malte esistenti.

Dopo un periodo di tempo sufficiente a consentire un primo indurimento dell'impasto si provvederà a "stringere" la malta mediante una leggera pressione della mano o della punta della cazzuola, così da compattarla e renderla più solida. Questa operazione andrà ripetuta dopo circa 5-6 ore d'estate e dopo 24 ore d'inverno nell'arco di mezza giornata fino a che, il giunto, apparirà coeso e senza cretti.

Se gli elaborati di progetto richiedessero un giunto con finitura scabra si potrà intervenire sulla malta della stillatura (appena questa abbia "tirato" ma sia ancora modellabile) "segnandola" con spazzola di saggina o tamponandola con tela di Juta ruvida. Si ricorda che la spazzola non dovrà essere strofinata sulla superficie, ma battuta leggermente, altrimenti si rischierà di danneggiare la rabboccatura. Saranno da evitare spazzole di ferro in quanto si potrebbero danneggiare il giunto ed i supporti limitrofi.

**Specifiche:** a seconda delle disposizioni di progetto l'operazione di integrazione-risarcitura potrà essere più o meno connotata; si potrà, infatti, eseguire una stillatura dei giunti seguendo il filo esistente oppure eseguirla in leggero sottilo, od ancora sfruttando la granolumetria ed il colore degli inerti si potrà ottenere un risultato mimetico o di evidente contrasto tra la vecchia e la nuova malta.

Nel caso in cui il progetto preveda una risarcitura "mimetica" si dovrà porre particolare attenzione nell'individuazione della composizione e colorazione specifica della malta che dovrà accordarsi, mediante la cromia dell'impasto e la granolumetria degli aggregati, una volta applicata ed essiccata; alla granolumetria delle malte di supporto considerando le diverse gradazioni cromatiche e caratteristiche tessiturali presenti nell'apparecchio murario

dovute al diverso orientamento, esposizione agli agenti atmosferici ed alla presenza di materiali diversi.

#### Trattamento finale

L'operazione di stuccatura si completa con spugna ed acqua deionizzata per eliminare i segni della spazzola, far risaltare le dimensioni e la cromia dell'aggregato e per togliere le eventuali cariche distaccate che potrebbero conferire al giunto asciutto un aspetto polverulento.

CN ml. Operazioni di Consolidamento di materiali lapidei

#### CN ml. 1. 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 (se si tratterà di emulsioni ovverosia miscele di due liquidi rapporto volume/volume) o di concentrazione (se si tratta di soluzioni cioè scioglimento di un solido in un liquido rapporto peso/volume) 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 postintervento).

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.

CN ml. 2. 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 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 AC-33*) 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 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 all'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 (bicocomponente 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 tissotropicità 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 copolimero vinildene fluoro-esafluoropropene al 10% in acetone (tipo *Akeogard stucco*). 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. Il prodotto sarà completamente reversibile tramite acetone.

CN ml. 5. Sigillatura materiali lapidei (mediante resine sintetiche)

La procedura prevedrà l'esecuzione di stuccature delle soluzioni di continuità mediante intassamento 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 coccio pesto 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 pié d'opera e, a seconda del tipo di impasto (fluido, 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 prevederà, invece, l'utilizzo di composti a base di resina acrilica, se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto, si utilizzerà lattice acrilico (tipo *Primal AC-33*) aggiungendo al lattice non diluito una quantità adeguata di carbonato di calcio sino a rendere la maltina estruibile.

La procedura prevedrà, dopo le opportune operazioni preliminari di pulitura, eventuale preconsolidamento di parti particolarmente decoese o distaccate e, 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, 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 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 all'articolo sulle stuccature di materiali lapidei. In alternativa si potranno effettuare delle stuccature invisibili utilizzando idoneo stucco costituito da elastomeri fluorurati e polvere della stessa pietra utili anche a coprire micro lesioni o fori di trapani (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto all'articolo sul fissaggio e riadesione d'elementi sconnessi e distaccati).

**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.) presentano il vantaggio di

poliaddizionarsi senza produrre sottoprodotto 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), resistano 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; 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 a quanto detto all'articolo sul consolidamento mediante impregnazione.

#### CN ml. 6. Consolidamento in profondità 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 cocci pesto 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 coccio pesto 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 una parte di resina acrilica in emulsione acquosa in concentrazione variabile (comunque comprese 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 una 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 fuoriuscirà 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 (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 maggior 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 rileverarsi 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 riaderire le facce distaccate.

Anche l'iniezione di calci idrauliche naturali 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 subflorescenze quali thaumasite o ettringite.

*Specifiche sui materiali premiscelati:* nel caso in cui il progetto dovesse prevedere l'uso di malta premiscelata per iniezioni sarà opportuno che questa sia a base di calce naturale, priva di sali solubili, rafforzata con metacaolino purissimo ad alta reattività pozzolanica (od in alternativa con polvere di coccio pesto) e caricata con carbonato di calcio scelto e micronizzato, (o perlite superventilata se si ricerca una malta a basso peso specifico) a cui non andranno aggiunti additivi quali ritenitori d'acqua di origine naturale e superfluidificanti al fine di poter iniettare la miscela a bassa pressione. Nel caso d'iniezioni per riadesione di parti intonacate o per riempire sacche vuote potrà essere conveniente che la malta premiscelata presenti un basso peso specifico (variabile da 0,4 kg/dm<sup>3</sup> a 1,02 kg/dm<sup>3</sup>). Le caratteristiche medie di una malta per iniezione premiscelata dovranno essere: bleeding assente, fluidità iniziale e dopo 60 min. < 20 sec., granulometria aggregati 0-0,03 mm, inizio presa a +20°C 20-24 h, fine presa a +20°C 44-48 h, resistenza a compressione a 7 gg 20-30 N/mm<sup>2</sup>, a 28 gg 45-55 N/mm<sup>2</sup>, resistenza a flessione a 7 gg. 6-8 N/mm<sup>2</sup>, a 28 gg. 10-15 N/mm<sup>2</sup>, modulo elastico > 3000 N/mm<sup>2</sup>, temperatura massima durante l'indurimento < 30°C, ritiro 0,7-1,8m, ritenzione acqua > 80%, permeabilità al vapore 3-4 . Il prodotto dovrà essere miscelato con acqua potabile pulita (la quantità di acqua sarà variabile a seconda del prodotto scelto da un minimo di 5-5,5 l ad un massimo di 8,5-9 l per sacco da 10 kg); in ogni caso, sarà consigliabile, introdurre, inizialmente, nel miscelatore solo i 3/4 di acqua necessaria e di omogeneizzare a bassa velocità per qualche minuto, aggiungendo di seguito la restante acqua, mescolando ancora qualche minuto fino ad ottenere la consistenza voluta. 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.

CN ml. 7. Consolidamento lastre lapidee da rivestimento (messa in sicurezza)

CN ml. 7.1. Generalità

Prima di procedere ad un qualsiasi intervento di smontaggio e successivo consolidamento che potrebbe, se mal effettuato, andare a peggiorare la situazione (per maggiori dettagli sulla procedura di smontaggio si rimanda a quanto detto all'articolo specifico) sarà, sempre conveniente preventivare un'accurata campagna diagnostica preliminare piuttosto approfondita volta a conoscere in maniera completa il manufatto oggetto di intervento, i materiali che lo compongono, la loro consistenza fisicomaterica, le tecniche costruttive e di ancoraggio, le patologie in atto, le lesioni esistenti, le eventuali cause indirette di degrado, non sottovalutando mai la possibilità di consistenza di situazioni diversificate nell'ambito dello stesso apparecchio murario. Non di rado, la causa del dissesto del rivestimento lapideo potrà essere attribuita all'assenza di punti d'appoggio distribuiti a varie quote, i

quali permetterebbero di assorbire frazionatamente il peso delle lastre. Il paramento potrà, inoltre, essere ancorato alla muratura di supporto, attraverso un'imbottitura posteriore completa o parziale eseguita con colatura di malta di calce, in questo caso con il passare del tempo, a causa della perdita progressiva di adesività della malta alla struttura, le sollecitazioni delle lastre potrebbero diventare insostenibili.

In altri casi le strutture di sostegno utilizzate (per lo più zanche) potrebbero essere in ferro, materiale che con il passare del tempo potrebbe subire fenomeni di forte ossidazione e corrosione causando, sul rivestimento lapideo: l'ovvia perdita del sostegno (che non sarà più in grado di reggerlo), la generazione di sforzi di trazione, causati dal maggior peso specifico degli ossidi e idrati di ferro nonché sgradevoli colature di ruggine che andranno a deturpare il pannello lapideo. Allo stesso tempo, nel caso in cui il manufatto avesse già subito un'operazione di manutenzione, potrebbe verificarsi il fenomeno opposto ovvero la presenza di un numero elevato di tasselli potrebbe vincolare eccessivamente la struttura generando situazioni tensionali insopportabili (per questo risulterà opportuno procedere alla loro eliminazione, progettando un nuovo e più idoneo sistema di ancoraggio).

