

COMUNE DI BERGAMO
Area Politiche del Territorio

Restauro lavatoi di via Mario Lupo e di via Borgo Canale



Committente:

Comune di Bergamo

Piazza Matteotti, 27, 24123 Bergamo (BG)

Progettisti - Gruppo di lavoro:



Arch. Ing. Massimo Mazzoleni

via G. Quarenghi, 17 - 24030 - Capizzone (BG)
tel. 035 862921 - studio@mnlab.it



Geom. Biagio Trausi

c/o UTC Bergamo - Area Politiche del Territorio
Via G. Quarenghi n.33/35 - 24122 Bergamo
tel. 035.399777 - btrausi@comune.bg.it

restituzione cad

Geom. Gabriele Moioli

TAV.
P. DEF

CSA₂

FASE DI PROGETTO:

Definitivo - Esecutivo

DISCIPLINA:

PROGETTO di RESTAURO

COD. WBS:

18.004.DE.GEN.REL.12.CSA.Rev 0

DATA:

02.09.2018

SCALA:

--

OGGETTO:

CAPITOLATO SPECIALE D'APPALTO

SUB-ARGOMENTO:

PARTE 2 - PARTE TECNICA

Rev.	Data	Oggetto	Disegnato	Verificato
00	02.10.2018	Emissione progetto	NS	MM

COMUNE DI BERGAMO



***Restauro lavatoi di via Mario Lupo e di via
Borgo Canale"***

Bergamo

INTERVENTO DI RESTAURO E RIQUALIFICAZIONE FUNZIONALE

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

CAPITOLATO SPECIALE D'APPALTO – Parte tecnica

1. PREMESSA	7
2. DESCRIZIONE DEI LAVORI	7
2.1 LAVATOIO DI VIA MARIO LUPO	8
2.1.1 INTERVENTI DI RESTAURO CONSERVATIVO	8
2.1.2 RESTAURO E CONSOLIDAMENTO DEGLI ELEMENTI METALLICI DELLA COPERTURA	9
2.1.3 INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE DEL LAVATOIO	11
2.2 LAVATOIO DI VIA BORGO CANALE	15
2.2.1 RESTAURO DELLE MURATURE PERIMETRALI E DI INGRESSO	15
2.2.2 RESTAURO DEL LAVATOIO E DEL BASAMENTO IN ARENARIA	15
2.2.3 RESTAURO E CONSOLIDAMENTO DEGLI ELEMENTI METALLICI DELLA COPERTURA	16
2.2.4 RESTAURO DEGLI ELEMENTI METALLICI DELLA RECINZIONE ESTERNA	17
2.2.5 INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE DEL LAVATOIO	18
3. NORME PER LA MISURAZIONE E LA VALUTAZIONE DEI LAVORI	21
NORME PER LA MISURAZIONE E VALUTAZIONE DEI LAVORI	21
3.1.1 SCAVI IN GENERE	21
3.1.2 RILEVATI E RINTERRI	22
3.1.3 RIEMPIMENTO CON MISTO GRANULARE A SECCO	22
3.1.4 PALIFICAZIONI	22
3.1.5 PARATIE E CASSERI IN LEGNAME	22
3.1.6 RIMOZIONI E DEMOLIZIONI	22
3.1.7 MURATURE	23
3.1.7.1 MURATURE IN GENERE	23
3.1.7.2 MURATURE IN PIETRA DA TAGLIO	24
3.1.7.3 PARAMENTI IN FACCIA-VISTA	24
3.1.8 CALCESTRUZZI	24
3.1.9 CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO	24
3.1.10 SOLAI (ORIZZONTAMENTI)	24
3.1.11 COPERTURE A FALDA (SOLAI INCLINATI)	25
3.1.12 MANTO DI COPERTURA	25
3.1.13 CONTROSOFFITTI	25
3.1.14 VESPAI	25
3.1.15 MASSETTI	25
3.1.16 PAVIMENTI	26
3.1.17 RIVESTIMENTI DI PARETI	26
3.1.18 POSA IN OPERA DEI MARMI, PIETRE NATURALI ED ARTIFICIALI	26
3.1.19 INTONACI	26
3.1.20 TINTEGGIATURE, COLORITURE E VERNICIATURE	27
3.1.21 MANO D'OPERA	28
3.1.22 PONTEGGI	28
3.1.23 NOLEGGI	28
3.1.24 TRASPORTI	28
4. QUALITA' E PROVENIENZA DEI MATERIALI E DEI COMPONENTI	29
MATERIALI IN GENERE	29
ACQUA, CALCI, GESSO	29
4.1.1 ACQUA	29
4.1.2 CALCE	29
4.1.2.1 CALCI AEREE	30
4.1.2.2 CALCI IDRAULICHE	32
4.1.3 GESSO	33
CEMENTI, CEMENTI SPECIALI	35
4.1.4 CEMENTI	35
4.1.5 CEMENTI SPECIALI	38
LEGANTI SINTETICI	38
4.1.6 RESINE ACRILICHE	39
4.1.7 RESINE EPOSSIDICHE	39