Raramente gli ancoraggi preesistenti si presenteranno efficienti e ben conservati, in tal caso potranno comunque essere integrati all'interno di un valido sistema di messa in sicurezza; se dovessero rilevarsi ancoraggi assolutamente inefficienti, ormai inutili, ma non dannosi poiché realizzati con materiali stabili e posizionati in modo da non disturbare la struttura, si potrà, dietro specifica indicazione di progetto, lasciarli in opera. Non di rado, si rileva la mancanza di efficienti sigillature tra i pannelli se non addirittura di adeguati giunti di dilatazione, in questo modo l'acqua piovana, non incontrando idonee barriere, riuscirà facilmente ad infiltrarsi velocizzando la corrosione delle zanche in ferro, erodendo la malta di allettamento ed innescando tutta una serie di patologie (creazione di muschi, cristallizzazione dei sali, cicli di gelo e disgelo ecc.) dannose al rivestimento. L'assenza dei giunti di dilatazione potrà costituire un punto critico della struttura, tanto da determinare pressioni insostenibili indotte dalle variazioni della temperatura.

## CN ml. 7.2. Messa in sicurezza

Previa esecuzione di tutte le procedure di smontaggio e di analisi preventive si potrà procedere con l'intervento; i materiali per risultare idonei dovranno possedere caratteristiche meccaniche, di resistenza fisico-chimica e di durabilità adeguate, mantenendo il più possibile nel tempo le prestazioni richieste; gli elementi metallici (zanche, perni, piastre ecc.) da utilizzare potranno essere:

- in rame o in ottone trafiletto: ottima resistenza alla corrosione ma scarsa resistenza meccanica da impiegare per pannelli di peso modesto;
- in acciaio a doppia zincatura a caldo: ottima resistenza meccanica e alla corrosione (acciaio ad alta resistenza);
- in acciaio inossidabile AISI serie 300: eccellenti prestazioni a livello di resistenza meccanica e con le migliori proprietà di inalterabilità.

La tipologia di zancatura potrà essere non portante o di ritegno (semplice fissaggio alla parete di supporto) o portante a sistema rigido (cioè quelle impiegate per rivestimenti con imbottitura posteriore di malta) e regolabile (sistemi più complessi di norma utilizzati su manufatti di pregio o per il ripristino d'ampie zone di rivestimento) secondo le disposizioni di progetto (in questo caso le zanche dovranno essere state calcolate come vere e proprie mensole di sostegno ai pannelli).

Nell'eseguire la suddetta procedura si dovranno tenere presenti le seguenti accortezze:

- l'esecuzione delle perforazioni sul supporto murario, al fine di alloggiare l'apparato di fissaggio (zanche, tasselli ecc.), dovrà essere eseguita, preferibilmente, con strumenti a sola rotazione, gli strumenti a roto-

percussione, potranno essere utilizzati, solo dietro specifica indicazione della D.L., su materiali particolarmente compatti come ad esempio elementi in c.a. o murature in laterizio pieno. La profondità della foratura, se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, dovrà essere maggiore dell'ancoraggio così da lasciare lo spazio ad eventuali polveri di trapanatura e, nel caso di utilizzo di tasselli, per la fuoriuscita della vite della punta del tassello. Nel caso di messa in opera di zanche, anche il diametro del foro sarà maggiore affinché la malta a ritiro compensato possa ben avvolgere l'ancoraggio metallico. L'eventuale perforazione delle lastre dovrà, invece, obbligatoriamente essere eseguita con strumenti a sola rotazione (ad es., carotatrici) così da evitare la possibilità che le sollecitazioni meccaniche, fornite da mezzi a roto-percussione, deteriorino ulteriormente il rivestimento (ad es., estendendo le situazioni di distacco o generando nuove lesioni);

- la sigillatura dell'apparato di fissaggio ad esclusione dell'utilizzo di tasselli meccanici o chimici, dovrà avvenire previa accurata pulitura della perforazione e abbondante bagnatura (solo in caso di uso di malta) mediante idonea malta di calce idraulica naturale NHL 5 caricata con inerti pozolanici o coccio pesto con l'eventuale aggiunta di idoneo additivo così da compensare il ritiro della malta, in alternativa e solo dietro specifica indicazione di progetto, si potrà utilizzare betoncino di resina epossidica bicomponente a consistenza colabile esente da solventi;
- ogni pannello lapideo se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, dovrà sostenersi da solo, dovrà essere appeso (sistemi portanti) e non appoggiato a quello sottostante che, a livelli inferiori, si potrebbe trovare nelle condizioni di essere gravato da un peso non prevedibile o sostenibile;
- il sistema di ancoraggio dovrà considerare adeguati coefficienti di sicurezza che dovranno, necessariamente, tener conto dell'effetto combinato di forze, quali ad esempio la depressione causata dal vento, l'eventuale attività sismica, le vibrazioni generate dal traffico di superficie o sotterraneo ecc.;
- il sistema di ancoraggio dovrà, inoltre, essere progettato in modo adeguato soddisfando esigenze, talvolta contrapposte:  
realizzare tasselli di dimensioni sufficientemente contenute applicando contemporaneamente alla struttura il minor numero possibile di vincoli. Il nuovo sistema non dovrà, infatti, ostacolare i movimenti naturali del rivestimento e dovrà essere dotato di opportune guarnizioni (che dovranno presentare caratteristiche d'indeformabilità ed elasticità protatte nel tempo ad es., in resine siliconiche) al fine di evitare una concentrazione eccessiva di tensioni;
- la chiusura dei fori e delle giunture dovrà essere eseguita adottando una stuccatura composta da materiali stabili (ad es., elastomeri fluorurati e polvere di pietra) tali da evitare cavillature e infiltrazioni (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto per le procedure riguardanti le stuccature superficiali); in alternativa, nel caso si ricorra a tasselli, si potranno mettere in opera idonei dischi lapidei di chiusura, costituiti da materiale lapideo dello stesso tipo del pannello e di dimensione adeguata a quella del foro, i suddetti dischi dovranno essere applicati mediante idonei collanti e successivamente sigillati con attente stuccature.

**Avvertenze:** sarà, in ogni caso, sempre consigliabile effettuare controlli sistematici in corso d'opera con l'eventuale ausilio di endoscopie, in quanto potrebbero passare inosservate particolari situazioni costruttive differenti da quelle rilevate nel corso della campagna di indagini preliminari.

CN ml. 7.2.1. Messa in sicurezza con sistemi di fissaggio portanti rigidi

I sistemi portanti rigidi più comunemente utilizzati sono:

- piattina metallica (dimensioni minime 6x40x250-300 mm) da inserire nelle scanalature (di dimensioni di circa 2-3 mm superiori a quella della piattina) eseguite nei bordi di due pannelli sovrapposti, munita di doppia zancatura (costituita da due

monconi di dimensioni minime 8x40x100 mm) annegate nella muratura d'ambito con malta di calce idraulica naturale NHL 5 a ritiro compensato. Le zanche di questo tipo si rileveranno particolarmente resistenti e quindi indicate per lastre di grande spessore (maggiore 3-4 cm);

piattina metallica (dimensioni minime 8x60x150-180 mm) sdoppiata, in ambedue le teste, in due lembi ripiegati in versi opposti: un'estremità si inserirà nelle scanalature (di dimensioni di circa 2-3 mm superiori a quella della piattina) eseguite nei bordi di due pannelli sovrapposti, l'altra estremità verrà inghisata nella muratura con malta di calce a ritiro compensato, questo sistema potrà essere utilizzato per lastre di spessore medio-grande (2-3 cm);

due piattine metalliche (dimensioni minime singola piattina 6x40x150 mm) accostate e ripiegate in versi opposti alle estremità in modo da trattenere separatamente, i bordi di due pannelli contigui, le zanche dovranno essere posizionate sui bordi orizzontali del pannello di spessore medio-grande;

sistema con tassello meccanico (ad espansione forzata o geometrica) o chimico (tasselli a calza, a rete, a bussola retinata o a fiala di vetro, in ragione del supporto murario, la fiala di vetro sarà da utilizzarsi solo in presenza di materiali compatti) da inserire in perfori eseguiti sul pannello mediante l'ausilio di strumenti a sola rotazione (ad es., carotatrici); i tasselli dovranno essere serrati seguendo i tempi ed il valore del carico previsto, così da evitare sia serraggi troppo elevati che potrebbero provocare fenomeni di snervamenti delle viti sia serraggi troppo lenti che non garantirebbero un'adeguata rigidezza all'ancoraggio. Questo sistema rigido sarà adatto per pannelli di spessore medio-grande. Il tassello meccanico ad espansione forzata o geometrica sarà inserito nel perforo (precedentemente ben pulito con scovolino) con un'adeguata, quanto debole, percussione dopo aver controllato l'assialità dell'elemento, si passerà all'operazione di serraggio mediante l'ausilio d'idonea chiave dinamometrica tarata al valore di carico prefissato dal progetto. L'ancoraggio con i tasselli ad espansione geometrica, al contrario di quello a percussione, provocherà meno tensioni nel materiale di supporto e, pertanto, consentirà l'applicazione con interasse e distanze dai bordi ridotti.

L'esecuzione del fissaggio del tassello chimico sarà leggermente differente: la procedura prevederà, previo inserimento del tassello a rete, a calza o di una bussola retinata (in ragione del tipo di materiale costituente il supporto) di dimensioni uguali a quelle del foro (precedentemente ben pulito sia con scovolino sia con soffietto) e lunghezza misurata a partire dal fondo cieco della perforazione, l'estruzione, mediante pompa manuale o pneumatica, della resina collante entro i fori precedentemente predisposti iniziando l'iniezione dal fondo sino al riempimento di circa 2/3 del volume della cavità.