4.1.8	RESINE FLUORURATE.....	40
4.1.9	RESINE POLIESTERE	40
	MATERIALI INERTI PER MALTE, STUCCHI E CONGLOMERATI	40
4.1.10	GHIAIA E PIETRISCO	40
4.1.11	SABBIE	41
4.1.12	POLVERI	42
4.1.13	PIETRA MACINATA	42
4.1.14	POZZOLANA	43
4.1.15	COCCIO PESTO	43
4.1.16	CAOLINO	43
4.1.17	ARGILLE ESPANSE.....	43
4.1.18	POMICE ED ALTRI INERTI NATURALI LEGGERI	43
	ELEMENTI DI LATERIZIO E CALCESTRUZZO.....	43
	MATERIALI FERROSI E METALLI VARI	47
4.1.19	MATERIALI FERROSI	47
4.1.20	METALLI VARI	50
	PRODOTTI A BASE DI LEGNO – GENERALITA’	50
4.1.21	LEGNAMI E MATERIALI DERIVATI DAL LEGNO	51
4.1.21.1	SEGATI DI LEGNO	53
4.1.21.2	PANNELLI DI FIBRE DI LEGNO (LEGNI RICOSTRUITI O RIGENERATI).....	53
4.1.21.3	PANNELLI DI PARTICELLE (LASTRE DI AGGLOMERATO LIGNEO).....	54
4.1.21.4	PANNELLI DI LEGNO COMPENSATO	55
4.1.22	LEGNO LAMELLARE INCOLLATO.....	56
	PIETRE NATURALI E RICOSTRUITE.....	57
4.1.23	ARDESIA.....	57
4.1.24	ARENARIA	57
4.1.25	CALCARE	57
4.1.26	GRANITO (TERMINE COMMERCIALE)	58
4.1.27	MARMO (TERMINE COMMERCIALE)	58
4.1.28	PIETRA (TERMINE COMMERCIALE)	58
4.1.29	PIETRA DA TAGLIO	59
4.1.30	TRAVERTINO (TERMINE COMMERCIALE)	59
4.1.31	TUFO	59
	COLORI E VERNICI – GENERALITA’	61
4.1.32	PIGMENTI.....	62
4.1.33	TINTE.....	63
4.1.33.1	TINTA ALLA CALCE.....	63
4.1.33.2	TINTE AI SILICATI.....	64
4.1.34	PITTURE	64
4.1.34.1	PITTURE A COLLA O TEMPERA	64
4.1.34.2	PITTURE AD OLIO	65
4.1.34.3	PITTURE CEMENTIZIE.....	65
4.1.34.4	PITTURE EMULSIONATE	65
4.1.34.5	IDROPITTURA (PITTURA ALL’ACQUA, PITTURE LAVABILI) A BASE DI COPOLIMERI ACRILICI	65
4.1.34.6	BOIACCA PASSIVANTE	65
4.1.35	VERNICI.....	66
4.1.35.1	VERNICI NATURALI E SINTETICHE.....	66
4.1.35.2	SMALTI.....	66
4.1.35.3	VERNICI ANTIRUGGINE E ANTICORROSIVE.....	66
	ADDITIVI	66
	MATERIALI DIVERSI (SIGILLANTI, ADESIVI, GEO-TESSUTI, TESSUTI-NON-TESSUTI).....	67
4.1.36	SIGILLANTI.....	67
4.1.37	ADESIVI.....	68
4.1.38	GEO-TESSUTI	68
4.1.39	TESSUTI-NON-TESSUTI.....	69