Successivamente si inserirà manualmente, con movimento circolare, la barra metallica filettata, con  e lunghezza stabiliti dagli elaborati di progetto; al fine di favorire l'introduzione nella resina sarà vantaggioso tagliare la punta della barra a 45°. Dopo aver controllato la corretta assialità si procederà all'inserimento della rondella di guarnizione (in resina siliconica), alla rondella in metallo ed al dado, passato il tempo necessario affinché la resina indurisca (circa 60-90 minuti) si potrà procedere al serraggio del dado con l'ausilio di chiave dinamometrica tarata al valore di carico prefissato dal progetto.

## PR ml. Operazioni di protezione dei materiali lapidei

### PR ml. 1. 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 (se si tratterà di emulsioni ovverosia miscele di due liquidi rapporto volume/volume) o di concentrazione (se si tratterà di soluzioni cioè scioglimento di un solido in un liquido rapporto peso/volume) utilizzati, 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.

### PR ml. 2. 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 la formazione di sottoprodotto 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%; risultare atossici.

Sarà sempre opportuno, a trattamento avvenuto, provvedere ad un controllo (cadenzato nel tempo) mirato a controllare 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), dell'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 e dei composti a base di silicio la scelta sarà in ragione alle problematiche riscontrate.

#### Composti organici

Elastomeri fluororati: protettivi idro e oleorepellenti con caratteristiche di aggreganti superficiali (adatti anche per il consolidamento corticale). Il prodotto manterrà costanti nel tempo le sue caratteristiche chimico-fisiche: ottime doti di stabilità, reversibilità e permeabilità al vapore d'acqua, generalmente verranno discolti 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) e potranno essere applicati a pennello o a spray in quantità variabile a seconda del tipo di materiale da trattare e della sua porosità. Il loro impiego dovrà essere attentamente valutato quando in presenza di manufatti fortemente degradati si richiederanno particolari prestazioni ai prodotti protettivi.

#### Composti a base di silicio

Silani (alchil-alcossi-silani monomeri): 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, risulteranno perciò convenienti su oggetti in cotto, materiali lapidei, tufo, intonaci in malta bastarda 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) potrà distaccare gran parte del prodotto applicato, con il conseguente onere, necessario, di maggior quantità di prodotto per avere gli effetti richiesti; inoltre, presentano l'inconveniente di generare un effetto perlante.

Sillossani (Alchilsilossani oligomeri): polimeri reattivi a basso peso molecolare, costituiti da quattro atomi di monomeri silanico condensati; buono 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 elevata diffusività; offriranno, inoltre, sufficienti garanzie contro l'aggressione delle soluzioni alcaline, presentando alta resistenza a temperature elevate e ai raggi ultravioletti. Potranno essere utilizzati sia in forma pura (in questo caso sarà consigliabile l'uso di monomeri piuttosto che quello di oligomeri o polimeri) sia in soluzione di solvente (generalmente con contenuto attivo del 5-10% in peso). 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 inibirla;

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.

#### DM am. Operazioni di Deumidificazione di apparecchi murari

##### DM am. 1. 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.

##### DM am. 2. 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 potrà 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 implicheranno 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 interrate. 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 in genere, scavi di sbancamento, scavi in trincea ecc.).

##### DM am. 2.1. Drenaggi, pozzi assorbenti

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 offre assolute garanzie di sicurezza. Successivamente, previa accurata ripulitura della parete controterra (con tecnica indicata da disposizioni di progetto, ad es. acqua deionizzata ed energica 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 cocci pesto (per es. una parte di calce, 2 parti di sabbia fine, 1 di cocci pesto). 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 cocci pesto 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 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>, 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, la funzione di agevolare la circolazione dell'aria e 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 ovverosia, 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, schegioni (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 ai 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, od in zona idonea al non ritorno dell'acqua reflua dal drenaggio. Il materiale di riempimento sopra il primo strato di ciottoli e schegioni 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 granolumetria 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 due metri dalla stessa per evitarne il possibile scalzamento.

#### DM am. 2.1.1. 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.

#### DM am. 2.2. 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.

Previe 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

contoparete 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 cocci pesto, 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 vespaie aerate 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; la possibilità di effettuare aperture di finestre a bocca di lupo migliorando, così, le condizioni di aerazione e, quindi, di abitabilità; inoltre, il vuoto crea un barriera alle vibrazioni meccaniche provenienti dalle strade e dai terreni limitrofi.

## PROCEDURE DI CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE

### SC Operazioni di Scavi e Rinterri

#### SC 1. Generalità

I riferimenti normativi applicabili a questa specifica categoria di lavori sono DPR n. 547/55 e DPR n. 164/56. Gli scavi ingeneri, per qualsiasi lavoro, a mano o con mezzi meccanici, dovranno essere eseguiti secondo i disegni di progetto e la relazione geologica e/o geotecnica di cui al DM 11 marzo 1988 (riguardante le norme tecniche sui terreni ed i criteri di esecuzione delle opere di sostegno e di fondazione) e la relativa CMLPP 24 settembre 1988, n. 30483 nonché secondo le particolari prescrizioni che saranno date all'atto esecutivo dalla D.L.

Nell'esecuzione degli scavi in genere, si dovrà provvedere in modo da impedire scoscenimenti, franamenti e ribaltamento di mezzi; per far ciò si renderà necessario provvedere a delimitare mediante barriere fisse e segnalazioni la zona oggetto di intervento, così da vietare il traffico veicolare sui bordi dello scavo che potrebbe far scaturire possibili franamenti delle pareti.

L'utilizzo del nastro segnaletico (giallo-nero o bianco-rosso) dovrà avere esclusivamente funzione di delimitazione e non di protezione. Al fine di evitare cadute di personale all'interno dell'area di scavo sarà, inoltre, necessario mettere in opera dei robusti parapetti (altezza minima 100 cm munito di tavola fermapiède minima di 20 cm luce tra tavola superiore e fermapiède massimo 60 cm; nel caso in cui il parapetto sia ad una distanza di almeno 70-80 cm dal bordo dello scavo, la tavolafermapiede potrà essere omessa)

disposti lungo i bordi della stessa: negli scavi di sbancamento sarà necessario, quando questodovesse superare i 200 cm mentre, nelle trincee, sarà appropriato predisporre la protezione appena lo scavo supererà i 50 cmdi profondità.

Le materie provenienti dagli scavi, ove non siano utilizzabili o non ritenute adatte (a giudizio insindacabile della D.L.) ad altroimpiego nei lavori, dovranno essere trasportate fuori dalla sede del cantiere alle pubbliche discariche, o su altre aree altrettantoidonee e disponibili. Qualora le materie provenienti dagli scavi debbano essere successivamente utilizzate, esse dovrannoessere depositate in area idonea (previo assenso della D.L.) per essere, in seguito riutilizzate a tempo opportuno. In ogni caso lematerie depositate non dovranno costituire un danno ai lavori, alle proprietà pubbliche o private ed al libero deflusso delleacque che scorrono in superficie. Sarà, oltremodo, vietato costituire depositi di materiali nelle vicinanze dei cigli degli scavi; qualora tali depositi siano necessari, per le particolari condizioni di lavoro sarà obbligatorio provvedere alle necessariepuntellature che dovranno presentare un sovralzo minimo oltre la quota del terreno paria a 30 cm.

## SC 2. Scavi di splateamento e sbancamento

Per scavi a sezione aperta o sbancamento andanti s'intenderanno quelli necessari per lo spianamento o sistemazione del terreno su cui dovranno sorgere i manufatti, per tagli di terrapieni, per la formazione di cortili, giardini, scantinati, piani di appoggio per platee di fondazione, vespai, rampe incassate o trincee stradali ecc. e, più in generale, quelli eseguiti a sezione aperta su vasta superficie ove si renderà possibile l'allontanamento delle materie di scavo evitandone il sollevamento, sia pure con la formazione di rampe provvisorie.

Questa categoria di scavi andrà eseguita con gli strumenti e le cautele atte ad evitare l'insorgenza di danni nelle strutture murarie adiacenti.

In questa categoria di scavi, se eseguiti senza l'impiego di escavatori meccanici, le pareti delle fronti di attacco dovranno avere un'inclinazione ed un tracciato tali, in relazione alla natura del terreno, (si veda tabella in calce all'articolo) da contrastare possibili franamenti. Allorché la parete del fronte d'attacco dovesse superare i 150 cm di altezza sarà interdetto lo scavo manuale per scalzamento alla base al fine di evitare il possibile crollo della parete. Nel caso in cui non sia possibile intervenire con mezzi meccanici si adotterà la procedura di scavo con il sistema a gradoni. In ogni caso i lavoratori dovranno essere debitamente distanziati tra loro, sia in senso orizzontale, sia verticale, così da non potersi ferire con l'attrezzatura utilizzata e con il materiale di scavo.

Nel caso d'utilizzo di mezzi meccanici dovrà essere interdetta la presenza del personale nella zona interessata dal raggio d'azione, nonché sul ciglio ed alla base della parete d'attacco, in quanto aree a rischio di frane.

I profili delle pareti di scavo andranno debitamente controllati al fine di rimuovere gli eventuali massi affioranti ed i blocchi di terreno instabili eliminando, in questo modo, possibile rischio di caduta di materiale dall'alto.