SOLVENTI	69
5. ACCERTAMENTI ANALITICI E DIAGNOSTICI.....	72
ACCERTAMENTI ANALITICI E DIAGNOSTICI – GENERALITA'	72
INDAGINI IN SITU ATTE AD APPROFONDIRE LA CONOSCENZA SULLE STRATIFICAZIONI DELL'EDIFICIO E SULLE CARATTERISTICHE STRUTTURALI E COSTRUTTIVE	73
5.1.1 INDAGINE TERMOGRAFICA (O TERMOVISIONE)	73
5.1.1.1 APPARECCHIATURA	73
5.1.1.2 APPLICAZIONI	74
5.1.1.3 SPECIFICHE	75
5.1.2 INDAGINE ENDOSCOPICA	75
5.1.2.1 APPARECCHIATURA	75
5.1.2.2 APPLICAZIONI	76
5.1.2.3 SPECIFICHE	76
5.1.3 INDAGINE MAGNETOTERMICA (O MAGNETOSCOPICA)	76
5.1.3.1 APPLICAZIONI	76
5.1.3.2 SPECIFICHE	77
5.1.4 INDAGINE GEORADAR	77
5.1.4.1 APPARECCHIATURA	77
5.1.4.2 APPLICAZIONE	77
5.1.4.3 SPECIFICHE	78
5.1.5 INDAGINE TOMOGRAFICA SONICA	78
5.1.5.1 SPECIFICHE	78
5.1.6 INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA	78
5.1.6.1 SPECIFICHE	79
5.1.7 INDAGINE COLORIMETRICA	79
5.1.7.1 SPECIFICHE	79
5.1.8 INDAGINE SONICA (AUSCULTAZIONE SONICA)	79
5.1.8.1 APPARECCHIATURE	79
5.1.8.2 APPLICAZIONI	80
5.1.8.3 SPECIFICHE	80
5.1.9 INDAGINE ULTRASONICA	80
5.1.9.1 APPARECCHIATURE	80
5.1.9.2 APPLICAZIONI	81
5.1.9.3 SPECIFICHE	81
MONITORAGGIO RILIEVO DINAMICO	81
5.1.10 TELERILEVAMENTO	81
5.1.10.1 APPLICAZIONI E APPARECCHIATURE	82
5.1.10.2 SPECIFICHE	83
5.1.11 MONITORAGGIO DEL QUADRO FESSURATIVO	83
5.1.11.1 SPECIFICHE	83
5.1.11.2 BIFFE DI MALTA	84
5.1.11.3 VETRINI	84
5.1.11.4 FESSURIMETRI MILLIMETRATI	84
5.1.11.5 DEFORMOMETRI	84
5.1.11.6 ESTENSIMETRI	85
5.1.12 MONITORAGGIO AMBIENTALE (RILEVAZIONE DELLE CONDIZIONI TERMOIGROMETRICHE E MICROCLIMATICHE)	85
5.1.12.1 SPECIFICHE	86
INDAGINI MECCANICHE IN SITU AL FINE DI DETERMINARE LE CARATTERISTICHE TENSIONALI DEI MATERIALI E DELLE STRUTTURE	86
5.1.13 CAROTAGGIO	87
5.1.14 INDAGINI CON MARTINETTO PIATTO SINGOLO O DOPPIO (FLAT-JACK TEST)	87
5.1.14.1 APPARECCHIATURA	87
5.1.14.2 APPLICAZIONE	87
5.1.14.3 SPECIFICHE	88

5.1.15	PROVE SCLEROMETRICHE	89
6.	PROCEDURE OPERATIVE DI RESTAURO E CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE	90
	PROCEDURE OPERATIVE DI RESTAURO	90
6.1.1	OPERAZIONI DI SCAVI E RINTERRI	90
6.1.1.1	GENERALITA'	90
6.1.1.2	SCAVI DI SPLATEAMENTO E SBANCAMENTO.....	90
6.1.1.3	SCAVI DI FONDAZIONE A SEZIONE OBBLIGATA.....	91
6.1.1.4	SCAVI DI ACCERTAMENTO E RICOGNIZIONE	92
6.1.1.5	SCAVI ARCHEOLOGICI.....	92
6.1.1.6	SCAVI SUBACQUEI E PROSCIUGAMENTI	93
6.1.1.7	ARMATURA DEGLI SCAVI – OPERE DI SBATACCHIAMENTO.....	94
6.1.1.8	RILEVATI E RINTERRI.....	94
6.1.2	OPERAZIONI DI ASPORTAZIONI, DEMOLIZIONI E SMONTAGGI.....	95
6.1.2.1	GENERALITA'	95
6.1.2.2	INDAGINI PRELIMINARI (ACCERTAMENTO SULLE CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE-STRUTTURALI)	96
6.1.2.3	DEMOLIZIONE DI STRUTTURE MURARIE DI FONDAZIONE	96
6.1.2.4	DEMOLIZIONE DI STRUTTURE MURARIE	96
6.1.2.5	STRUTTURE PORTANTI E/O COLLABORANTI.....	97
6.1.2.6	TRAMEZZATURE.....	97
6.1.2.7	DEMOLIZIONI DI STRUTTURE A TELAIO IN C.A.	97
6.1.2.8	SMONTAGGIO DI STRUTTURE ORIZZONTALI	97
6.1.2.9	SOLAI PIANI	97
6.1.2.10	STRUTTURE VOLTATE	98
6.1.2.11	STRUTTURE IN AGGETTO	98
6.1.2.12	COLLEGAMENTI VERTICALI.....	98
6.1.2.13	MANTI E STRUTTURE DI COPERTURA	98
6.1.2.14	ASPORTAZIONE DI INTONACI	99
6.1.2.15	RIMOZIONE E SMONTAGGIO DI PAVIMENTI	99
6.1.2.16	RIMOZIONE E SMONTAGGIO DI RIVESTIMENTI LAPIDEI	100
	PROCEDURE OPERATIVE DI CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE.....	102
6.1.3	OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO FONDAZIONI	102
6.1.3.1	GENERALITÀ	102
6.1.3.2	CONSOLIDAMENTO MEDIANTE AMPLIAMENTO DELLA BASE FONDALE.....	102
6.1.3.2.1	AMPLIAMENTO DELLA FONDAZIONE MEDIANTE TRAVI LONGITUDINALI IN C.A. CERCHIANTI L'ELEMENTO FONDALE E PLACCAGGIO DELLO SPICCATO DELLE MURATURE	102
6.1.3.2.2	AMPLIAMENTO DELLA FONDAZIONE MEDIANTE CORDOLO IN C.A. CERCHIALE LE FONDAZIONI CON AMMORSAMENTO PUNTUALE A CODA DI RONDINE O A DADO	103
6.1.3.3	CONSOLIDAMENTO DI FONDAZIONI CON PALI.....	104
6.1.3.3.1	SOTTOFONDAZIONE CON MICROPALI	104
6.1.3.3.2	PALI TIPO RADICE.....	105
6.1.3.3.3	PALI TIPO TUBFIX	105
6.1.3.4	CONSOLIDAMENTO DI FONDAZIONI CON INIEZIONI DI MISCELE LEGANTI	105
6.1.4	CONSOLIDAMENTO MURATURE.....	106
6.1.4.1	PREMESSA METODOLOGICA	106
6.1.4.2	OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO APPARECCHI MURARI	107
6.1.4.2.1	GENERALITÀ	107
6.1.4.2.2	RICUCITURA DELLE MURATURE MEDIANTE SOSTITUZIONE PARZIALE DEL MATERIALE (SCUCI E CUCI).....	107
6.1.4.2.3	CONSOLIDAMENTO MEDIANTE INIEZIONI DI MISCELE LEGANTI.....	108
6.1.4.2.4	CONSOLIDAMENTO MEDIANTE INIEZIONI NON ARMATE	109
6.1.4.2.5	CONSOLIDAMENTO MEDIANTE INIEZIONI ARMATE	111
6.1.4.2.6	CONSOLIDAMENTO MEDIANTE PLACCAGGIO DI SUPERFICIE (BETONCINO ARMATO)	112

6.1.4.2.7	CONSOLIDAMENTO MEDIANTE PLACCAGGIO CON MATERIALI FRP	114
6.1.4.2.8	CONSOLIDAMENTO MEDIANTE TIRANTI METALLICI.....	115
6.1.4.2.9	CERCHIATURE IN ACCIAIO DI APERTURE E VANI IN MURATURE PORTANTI	118
6.1.5	CONSOLIDAMENTO SOLAI	119
6.1.5.1	PREMESSA METODOLOGICA	119
6.1.5.2	OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO SOLAIO IN LEGNO	120
6.1.5.2.1	GENERALITÀ	120
6.1.5.2.2	APPOGGI	120
6.1.5.2.3	IRRIGIDIMENTO MEDIANTE DOPPIO TAVOLATO	120
6.1.5.2.4	CONSOLIDAMENTO MEDIANTE SEZIONI MISTE	121
6.1.5.2.5	CONSOLIDAMENTO MEDIANTE AUMENTO DELLA SEZIONE.....	123
6.1.5.2.6	ANCORAGGIO DELLE TRAVI ALLE MURATURE TRAMITE PIASTRE METALLICHE	124
6.1.5.2.7	ANCORAGGI DEI SOLAI ALLE MURATURE D'AMBITO.....	124
6.1.5.2.8	COLLEGAMENTI FRA SOLAI COMPLANARI E CONTIGUI.....	126
6.1.5.2.9	RIGENERAZIONE DI TESTATE DI TRAVI.....	127
6.1.5.3	CONSOLIDAMENTO SOLAIO IN FERRO E LATERIZIO	127
6.1.5.3.1	GENERALITÀ	127
6.1.5.3.2	APPOGGI	127
6.1.5.3.3	CONSOLIDAMENTO MEDIANTE CAPP A IN CEMENTO ARMATO.....	127
6.1.5.3.4	CONSOLIDAMENTO MEDIANTE PIATTO METALLICO	128
6.1.5.3.5	MIGLIORAMENTO DEL COLLEGAMENTO DEL SOLAIO AI MURI D'AMBITO.....	128
6.1.6	CONSOLIDAMENTO STRUTTURE VOLTATE.....	129
6.1.6.1	PREMESSA METODOLOGICA	129
6.1.6.2	OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO DI VOLTE IN MURATURA (LATERIZIO E PIETRA)....	129
6.1.6.2.1	GENERALITÀ	129
6.1.6.2.2	CONSOLIDAMENTO DELL'ESTRADOSSO MEDIANTE CAPP A ARMATA.....	130
6.1.6.2.3	CONSOLIDAMENTO MEDIANTE MATERIALI COMPOSITI (CFRP)	131
6.1.6.2.4	FASCIATURA DELL'ESTRADOSSO CON FRP	133
6.1.6.2.5	CONSOLIDAMENTO CON TIRANTE METALLICO.....	135
6.1.7	CONSOLIDAMENTO COPERTURE	135
6.1.7.1	PREMESSA METODOLOGICA	135
6.1.7.2	OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO DI COPERTURE IN LEGNO	136
6.1.7.2.1	GENERALITÀ	136
6.1.7.2.2	COLLEGAMENTO TRA LE STRUTTURE DELLA COPERTURA E LA MURATURA	137
6.1.7.2.3	CONNESSIONE TRA I DIVERSI ELEMENTI COSTITUENTI L'ORDITURA	140
6.1.7.2.4	IRRIGIDIMENTO E CONTROVENTATURA DELLE FALDE DI COPERTURA	141
6.1.7.2.5	FISSAGGIO ELEMENTI SPORGENTI.....	142
6.1.7.2.6	RIGENERAZIONE DI TESTATE DI TRAVI E NODI DI INCAVALLATURE.....	143
6.1.7.2.7	RICOSTRUZIONE MEDIANTE PROTESI IN LEGNO.....	143
6.1.7.2.8	RICOSTRUZIONE MEDIANTE CONCREZIONI EPOSSIDICHE ED ELEMENTI DI RINFORZO	145
6.1.7.2.9	CONSOLIDAMENTO DI TRAVI MEDIANTE CERCHIATURE.....	145
6.1.7.3	IMPERMEABILIZZAZIONE ED ISOLAMENTO COPERTURE	145
6.1.7.3.1	COPERTURA VENTILATA.....	145
6.1.7.3.2	IMPERMEABILIZZAZIONE TERRAZZE A TASCA.....	148
6.1.7.3.3	IMPERMEABILIZZAZIONE CORTICALE DI COPERTURA PIANA.....	148