### DENOMINAZIONE

#### TERRE ANGOLO LIMITE DI STABILITÀ

#### ASCIUTTO UMIDO BAGNATO

Rocce dure 80÷85° 80÷85° 80÷85°

Rocce tenere o fessurate, tufo 50÷55° 45÷50° 40÷45°

Pietrame 45÷50° 40÷45° 35÷40°

Ghiaia 35÷45° 30÷40° 25÷35°

Sabbia grossa (non argillosa) 30÷35° 30÷35° 25÷30°

Sabbia fine (non argillosa) 25÷30° 30÷40° 20÷30°

Sabbia fine (argillosa) 30÷40° 30÷40° 10÷25°

Terra vegetale 35÷45° 30÷40° 20÷30°  
Argilla, marne (terra argillosa) 40÷50° 30÷40° 10÷30°  
Terre forti 45÷55° 35÷45° 25÷35°

### SC 3. Scavi di fondazione a sezione obbligata

Per scavi di fondazione, in generale, s'intendono quelli incassati ed a sezione ristretta necessari per dar luogo ai muri o pilastri di fondazione propriamente detti; in ogni caso saranno considerati come scavi di fondazione anche quelli per dar luogo alle fogne, condutture, fossi e cunette.

Qualunque sia la natura e la qualità del terreno, gli scavi per la fondazione dovranno essere spinti fino alla profondità ordinata dalla D.L. all'atto della loro esecuzione. Le profondità, che si troveranno indicate negli elaborati di progetto saranno, pertanto, di semplice stima preliminare e potranno essere liberamente variate nella misura che la D.L. reputerà più conveniente.

I piani di fondazione dovranno, generalmente, essere perfettamente orizzontali ma per quelle opere che cadranno sopra falde inclinate potranno, a richiesta della D.L., essere disposti a gradoni ed anche con determinate contropendenze. Nel caso, non così infrequente, che non sia possibile applicare la giusta inclinazione delle pareti in rapporto alla consistenza del terreno (si veda tabella all'articolo precedente), si dovrà ricorrere tempestivamente all'armatura di sostegno delle pareti o, preventivamente, al consolidamento del terreno (ad es., congelamento del medesimo, tecnica del *jet-grouting* ecc.), in modo da assicurare adeguatamente contro ogni pericolo gli operai ed impedire ogni smottamento di materia durante l'esecuzione, tanto degli scavi che delle murature. Affinché le armature corrispondano per robustezza alle effettive necessità sarà consigliabile predeterminare la spinta del terreno, tenendo conto delle eventuali ulteriori sollecitazioni dovute, sia al traffico veicolare, sia alla vicinanza di carichi di vario genere (gru, manufatti di vario genere ecc.), nonché delle eventuali infiltrazioni d'acqua (piogge, fiumi ecc.). Nel mettere in opera le armature provvisionali sarà opportuno tenere in considerazione che la massima pressione d'una parete di scavo, si trasmetterà sulla sbatacchiatura soprattutto nella zona mediana, dove questa dovrà, necessariamente, essere più robusta; inoltre, affinché sia efficace, le tavole andranno forzate contro il terreno avendo ben cura di riempire i vuoti.

Nel caso specifico di scavi di trincee (scavi a sezione obbligata e ristretta) nelle vicinanze di manufatti esistenti (ad es., per opere di drenaggio perimetrali) in prossimità di terreni precedentemente scavati e, pertanto, meno compatti od, infine, in presenza di vibrazioni causate dal traffico di autoveicoli, ovverosia in tutti quei casi dove la consistenza del terreno non fornirà sufficiente garanzia di stabilità e compattezza, anche in funzione alla pendenza delle pareti, sarà sempre obbligatorio (a partire da 150 cm di profondità o 120 cm nel caso il lavoratore dovesse operare in posizione chinata) predisporre, man mano che procederà lo scavo, adeguate opere di sbatacchiamento, così da eludere rischi di franamento e pericoli di seppellimento degli addetti alla procedura. Al fine di consentire un lavoro agevole e sicuro lo scavo di trincea dovrà avere un larghezza minima in ragione alla profondità; orientativamente si potranno seguire, se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto, i seguenti rapporti profondità-larghezza minima.

#### PROFONDITÀ LARGHEZZA MINIMA NETTA

Fino a 150 cm 65 cm

Fino a 200 cm 75 cm

Fino a 300 cm 80 cm

Fino a 400 cm 90 cm

Oltre i 400 cm 100 cm

Per scavi eseguiti sotto il livello di falda si dovrà provvedere all'estrazione della stessa; per scavi eseguiti a profondità superiori ai 20 cm dal livello superiore e costante dell'acqua e qualora non fosse possibile creare dei canali di deflusso, saranno considerati scavi subacquei e valutati come tali.

Compiuta la muratura di fondazione, lo scavo dovrà essere diligentemente riempito e costipato, (fermo restando l'autorizzazione della D.L.) con le stesse materie scavate, sino al piano del terreno naturale primitivo (per maggiori specifiche si rimanda all'articolo riguardante i rinterri).

#### SC 4. Scavi di accertamento e ricognizione

Tali operazioni si realizzeranno solo ed esclusivamente dietro esplicita richiesta e sorveglianza della D.L., seguendo le indicazioni e le modalità esecutive da essa espresse e/o dal personale tecnico incaricato. I detriti, i terreni vegetali di recente accumulo verranno sempre rimossi a mano con la massima attenzione previa esecuzione di modesti sondaggi al fine di determinare la quota dei piani originali sottostanti (e delle loro eventuali pavimentazioni) in modo da evitare danni e rotture ai materiali che li compongono. Se non diversamente specificato dalla D.L. le rimozioni dei materiali saranno eseguite a mano, senza l'ausilio di mezzi meccanici. In ogni caso l'uso di mezzi meccanici sarà subordinato alla presenza di eventuali reperti *in situ* e, quindi, all'indagine preventiva. Qualora le materie provenienti dagli scavi dovessero essere utilizzate in tempi differenti (ad es. per riempimenti) saranno depositate nell'ambito del cantiere, in luogo che non provochi intralcio o danni.

#### SC 5. Armature degli scavi

Le tipologie di armature saranno scelte in funzione alla consistenza del terreno, alla profondità da raggiungere, ai carichi gravanti ed alla metodologia di scavo. In ogni caso tutti gli elementi che comporranno il presidio (tavole, traversi, puntelli ecc.) dovranno essere di materiale robusto opportunamente dimensionato e selezionato, inoltre l'armatura dovrà sporgere dai bordi dello scavo per almeno 30 cm. Nel caso di scavi di trincee eseguiti a mano si potranno distinguere quattro sistemi:

1. con tavole verticali;
2. con tavole orizzontali;
3. con marciavanti;
4. con pannelli prefabbricati.

L'armatura con tavole lignee (spessore minimo 30-40 mm) o metalliche poste verticalmente sarà, di norma, limitata a scavi di profondità pari alla lunghezza delle tavole (generalmente non superiore ai 4 m); le tavole saranno forzate contro le pareti con l'ausilio di puntelli d'acciaio regolabili o fissi (luce massima tra puntello e piano di fondazione 100 cm) e si dovrà avere cura di colmare i vuoti tra la sbatacchiatura e la parte di cavo con idoneo materiale.

L'utilizzo di armatura con tavole orizzontali sarà possibile in presenza di terreni che garantiranno una buona consistenza in modo da poter eseguire la procedura di scavo per cantieri di circa 60-80 cm di profondità. Quella a marciavanti sarà resa possibile per terreni poco consistenti o spingenti od in caso di scavi profondi; i "marciavanti" dovranno essere tavole di notevole spessore con estremità appuntita od altrimenti dotata di punta ferrata; in caso di terreno completamente sciolto sarà consigliabile armare anche il fronte di scavo, così da eludere rifluimenti di materiale.

In alternativa a questi sistemi si potranno utilizzare idonei pannelli prefabbricati o, altrimenti, casseri metallici prefabbricati regolabili per mezzo di pistoni idraulici o ad aria compressa. Entrambi questi sistemi, verranno calati all'interno dello scavo attraverso un

apparecchio di sollevamento. Per scavi d'elevate profondità le armature saranno predisposte per essere montate sovrapposte.

Quale che sia il sistema messo in opera l'armatura dovrà, obbligatoriamente, essere rimossa progressivamente e per modeste altezze in funzione all'avanzare delle opere definitive.

## SC 6. Rilevati e rinterri

Per la formazione dei rilevati e per qualunque opera di rinterro, ovvero per riempire i vuoti tra le pareti delle concavità e le murature, o da addossare alle murature e fino alle quote prescritte dalla D.L., saranno impiegate, in generale e, salvo quanto segue, fino al loro totale esaurimento, tutte le materie provenienti dagli scavi di qualsiasi genere eseguiti sul lavoro, in quanto disponibili ed adatte, a giudizio della D. L., per la formazione dei rilevati. Quando verranno a mancare in tutto o in parte i materiali sopra descritti, si dovrà provvedere a prelevarli ovunque si crederà opportuno, purché siano riconosciuti idonei da controlli eseguiti dalla D.L.

Per rilevati e rinterri da addossarsi alle murature, si dovranno sempre impiegare materie sciolte, o ghiaiose vagliate con setacci medio-piccoli (prive di residui vegetali e sostanze organiche); resterà vietato in modo assoluto l'impiego di materie argillose e, in generale, di tutte quelle che con l'assorbimento d'acqua si rammolliranno o si gonfieranno generando spinte. I materiali (nello spessore di circa 30 cm) dovranno presentare, a compattazione avvenuta, una densità pari al 90% della densità massima di compattazione individuata dalle prove eseguite in laboratorio. Nella formazione di suddetti riempimenti dovrà essere usata ogni attenzione affinché la loro esecuzione proceda per strati orizzontali d'uguale altezza, disponendo contemporaneamente le materie ben sminuzzate con la maggior regolarità e precauzione, in modo da caricare uniformemente le murature su tutti i lati e da evitare le sfiancature che potrebbero derivare da un carico male distribuito. Ogni strato dovrà essere messo in opera solo dopo l'approvazione dello stato di compattazione dello strato precedente; lo spessore di ogni singolo strato dovrà essere stabilito in base a precise indicazioni progettuali o fornite dalla D.L. (in ogni caso non superiore ai 30 cm).

Nel caso di compattazioni eseguite su aree o porzioni di terreno confinanti con murature, apparecchi murari o manufatti in genere, si dovranno utilizzare, entro una distanza pari a 2 m da questi elementi, idonee piastre vibranti o rulli azionati a mano (in questo caso si dovrà prevedere una sovrapposizione delle fasce di compattazione di almeno il 10% della larghezza del rullo stesso al fine di garantire una perfetta uniformità) con le accortezze necessarie a non degradare i manufatti già in opera. Si potrà, dietro richiesta specifica della D.L., mescolare al materiale da compattare del cemento (in ragione di 25-50 kg per m<sup>3</sup> di materiale) al fine di ottenere degli adeguati livelli di stabilizzazione delle aree a ridosso dei manufatti.

Le materie trasportate in rilevato o rinterro con vagoni, automezzi o carretti non potranno essere scaricate direttamente contro le murature, ma dovranno depositarsi in vicinanza del manufatto (in area idonea prescelta dalla D.L.) per essere riprese, poi, e trasportate con carriole, barelle od altro mezzo, purché a mano, al momento della formazione dei suddetti rinterri. Sarà, inoltre, vietato addossare terrapieni a murature di fresca costruzione.

I rilevati si dovranno presentare, obbligatoriamente, con scarpate regolari e spianate, con i cigli bene allineati e profilati. La superficie del terreno sulla quale dovranno elevarsi i terrapieni dovrà essere preventivamente scorticata (ovverosia taglio d'eventuali piante, estirpazione delle radici, degli arbusti e completa asportazione del terreno vegetale circostante), ove occorra e, se inclinata, dovrà essere tagliata a gradoni con leggera pendenza verso monte.

## CN fo. Operazioni di Consolidamento fondazioni

### CN fo. 1. Generalità

Preventivamente a qualsiasi intervento riguardante operazioni di tipo statico e strutturale, sarà necessario verificare la consistenza delle strutture di fondazione e la natura del terreno; a tale scopo si dovranno effettuare saggi verticali in aderenza alle murature perimetrali che, se non diversamente indicato dalla D.L., dovranno avere dimensioni tali da permettere lo scavo a mano e un'agevole estrazione del materiale di risulta (almeno 100-150 cm). Le opere di scavo dovranno essere correlate da idonee opere provvisionali relazionate alla natura e composizione del terreno e alla profondità raggiunta.

Nel caso in cui l'analisi denunci strutture non più efficienti, sotto specifiche indicazioni della D.L., dovrà essere operato il preconsolidamento delle stesse (iniezione di cemento o parziali ricostruzioni della tessitura muraria e di fondazione).

A scavo ultimato sarà possibile operare un'analisi puntuale sulle strutture (stato conservativo, tecnica di messa in opera ecc.);

tale analisi potrà essere correlata, se necessario, da indagini geotecniche e geofisiche grazie alle quali si potranno ricavare informazioni utili riguardanti sia la natura del terreno sia l'eventuale presenza di, sottomurazioni, platee ecc. La profondità di indagine sarà in funzione del carico e della larghezza delle fondazioni in modo da poter verificare se la natura del cedimento sia da imputare alla resistenza a compressione dello strato superficiale, alla consistenza degli strati sottostanti, alla subsidenza del terreno, alla presenza di falde freatiche o ad altre cause ancora. I saggi e le eventuali indagini geognostiche dovranno essere condotte nei modi stabiliti dal CM del 6 novembre 1967, n. 3797 (istruzione per il progetto, esecuzione e collaudo delle fondazioni), dal DM 21 gennaio 1981 e dalla successiva CM 3 giugno 1981, n. 21597 e con le modalità contenute nelle "Raccomandazioni sulla programmazione e l'esecuzione delle indagini geotecniche" redatte dall'Associazione Geotecnica Italiana (A.G.I. 1977).

### CN fo. 3. Consolidamento di fondazioni con pali

L'intervento sarà conforme al punto 10, dell'Allegato 3 della CMLLPP 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG. riguardante le norme tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Nel caso in cui il terreno sottostante le fondazioni non sarà più in grado di contrastare la spinta del manufatto architettonico si potrà ricorrere ad un consolidamento attraverso sottofondazioni su pali; di conseguenza, si renderà, vincolante decentrare il carico della costruzione su strati di terreno più resistenti e profondi. Se non diversamente specificato negli elaborati di progetto sarà vietato l'uso di pali battuti così da evitare vibrazioni che potrebbero risultare dannose per le sovrastanti strutture dissestate, si potrà utilizzare in alternativa micropali trivellati costruiti in opera con o senza tubo-forma.

Prima di effettuare la messa in opera dei pali sarà obbligatoria la preventiva esecuzione di campionature pre-intervento (prove di carico) eseguite sotto il controllo della D.L.; le prove saranno utili al fine di studiare il comportamento dell'intero sistema di fondazione in base alle caratteristiche dei terreni ed alle condizioni generali di progetto.

La disposizione più corrente per il consolidamento sarà quella di disporre due file di pali inclinati, disposti alternati rispetto alla sezione del muro in pianta, partendo dal piano stradale o di campagna o, in alternativa dal piano più basso dell'edificio (ad es.

cantine). In ragione dei carichi da sostenere e della qualità del terreno attraversato si potrà ricorrere a più file di pali anche con diverse inclinazioni, comunque simmetriche rispetto alle facce del muro se le forze da sostenere saranno verticali.

**Specifiche:** salvo diverse prescrizioni di progetto, la prova di carico potrà essere eseguita, inserendo un martinetto (equipaggiato di manometro tarato e di estensimetro) tra la fondazione e la testa del palo annegata in un blocco di calcestruzzo. Il carico verrà

trasmesso sulla testa del palo con incrementi successivi non superiori a 5 t ciascuno sospendendolo di volta in volta così da permettere distinte letture negli strumenti.

### CN fo. 3.1. Sotfondazione con micropali

La procedura utilizzerà pali di sezione ridotta, con un  $\square$  variabile da 60 a 300 mm, realizzati attraverso la foratura della fondazione esistente (mediante sonda a rotazione munita di corona diamantata) fino al terreno sottostante e proseguendo in profondità fino a raggiungere strati che presentino una sufficiente resistenza. Le trivelle utilizzate permetteranno di perforare, secondo le prescrizioni di progetto, sia in direzione verticale sia inclinata (angolo variabile da 5° a 30°). L'uso di questa tecnica altererà minimamente la compattezza delle murature interessate e ridurrà al minimo il disturbo nei terreni attraversati, costituendo con essi un unico complesso resistente a sollecitazioni di sforzo normale di compressione, di trazione e di sforzo tagliente. In questo modo si andrà a costituire quella che verrà chiamata "terra armata" e questo, grazie alla opportunità di orientare in diverse direzioni i microplai, portando così a far collaborare una più ampia porzione di terreno profondo.

Il conglomerato cementizio impiegato dovrà essere del tipo prescritto negli elaborati di progetto e dovrà risultare esente da porosità od altri difetti; il cemento utilizzato, se non diversamente specificato, sarà del tipo pozzolanico o d'altoforno. In nessun caso dovrà essere consentito di porre in opera il conglomerato cementizio precipitandolo nel cavo direttamente dalla bocca del foro; inoltre si dovranno predisporre impianti ed attrezzature per la confezione, il trasporto e la posa in opera del conglomerato cementizio di potenzialità tale da consentire il completamento delle operazioni di getto di ogni palo, qualunque sia il diametro e la lunghezza senza interruzioni. Durante il getto dovrà essere tassativamente evitata l'introduzione di acqua all'interno del tubo, e si farà attenzione che il conglomerato cementizio non venga trascinato durante l'eventuale estrazione del tubo-forma.

L'introduzione del conglomerato nel foro dovrà avvenire in modo tale da ottenere un getto omogeneo e compatto, senza discontinuità o segregazione. Il costipamento del getto dovrà essere effettuato con i procedimenti specifici per il tipo di palo adottato, procedimenti che, comunque, dovranno essere preventivamente concordati con la D.L. Nel caso di impiego del tubo di rivestimento provvisorio, l'estrazione dello stesso dovrà essere effettuata gradualmente, seguendo man mano l'immissione ed il costipamento del conglomerato cementizio ed adottando, comunque, tutti gli accorgimenti necessari per evitare che si creino distacchi, discontinuità od inclusioni di materiali estranei al corpo del palo.

Lo spostamento planimetrico della posizione teorica dei pali non dovrà superare 5 cm e l'inclinazione, rispetto all'asse teorico, non dovrà superare il 2%; per valori di scostamento superiori ai suddetti, la D.L. deciderà se scartare i pali che dovranno eventualmente essere rimossi e sostituiti; inoltre a giudizio della D.L., i pali che ad un controllo, anche con trivellazione in asse, risultassero comunque difettosi, dovranno essere rifatti.