1. PREMESSA

Il presente Capitolato costituisce parte integrante del Progetto Definitivo/Esecutivo relativo agli interventi di Restauro dei lavatoi di via Mario Lupo e di via Borgo Canale, in Bergamo Alta (BG).

Il capitolato descrive gli interventi previsti, e contempla ulteriormente voci e descrizioni che in parte non risultano attualmente comprese negli elaborati progettuali. L'obiettivo è tuttavia quello di poter definire e disciplinare dal punto di vista tecnico-esecutivo una più ampia gamma di interventi possibili, eventualmente disposti in sede esecutiva dalla Direzione dei Lavori per la risoluzione di situazioni/questioni non previste né prevedibili in questa sede.

2. DESCRIZIONE DEI LAVORI

Le opere contemplate nel presente appalto sono finalizzate al restauro e al recupero funzionale dei due antichi lavatoi che attualmente versano in condizioni di criticità conservativa e statica, secondo le specifiche di seguito riportate e le indicazioni fornite dagli altri documenti tecnici che compongono il Progetto.

In specifico sono previste e disciplinate le seguenti opere:

- Lavatoio di via Mario Lupo:
 - Intervento di restauro conservativo del lavatoio per le parti lapidee che costituiscono le vasche e della pavimentazione circostante;
 - Intervento di restauro conservativo, con parziale sostituzione degli elementi più ammalorati e compromessi, delle componenti metalliche strutturali e di rivestimento della copertura;
 - Intervento di consolidamento delle strutture portanti della copertura;
 - Predisposizioni impiantistiche funzionali all'installazione di nuovo impianto di trattamento e ricircolo dell'acqua nelle vasche del lavatoio;
 - Predisposizioni impiantistiche funzionali all'installazione di nuovo impianto di illuminazione architettuale del lavatoio;
 - Installazione di nuovo impianto di trattamento e ricircolo dell'acqua nelle vasche del lavatoio;
 - Installazione di nuovo impianto di illuminazione architettuale del lavatoio.
- Lavatoio di via Borgo Canale:
 - Intervento di restauro conservativo del lavatoio per le parti lapidee che costituiscono le vasche;
 - Intervento di restauro conservativo delle superfici murarie limitrofe al lavatoio;
 - Intervento di restauro conservativo delle inferiate metalliche e del cancello di accesso al lavatoio;
 - Rifacimento della pavimentazione limitrofa al lavatoio;
 - Intervento di restauro conservativo, con parziale sostituzione degli elementi più ammalorati e compromessi, delle componenti metalliche strutturali e di rivestimento della copertura;
 - Intervento di consolidamento delle strutture portanti della copertura;
 - Predisposizioni impiantistiche funzionali all'installazione di nuovo impianto di illuminazione architettuale del lavatoio;
 - Installazione di nuovo impianto di illuminazione architettuale del lavatoio.

Per una trattazione più completa degli interventi previsti si faccia riferimento agli elaborati di Relazione tecnica e alle tavole grafiche di progetto.

2.1 LAVATOIO DI VIA MARIO LUPO

Il progetto prevede in sintesi la realizzazione di un intervento di restauro conservativo del lavatoio in pietra, della pavimentazione circostante e di tutte le componenti metalliche “strutturali” che compongono la copertura.