#### CN fo. 3.1.1. Pali tipo radice

Le perforazioni, saranno eseguite con l'ausilio di idonei sistemi ed attrezzature a rotazione preventivamente approvati da parte della D.L. (comunque di dimensioni contenute) e rapportate al tipo di terreno, utilizzando una colonna di tubi in metallo, (fino al raggiungimento della quota prevista dagli elaborati di progetto) percorsa da una corrente fluida (in genere fango di betonite rapporto betonite-acqua 0,05-0,08) al fine di consentire la risalita dei detriti nell'intercapedine tra tubi e terreno. Al termine della perforazione il foro dovrà essere interamente rivestito e pieno del fluido usato.

Il foro dovrà essere armato, seguendo le disposizioni di progetto, con un solo tondino di acciaio ad aderenza migliorata Fe B 44 K di grosso diametro (ad es. 20-26 mm) se il palo avrà un diametro massimo pari a 80 mm ovvero, dove necessiterà una maggior portanza e per pali di diametro maggiore (fino ad un massimo di 250 mm) con una gabbia costituita da barre verticali di acciaio ad aderenza migliorata Fe B 44 K unite da una staffa a spirale (ad es., 4 16-18 mm con staffa 8-10 mm). Le armature metalliche dovranno essere assemblate fuori opera e calate nel foro prima dell'inizio del getto del conglomerato cementizio; nel caso in cui il palo sia armato per tutta la lunghezza, esse dovranno essere mantenute in posto nel foro, sospendendole dall'alto e non appoggiandole sul fondo. Le armature dovranno essere provviste di opportuni dispositivi distanziatori e centratori atti a garantire un'adeguata copertura di conglomerato cementizio sui ferri che sarà di circa 2-4 cm. Le eventuali gabbie d'armatura dovranno essere verificate, prima della posa in opera, dalla D.L. La profondità massima raggiunta da ogni palo sarà verificata prima del getto dalla D.L. e riportata su apposito registro giornaliero.

Congiuntamente all'armatura, andrà introdotto un secondo tubo attraverso il quale avverrà il pompaggio dal basso (ad una pressione superiore a quella litostatica esistente alla quota di intervento ed impiegando una quantità di miscela pari a fino a 5-6 volte il volume del foro del micropalo), della malta cementizia ritenuta più idonea dalla D.L. (in genere microconglomerato dosato a 500-600 kg/m<sup>3</sup>, con un rapporto acqua-cemento < di 0,5 ed una resistenza di 35 N/mm<sup>2</sup>, gli inerti saranno costituiti da sabbie fine e lavate) che, risalendo estrometterà il fluido di perforazione avente un peso specifico minore del cl. Una volta che la malta sarà arrivata in superficie si rimuoverà il "controtubo" e si procederà all'estrazione graduale del rivestimento applicandovi in testa una pressione d'aria (generalmente < a 5-6 atm) che provocherà modeste espansioni del getto e che penetrerà nei terreni circostanti in corrispondenza degli strati più soffici. La procedura sarà, di tanto in tanto interrotta al fine di permettere lo svitamento della sezione di tubo estratto e per ripristinare il livello di malta entro il tubo ancora in opera.

#### CN fo. 3.1.2. Pali tipo Tubfix

Previa esecuzione di perforazione con sistema scelto dalla D.L. s'introdurrà l'armatura tubolare (costituita da profilati in acciaio Fe 510 filettati con manicotto e, provvisti di valvole di iniezione) che costituirà all'unisono sia il mezzo d'opera per l'esecuzione di una iniezione a pressione ripetuta e controllata sia il principale elemento resistente nella sezione del micropalo. Il tubo di acciaio nervato sarà dotato di valvole di non ritorno, distribuite ogni 50 cm circa lungo il tratto che si vorrà connettere al terreno, generalmente il tratto con le valvole occuperà la parte inferiore del palo.

L'iniezione della malta cementizia avverrà grazie ad un secondo tubo introdotto nel tubo d'armatura e munito all'estremità di un doppio otturatore. Si procederà al riempimento (a pressione atmosferica) dello spazio anulare tra l'armatura ed il terreno utilizzando la valvola più bassa, a presa avvenuta si dovrà ripetere l'operazione valvola per valvola, immettendo quantità controllate di malta che andranno a costituire ripetute sbulbature lungo il fusto del palo. In questo modo si riuscirà ad ottenere coazioni di 1-2 N/mm<sup>2</sup> crescenti con la profondità e volumi di sbulbature tali da conferire al micropalo un diametro utile di 30-80 cm.

#### CN am. Operazioni di Consolidamento apparecchi murari CN am. 1. 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 con il 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 sarà in progressione accelerata, ritardata o uniforme, oppure se sarà in fase di fermo in una nuova condizione di equilibrio. Nel caso d'avanzamento accelerato del dissesto si potrà rilevare 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, o quantomeno il più compatibile possibile, con quelle dei materiali in opera.

I lavori di consolidamento delle murature dovranno essere condotti, ove applicabili, nei modi stabiliti dal DM 2 luglio 1981, n.198, dalle successive CM 10 luglio 1981, n. 21745 e 19 luglio 1981, n. 27690, DM 27 luglio 1985, DM 20 novembre 1987, CMLLPP 4 gennaio 1989 n. 30787, DM 16 gennaio 1996, CMLLPP 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG.

CN am. 2. Ricucitura delle murature mediante sostituzione parziale del materiale (scuci e cuci).

L'operazione di scuci e cuci 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 sarà 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 cuci si dovrà realizzare un rilevo 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 presenti 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 quella vecchia che la sovrasta, 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-Z5) con inerte costituito da sabbia silicea, cocci pesto 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 cuci potrà essere denunciato così da tutelare la stratigrafia stessa dell'edificio, realizzando la nuova porzione di muratura in leggero sottosquadro o soprasquadro, tenendo presente però che la non complanarietà delle due superfici, costituirà una zona facile da degradarsi.

*Specifiche:* la tecnica dello scuci e cuci 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.

#### CN am. 3. 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 all'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 conserverà 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 boiacca 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 utilizzati), le modalità ed i tempi di applicazione.

#### CN am. 3.1. Consolidamento mediante iniezioni non armate

L'intervento (conforme al punto 3, lettera a), dell'Allegato 3 della CMLLPP 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG. riguardante le norme tecniche per le costruzioni in zona sismica) 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 presenta 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, ovverosia dovrà presentare una struttura con una appropriata continuità tra i vuoti e, allo stesso tempo, la boiacca legante dovrà essere pensata in modo da assicurare un'idonea penetrabilità ossia una fluidità atta a rispettare i tempi di esecuzione richiesti. La procedura operativa consterà 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).

##### Esecuzione dei fori

Esecuzione di perforazioni seguendo 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 m<sup>2</sup>); detti fori, di diametro opportuno (mediamente sarà sufficiente un 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 alla consistenza del muro, mentre 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 □ 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 fuoruscite di colature queste dovranno essere celermemente 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 cm 70 sarà necessario operare su entrambe le facce, nel caso in cui lo spessore risulterà ancora maggiore, o ci si troverà 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 ¾ 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 gradi 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 boiacca 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 rinzaffo, stilatura dei giunti e sigillatura delle lesioni.

#### Iniezione della boiacca 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 boiacca 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 m<sup>3</sup>.

Previa verifica della consistenza materica della muratura oggetto di intervento, si inietterà la miscela all'interno degli ugelli e boccagli precedentemente posizionati, la pressione sarà mantenuta costante fino a quando la boiacca 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 boiacca per gravità; nel caso in cui la muratura risulti in uno stato avanzato di degrado tale da non poter sopportare sovrappressioni o perforazioni si potrà far penetrare la miscela dall'alto

attraverso appositi boccagli ad imbuto localizzati in lesioni o lacune (eventualmente "aiutare" asportando materiale deteriorato). Questa tecnica non permetterà la chiusura di tutti i vuoti ma solo delle lacune maggiori.

Ad indurimento della miscela (circa 2-3 giorni), i boccagli potranno essere rimossi ed i fori sigillati con malta appropriata (si rimanda a quanto detto agli articoli riguardanti le stuccature).

**Specifiche sulle miscele:** la boiacca 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 85% dei granuli di dimensione  $< 25$  , calore d'idratazione unitario  $<$  di 135KJ/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 rapporti legante-acqua superiore ad 1, al fine di evitare eventuali fenomeni di segregazione sarà consigliabile aggiungere alla boiacca 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 igronettrico (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 boiacca a basso peso specifico) od ancora, metacaolino ad alta reattività pozzolanica (o polvere di coccio pesto vagliata e lavata) per migliorare le proprietà idrauliche della boiacca (nel caso di utilizzo di grassello di calce o calce idrata, la carica con caolino, coccio pesto 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 boiacca, sia se verrà preparata in cantiere, sia se si utilizzerà 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  $<$  di 30 secondi),  assenza di segregazione e di acqua essudata (*blending*); la separazione dell'acqua dalla boiacca 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  $< +30^{\circ}\text{C}$ ,
- dilatazione termica compatibile con quella della muratura originale,
- resistenza caratteristica a rottura per compressione  $> 12 \text{ N/mm}^2$  dopo 28 giorni,
- peso specifico modesto  $< 1,8 \text{ kg/l}$ ,
- resistenza ai sali comunemente presenti nella muratura (solfati, ammine),
- modulo elastico allo stato secco comparabile con quello della muratura (3000-6000  $\text{N/mm}^2$ ),
- non presentare fenomeni di ritiro che ridurrebbero l'efficacia del contatto.

**Avvertenze:** non sarà assolutamente consentita, salvo 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 agli articoli specifici). Il collaudo del consolidamento andrà eseguito dopo 90 giorni dall'esecuzione delle iniezioni.

### CN am. 3.2. Consolidamento mediante iniezioni armate

L'intervento (conforme al punto 3, lettera c), dell'Allegato 3 della CMLPP 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG. riguardanti le norme

tecniche per le costruzioni in zona sismica) 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 perni (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 dissetti riscontrati dall'esame del quadro fessurativo del manufatto o delle 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 boiacca anticarbonatante, reoplasticapennellabile realizzando uno strato continuo di almeno 1 mm.

*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 di resistenza, così da garantire la collaborazione tra armature e muratura, visto che in questo caso si localizzeranno nelle zone più sollecitate.

*Avvertenze:* talvolta potrà essere necessario consolidare preventivamente la muratura mediante semplici iniezioni di boiacca (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto all'articolo specifico). 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'inghissaggio 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 (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto all'articolo specifico).

#### CN am. 6. Consolidamento mediante tiranti metallici

L'intervento sarà conforme al punto 2, dell'Allegato 3 della CMLPP 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG. riguardante le norme tecniche per le costruzioni in zona sismica.

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, in pilastri murari e in 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 capichiave (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 al fine di 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 capichiave 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 boiacca, 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 ed il posizionamento 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.

#### CN mu. 6.1. 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).

#### CN mu. 6.1.1. 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 relazionerà 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 a 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 (dato 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 tensioni (causati 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.

#### CN mu. 6.2. 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) facendo 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 nell'articolo 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 all'articolo 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 al fine di 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 capichiave 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, a questo punto, un 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 a 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 ammorsata all'interno della muratura.

Per maggiori specifiche riguardanti le miscele da iniezione si rimanda a quanto detto all'articolo specifico sulle iniezioni di miscele leganti.

#### CN am. 7. 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 conteranno in: realizzazione dei fori (se non diversamente indicato dagli elaborati di progetto potrà essere sufficiente realizzare una perforazione ogni m<sup>2</sup> 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, 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 (Ø 16-20 mm) in acciaio inossidabile con l'estremità filettate che fuoriusciranno 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 Ø 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.

**Specifiche:** si ricorda che la realizzazione di eventuali piccoli scassi sulla muratura, al fine di nascondere in parte le piastre, saranno sconsigliati poiché potranno ridurre l'efficacia dell'intervento.

#### CN am. 8. 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 prevederà: realizzazione dei fori (Ø 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 Ø 8 ed eventuale staffa Ø 4-6 a spiarle) 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'inezione 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, facendo 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'inezione, tramite una leggera pressione all'interno dell'armatura, di malta fluida (per maggiori delucidazioni al riguardo si rimanda all'articolo 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.

#### CN am.9. 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 provvisionali, 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 Ø 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 fori Ø 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 del "scuci e cuci" a piccoli tratti fino a sostituire la vecchia struttura con una nuova. Le nuove spallette dovranno essere correttamente ammorsate alla muratura da mantenere (un adeguato numero di morse sarà di circa una ogni cinque filari) 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., □ 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 variabile (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'interverrà, 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, 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 dimensione 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 boiacca 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 elettrosaldata 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 dovrà 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, anche in quelle che, pur essendo in discrete condizioni saranno di sostegno ad altre strutture malmesse; fermo restando che non sia previsto un preventivo generale quanto accurato restauro delle strutture. Le sezioni delle architravi dovranno essere scelte calcolando le sollecitazioni a flessione e taglio e le frecce di inflessione di due unità accoppiate, 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 e riempiendo i vuoti con malta a ritiro controllato.

#### CN sl. Operazioni di Consolidamento solaio in legno

##### CN sl. 1. Generalità

Le operazioni preliminari, necessarie ed obbligatorie, che l'operatore dovrà compiere prima di iniziare qualsiasi procedura di consolidamento di strutture lignee orizzontali, saranno:

- 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.

##### CN sl. 2. Appoggi

Allorché si renda necessario conferire una miglior ripartizione del carico che le travi scaricano sulla muratura si potrà inserire un cuscino 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.

##### CN sl. 3. Irrigidimento mediante doppio tavolato

L'intervento (conforme al punto 7 dell'Allegato 3 della CMLLPP 10 aprile 1997, n.65/AA.GG. riguardante le norme tecniche per le costruzioni in zona sismica) 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 rigidezza. 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 a disporre il nuovo tavolato di irrigidimento dello spessore minimo di 30-40 mm, eventualmente ammortizzato 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  $\square \square \square$  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 paria a 2,5  $\square \square \square$  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  $\square \square \square$  per  $\square \square \square$  inferiori od uguali a 4 mm o di 12  $\square \square \square$  per  $\square \square \square$  maggiori a 4 mm per chiodature parallele alle fibre del legno, 5  $\square \square \square$  per chiodature ortogonali alle fibre del legno (l'interasse massimo tra i chiodi posti parallelamente alla fibratura sarà di 40  $\square \square \square$  mentre, per quelli infissi ortogonalmente alla fibratura, sarà di 20  $\square \square \square$  I chiodi con  $\square \square \square$  inferiori 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 diametri intorno ai 4-5 mm.

In alternativa alle tavole potranno essere utilizzati pannelli di compensato multistrato (dimensioni massime pannello 3050x3050 mm, 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 ovvero 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, ammortizzato 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.

#### CN sl. 4. Consolidamento mediante sezioni miste

L'intervento è conforme al punto 7 dell'Allegato 3 della CMLLPP 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG. riguardante le norme tecniche per le costruzioni in zona sismica.

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 DIN1052 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 corimenti 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 controfrecchia 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 12/7/99 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 □ 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>).

#### CN sl. 4.1. Connottore inghisato a piolo o a traliccio

Previa 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 nonspecificamente indicato, sarà sufficiente utilizzare Fe B 38 K altrimenti si utilizzerà Fe B 44 K) da c.a. ad aderenza migliorata, 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 10-150 mm.

La prima operazione sarà quella di regolarizzare i travicelli ovverosia si taglieranno le loro estremità poggiante 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 pianelle.

Compiute 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 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 mezzeria delle travi. Si dovrà tenere presente che, laddove occorrerà inserire connettori molto ravvicinati, (l'interasse, consigliato, tra i connettori sarà compreso tra gli 8□□□mm e i 15□□□mm della barra scelta; tale distanza potrà essere aumentata fino a 30□□□mm 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 voglia aumentare la rigidezza 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 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>) 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 "Turri 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 elettrosaldata 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 boiacca 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 boiacca dovranno essere: adesione all'armatura ed al cls > 2,5 N/mm<sup>2</sup>, resistenza alla nebbia salina dopo 120 h nessuna corrosione, pH > 12, tempo di lavorabilità a 20°C e 50% U.R. circa 40-60 min.

## CN sl. 5. Consolidamento mediante aumento della sezione

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 di 250 mm ad interasse di 500-600 mm, o in alternativa da viti 8 mm di lunghezza di 200 mm disposti 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.

## CN sl. 6. Ancoraggio delle travi alle murature tramite piastre metalliche

L'intervento è conforme al punto 7 dell'Allegato 3 della CMLLPP 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG. riguardante le norme tecniche per le costruzioni in zona sismica, ma 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 unilaterale 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.

## CN sl. 7. Ancoraggi dei solai alle murature d'ambito

Il restauro-consolidamento di un solaio dovrà soddisfare, (punto 7 dell'Allegato 3 della CMLLPP 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG. riguardante le norme tecniche per le costruzioni in zona sismica), oltre ai requisiti di adeguata resistenza ai carichi previsti dal progetto e rigidezza 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 agli effetti della trasmissione degli sforzi.

### CN sl. 7.1. 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'imprimitura nella zona di ripresa del getto e, previo posizionamento di idonea casseratura, 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.

#### CN sl. 7.2. 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'imprimitura nella zona di ripresa prima di gettare il cordolo.

#### CN sl. 7.3. 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).

#### CN sl. 7.4. 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 boiacca passivante anticarbonatanete) ad aderenza migliorata da c.a. minimo 14 mm inghissato in foro 24 mm o 16 mm inghissato 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 gradi, 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 metri) 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 ad 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 8-10/500 mm disposte sfalsate; così facendo si realizzerà un "cordolo" di modeste dimensioni (circa 5 x 30 cm) poco invasivo ma sufficiente a solidarizzare l'armatura del solaio alla muratura.

#### CN sl. 7.5. 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'angolare verrà fissato per tutta la muratura d'ambito per mezzo di barre filettate AISI 316L 16 mm inghiseate 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 inghiseate 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 sbozzati 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.

#### CN cl. Operazioni di Consolidamento di coperture in legno

##### CN cl. 1. Generalità

Prima di mettere in pratica qualsiasi risoluzione che, di seguito, verrà enunciata si renderà necessario seguire delle procedure preliminari indirizzate, sia alla salvaguardi 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 quando si effettuerà il cauto smontaggio del tetto (in questo frangente lo smontaggio non comprenderà anche gli

elementi lignei che costituiscono l'orditura primaria per la quale l'intervento di manutenzione sarà previsto, dove le condizioni conservative lo consentiranno, 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, facendo cura di selezionare gli elementi ancora efficienti e riutilizzabili ed 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 sabbatura con l'ausilio di appropriati apparecchi aeroabrasivi ricorrendo ad inerti indicati, nello specifico, dalla D.L.

#### CN cl. 2. Collegamento tra le strutture della copertura e la muratura

L'intervento (conforme al punto 9 dell'Allegato 3 della CMLLPP 10 aprile 1997, n.65/AA.GG. riguardante le norme tecniche per le costruzioni in zona sismica) 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, alle 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 nell'articolo specifico sul consolidamento delle murature.