Per quanto concerne la copertura, a causa dei gravi fenomeni di dissesto presenti, si rende necessario un intervento di consolidamento strutturale finalizzato al rinforzo della stessa e alla sua messa in sicurezza definitiva.

L'intervento strutturale consisterà in sintesi nelle seguenti operazioni:

- Installazione di nuovi tiranti di controventamento in fune metallica in corrispondenza della due colonne di imposta, secondo gli schemi grafici riportati nelle tavole di progetto.
- Installazione di un efficace sistema di contenimento e rinforzo del capitello fessurato della colonna ovest, secondo gli schemi grafici riportati nelle tavole di progetto.
- Rinforzo della colonna lesionata mediante fasciatura del fusto con sistema a basso spessore in rete bidirezionale cfrp in matrice organica;
- Verifica di tutti i nodi chiodati interelemento con eventuale sostituzione e/o integrazione degli elementi di giunzione (rivetti, chiodi, bulloni, piastre,...);
- Consolidamento della colonna in ghisa fessurata di lato Ovest mediante fasciatura in basso spessore con rete bidirezionale in cfrp applicata in matrice organica;
- Consolidamento del capitello fessurato sulla colonna di lato Ovest mediante confinamento verticale con doppia corona circolare in acciaio inox e perni presollecitati d.12mm;
- Verifica puntuale delle condizioni di degrado dei diversi elementi metallici che costituiscono la struttura portante con conseguente locale integrazione delle sezioni metalliche degradate e/o non verificate mediante sostituzione e/o affiancamento con nuovi elementi di caratteristiche analoghe.

Si prevedono altresì alcuni interventi di riqualificazione e rifunionalizzazione del lavatoio finalizzati ad un suo riuso e consistenti in specifico in:

- nella locale sistemazione della pavimentazione circostante in acciottolato per le parti dissestate;
- nella sostituzione delle lamiere di rivestimento e degli elementi terminali della copertura con nuovi elementi in lamiera di zinco-titanio aggraffati;
- nella reintroduzione dell'acqua all'interno delle vasche del lavatoio mediante l'installazione di un nuovo impianto idraulico a circuito chiuso per il ricircolo ed il trattamento dell'acqua;
- nell'installazione di un nuovo impianto di illuminazione architettuale con sensori crepuscolari.

Si riporta di seguito la descrizione degli interventi previsti in progetto.

2.1.1 INTERVENTI DI RESTAURO CONSERVATIVO

Il restauro del manufatto in pietra di Zandobbio del lavatoio è finalizzato alla conservazione dei diversi elementi lapidei che lo compongono, mediante operazioni di pulitura del particellato più o meno ancorato mediante spazzole morbide, getto d'acqua a bassa pressione ed eventuale impiego di applicazioni locali con acqua micronizzata mediante nebulizzazione.

Si procederà quindi con le operazioni di microstuccatura delle fessurazioni e di stuccatura delle lacune e delle diverse soluzioni di continuità presenti con malte compatibili opportunamente campionate, e la successiva pulitura e revisione cromatica dei bordi di stuccatura.

Si prevede quindi l'esecuzione di una riequilibratura cromatica delle superfici trattate al fine di ottenere una resa coerente dell'intervento sul piano estetico e pervenire ad una unitarietà estetica del manufatto.

All'interno degli invasi delle vasche, interessati dall'introduzione dell'acqua, sarà eseguito un intervento di impermeabilizzazione della pietra mediante l'applicazione a pennello di resine acriliche o di polisilossani.



Gli elementi in ferro delle vasche saranno sottoposti a una pulitura mediante spazzole leggermente abrasive e/o con applicazione di soluzione di EDTA sale bisodico e tetrasodico, per l'asportazione dei depositi di corrosione e di patine. Applicazione di un ciclo passivante mediante preventiva applicazione di una mano di minio oleofenolico, e successivo trattamento antiruggine mediante fosfato di zinco in veicolo oleofenolico. Mano di finitura finale con smalto oleofenolico.

Saranno condotte preventive prove per ogni operazione di restauro prevista, su una superficie sufficiente a valutare i risultati (circa 0.50mq) secondo le indicazioni della D.L.

2.1.2 RESTAURO E CONSOLIDAMENTO DEGLI ELEMENTI METALLICI DELLA COPERTURA

Gli elementi in ferro che compongono la struttura portante della copertura saranno sottoposti a una pulitura con impiego di spazzole leggermente abrasive e/o con applicazione locale di soluzione di EDTA sale bisodico e tetrasodico, per l'asportazione dei depositi di corrosione e di patine, avendo cura di proteggere con idonei teli le strutture murarie adiacenti.