#### CN cl. 2.1. Collegamento mediante zanche o spillature metalliche

Intervento quasi sempre attuabile ed idoneo a risolvere problemi leganti all'azione spingente delle orditure lignee (special modo falsi puntoni).

Previa 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  $\square$  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 □ 16 mm) di lunghezza variabile (comunque non inferiore ai 90 cm), inghiseate in fori □ 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., □ 20 mm) alla 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).

#### CN cl. 2.2. 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 rigidezza 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 2 □□16 mm) di lunghezza variabile (comunque non inferiore ai 90 cm), inserite in perforazioni (minimo □ 36 mm) verticali (o con lieve inclinazione) ed annigate 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 □ 14 mm) dotata anch'essa di doppi dadi all'estremità. La superficie di contatto della trave con quella della sella sarà isolata tramite uno 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  $\times$  14 mm inghisati in  $\times$  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 (dato 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  $\times$  16/900 mm inghisato in  $\times$  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  $\times$  6/80-100 mm) assicureranno il collegamento tra l'orditura minuta con quella principale.

#### CN cl. 2.3. Collegamento mediante tiranti metallici

L'intervento verrà realizzato seguendo la procedura prevista all'articolo 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.,  $\times$  26 mm o  $\times$  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 2  $\times$  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-tarlo. Al fine di evitare eventuali svergolamenti delle tavole potranno essere introdotte delle chiavardature costituite da barre bullonate distanziate ogni 100-120 cm.

#### CN cl. 2.4. Collegamento mediante cerchiatura dell'edificio in sommità

##### CN cl. 2.4.1. Cordolo in c.a.

Il cordolo in cemento armato verrà realizzato seguendo le procedure previste all'articolo

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 viene operata, 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.

#### CN cl. 2.4.2. 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 da 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 boiacca 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 dovrà essere inferiore alle due teste.

Nel caso la copertura venga munita di soletta di cls, si renderà necessario che l'armatura del cordolo venga provvista di staffe secondarie (minimo □ 8/400 mm) da collegare alla rete elettrosaldata della soletta soprastante. Medesimo criterio verrà adottato in presenza di aggetti 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 casserì a perdere, e, come tali, risulteranno in grado di racchiudere la malta che avvolgerà l'armatura.

#### CN cl. 2.4.3. 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 all'articolo specifico).

#### CN cl. 2.4.4. Cordolatura mediante applicazione di materiali compositi (CFRP)

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 ed 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 delle 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'idonea pellicola a base di elastomeri puliuretanici (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'agrappaggio dell'arriccia, 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 all'articolo inerente il ripristino delle lacune di intonaco.

Le prescrizioni sulla procedura operativa seguiranno quelle previste all'articolo sul consolidamento di volte mediante materiali compositi.

#### CN cl. 2.4.5. Iniezioni e cuciture armate

L'intervento verrà realizzato seguendo la procedura prevista all'articolo sul consolidamento delle murature con iniezioni armate.

Normalmente sarà indicato per quegli edifici il cui apparecchio murario a faccia vista

risulterà 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, risulterà sconveniente.

### CN cl. 3. Connessione tra i diversi elementi costituenti l'orditura

L'intervento (conforme al punto 9 dell'Allegato 3 della CMLLPP 10 aprile 1997, n.65/AA.GG. riguardante le norme tecniche per le costruzioni in zona sismica) 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.

#### CN cl. 3.1. Connessione mediate 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 piastrine 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 terzere 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 prevederà 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.

#### CN cl. 3.2. Connessione mediante tavola e/o gattello in legno

Nel caso di scempiato costituito da pianelle o mezzane il collegamento tra l'orditura lignea verrà garantito dal posizionamento di una tavola in legno posta in sostituzione del filare di pianelle 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 pianelle (comunque non inferiore a 25 mm) verrà fissata ad ogni morale o travicello, attraverso chiodi ad aderenza migliorata o viti autofilettanti in acciaio inox 4/80-100 mm), ed irrigidite saltuariamente con piastrine 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 pianelle, 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.

#### CN cl. 4. Irrigidimento e controventatura delle falde di copertura

L'intervento (conforme al punto 9 dell'Allegato 3 della CMLLPP 10 aprile 1997, riguardante le norme tecniche per le costruzioni in zona sismica) 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.

##### CN cl. 4.1. 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 maschettatura 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 per quanto detto all'articolo specifico).

##### CN cl. 4.2. Irrigidimento e controventatura mediante croci di Sant'Andrea

La procedura risulterà adatta per le strutture di copertura allorché occorra aumentare l'indeformabilità del piano. L'intervento prevederà 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 diregolazione 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 rileva 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) prevederà 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 rincalzo 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  $\varnothing$  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  $\varnothing$  4 mm). Un limite di questo intervento risiederà nel fatto che, modificando esteticamente l’aspetto dell’intradosso del coperto, non sempre risulterà applicabile.

#### CN cl. 4.3. 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 scorimenti, 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  $\varnothing$  8-10 mm. Dopo aver posizionato i connettori sui correnti ad una distanza massima di 30  $\square$  si posizionerà e si legherà a questi, la rete in acciaio elettrosaldata di Fe B 38 K adeguatamente dimensionata (ad es. tondi  $\varnothing$  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 requisisti 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 elettrosaldata, 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 conseguenti degradi dei materiali.

#### CN cl. 5. Fissaggio elementi sporgenti

L’intervento risulta conforme al punto 9 dell’Allegato 3 della CMLLPP 10 aprile 1997, riguardante le norme tecniche per le costruzioni in zona sismica ed è indirizzato verso tutti gli elementi aggettanti dalle coperture come comignoli, antenne, abbaini, torrini ecc. I manufatti che fuoriusciranno 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 pianelle 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 contropiastre 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 (dimensioni 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 alla quale 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.

#### CN cl. 6. 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 ausiliari esercitano, quelle adiacenti) e, pur non garantendo un adeguato appoggio, non si ritiene 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 tecnologie esecutive, alcune condivisibili (quelle cioè che impiegano prevalentemente legno come gli incalmi 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.

##### CN cl. 6.1. 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'accetta.

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.

###### CN cl. 6.1.1. 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 rileva difficile aumentare i carichi d'esercizio mantenendo le sezioni originali.

#### CN cl. 6.1.2. 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 rigidezza all'intera unità strutturale che ha perduto, in esercizio, le proprietà geometriche originali a causa dell'insufficiente dimensionamento, per 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 rigidezza 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 accentuate caratteristiche meccaniche. Questa procedura verrà utilizzata, prevalentemente, per il rinforzo di strutture secondarie dove, gli sforzi non avranno ordini di grandezza elevati e, 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 sarà sottoposta anche a sforzi di torsione l'operazione sarà sconsigliata.

Queste lamine di compensato ligneo, messe in opera già forate (lunghezza minima 1,5-2 h membratura), 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 inghisato 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 all'articolo specifico).

*Specifiche:* nel caso in cui le guance saranno 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.

#### CN cl. 6.1.3. Protesi con incalmi

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  $\square$  10 mm inghise in  $\square$  11 mm, i fori per i bulloni potranno avere un  $\square$  massimo aumentato di solo 1 mm rispetto al  $\square$  del bullone stesso) a sezione circolare e testa esagonale vincolati al legno con dado cieco e rondella in acciaio con diametro minimo 3,5  $\square$  (con  $\square$  = al diametro del bullone) e spessore di almeno 0,3  $\square$  (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 fissa una misura minima di sette  $\square$  e comunque non inferiore a 10 cm. Una variante a questa procedura, per testate di travi, prevederà il taglio a 45 gradi (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'Eurocodice5, sarà di 2+2  $\square$  12 mm inghisiati in  $\square$  16 mm (il  $\square$  del foro consigliato sarà pari al  $\square$  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  $\times$   $\square$  2 della barra e 8  $\times$   $\square$   $\square$   $\square$   $\square$  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  $\times$   $\square$  = 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>) ed, 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).

#### CN cl. 6.2. 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 casseratura, almeno parziale, del successivo getto. Si praticeranno 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.,  $\square$  12mm inghiso in  $\square$  16 mm) o in vetroresina per una lunghezza minima di 50 cm e si posizioneranno le eventuali staffe  $\square$  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 casseratura potrà essere rimossa solo a presa avvenuta (circa una settimana),

mentre la puntellatura potrà essere dismessa previa ricostruzione della breccia e maturazione del getto..3

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 antismistico dei collegamenti delle aste lignee, indotto dalla duttilità del collegamento stesso, viene a mancare.

#### CN cl. 7. Consolidamento di travi mediante cerchiature

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 ricollegamento di porzioni distaccate attraverso l'operazione combinata di viti autofilettanti e di cerchiature 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 dimes 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.

#### IM cl. Operazioni di Impermeabilizzazione ed isolamento coperture

##### IM cl . 1. 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.

#### IM cl . 1.1. Manto di copertura su pannelli

L'intervento potrà essere adottato per tutti i manti di copertura (coppo e canali, embrici e coppi, tegole marsigliesi, lastre di ardesia, tegole canadesi ecc.) grazie alla messa in opera di particolari pannelli modulari, (leggieri, 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 parallelepipedici 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 di 80 mm; distanziatore minimo 40 mm massimo di 60 mm). Il pannello sarà completato con un 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. Il piano in multistrato, trattato con prodotti anti-muffa e antiparassiti, permetterà la diretta posa in opera del 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.