Nelle zone di particolare consunzione delle sezioni resistenti sarà eventualmente valutata l'esecuzione di operazioni locali di reintegrazione della sezione mediante taglio meccanico della zona compromessa con dischi abrasivi di precisione, sagomatura di nuovi elementi in ferro secondo le forme della parte preesistente asportata, posizionamento e collegamento mediante saldatura a completa penetrazione delle stesse, con rifinitura finale delle zone di saldatura mediante micro frese e/o punte abrasive.



Dettaglio di una zona particolarmente degradata di collegamento sotto falda degli elementi portanti

Per gli elementi portanti risultati non idonei dal punto di vista strutturale, a seguito delle verifiche statiche condotte, si prevede l'esecuzione degli interventi locali di consolidamento nelle tavole grafiche di intervento.

Su tutti i nodi della struttura si prevede l'esecuzione di una verifica visiva dello stato di conservazione e funzionalità dei nodi inter-elemento, bullonati e/o saldati, secondo le specifiche in opera della DL.

Per tutti i nodi si prevede la riparazione nei casi di deterioramento/rottura/parzializzazione degli stessi mediante:

- accurata pulizia del nodo mediante abrasione delle superfici ed asportazione dei residui di vernice e/o delle parti ossidate;

- sostituzione e/o integrazione delle bullonature o delle chiodature;

- eventuale saldatura integrativa in sostituzione o ad integrazione delle chiodature ammalorate;

Integrazione/rinforzo dei nodi specificati negli elaborati di progetto mediante:

- accurata pulizia del nodo mediante abrasione delle superfici ed asportazione dei residui di vernice e/o delle parti ossidate;

- sostituzione e/o integrazione delle bullonature o delle chiodature;

- eventuale saldatura integrativa in sostituzione o ad integrazione delle chiodature ammalorate;

Saldature eseguite da personale qualificato in conformità a quanto previsto dalle NTC 2018.

L'intervento procederà con l'applicazione di un ciclo passivante mediante preventiva applicazione di una mano di minio oleofenolico, ed il successivo trattamento antiruggine mediante fosfato di zinco in veicolo oleofenolico.

La fase finale del lavoro comprenderà la finitura con una mano di smalto oleofenolico nel colore selezionato a seguito di apposita campionatura preventiva.

In corrispondenza delle due colonne in ghisa saranno rimossi gli attuali presidi provvisori presenti, e saranno quindi installati i nuovi sistemi definitivi di rinforzo consistenti in:

- Fornitura e posa di Controventi verticali in fune d.10mm in acciaio Inox Aisi 316, caratterizzate da un carico minimo di rottura di 52KN. I tiranti saranno tagliati a misura e dotati di opportuni capicorda filettati a pressare per il tensionamento mediante bulloni terminali di contrasto sulle piastre, secondo le specifiche tecniche e i dettagli esecutivi forniti in opera dalla DL;
- Fornitura e posa di Piastra in acciaio Inox Aisi 316 di ancoraggio inferiore dei tiranti alla colonna in ghisa composta da ghiera circolare dotata di supporto in neoprene per l'interfaccia con la base della colonna esistente;
- Fornitura e posa di Piastre di ancoraggio dei tiranti sui profilati portanti superiori della copertura, secondo le specifiche tecniche e i dettagli esecutivi forniti in opera dalla DL;

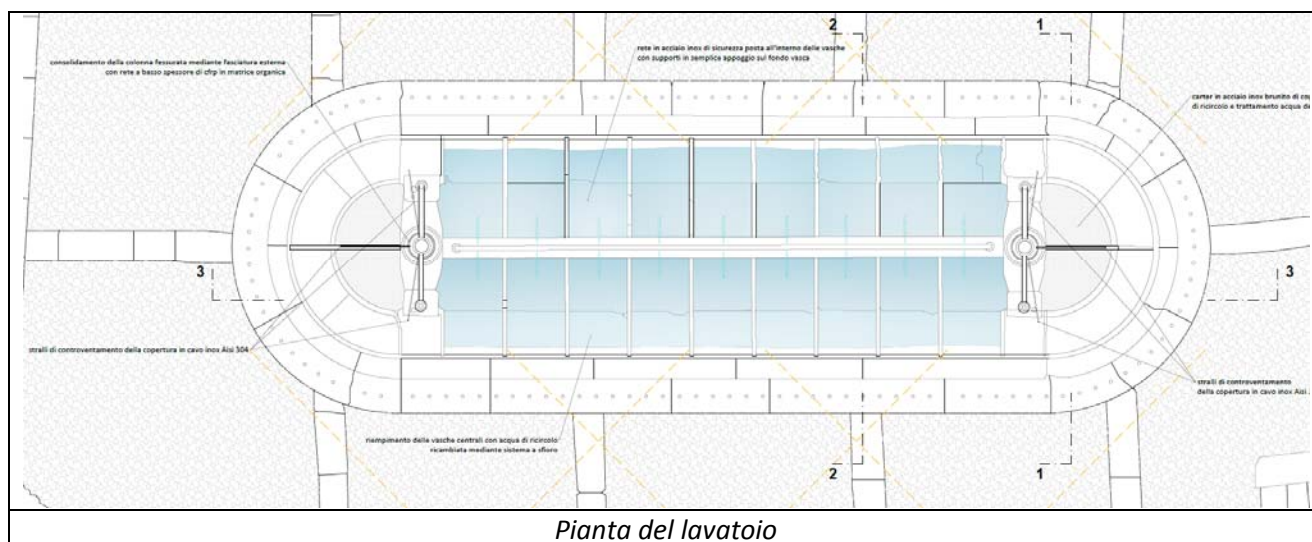
- Fornitura e posa di piastra di rinforzo del capitello della colonna Ovest lesionata, in acciaio Inox AISI 316, secondo le specifiche tecniche e i dettagli esecutivi forniti in opera dalla DL, dotata di supporto in neoprene per l'interfaccia con la base della colonna esistente;
- Rinforzo della colonna in ghisa ovest lesionata mediante fasciatura esterna con rete unidirezionale a basso spessore di cfrp in matrice organica. Rete di carbonio unidirezionale del peso di 300 g/mq qualificato in Classe 210C (primo strato) intrecciata con trama secondaria in gfrp;

2.1.3 INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE DEL LAVATOIO

Il progetto contempla ulteriormente i seguenti interventi di recupero funzionale e riqualificazione del lavatoio, finalizzati da un lato alla sostituzione di quegli elementi che ormai risultano compromessi, e chiamati dall'altro ad una valorizzazione della struttura sotto il profilo della sua percezione, della sua conoscenza e del suo potenziale riutilizzo da parte della collettività.

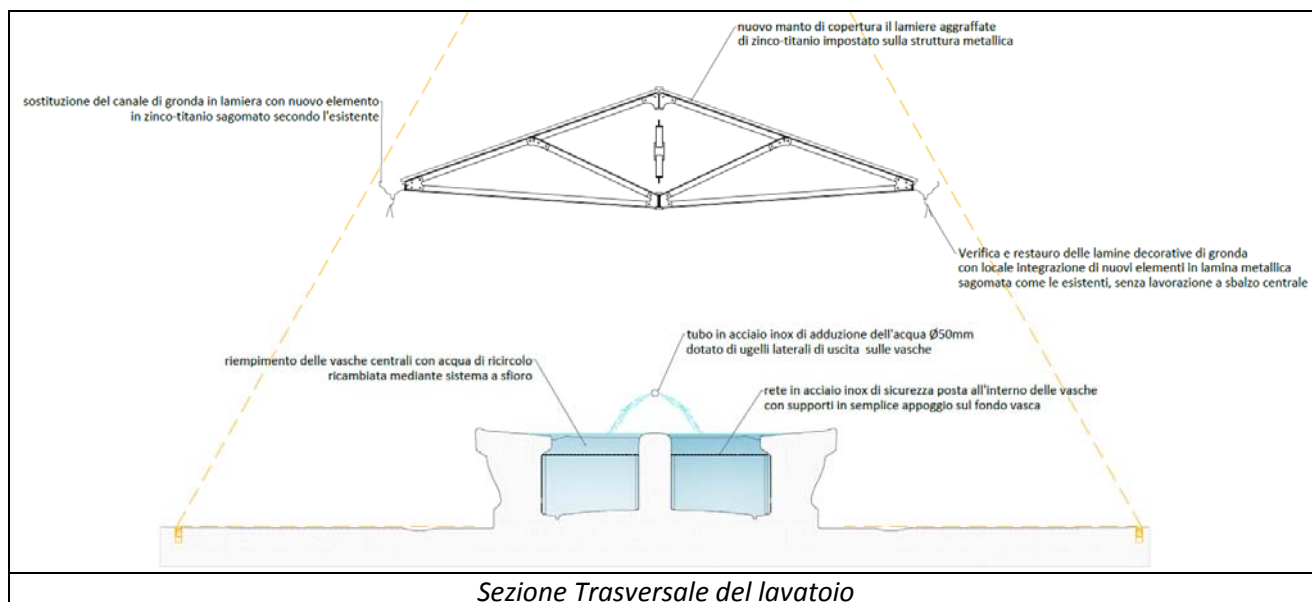
La priorità in questo senso è certamente data alla “reintroduzione dell’acqua” nel lavatoio, attraverso l’installazione di un nuovo impianto idraulico compatibile con la struttura storica, opportunamente alloggiato all’interno degli involucri laterali delle vasche di testata e concepito in un’ottica di “minimo impatto visivo” e di “massima reversibilità” dell’intervento. Il nuovo sistema di adduzione dell’acqua nelle vasche sarà costituito da un nuovo tubo a vista disposto nella medesima posizione della tubazione originariamente presente sul lavatoio, dotato di semplici ugelli laterali per la fuoriuscita di zampilli d’acqua entro gli involucri in linea delle vasche.

L’acqua all’interno delle vasche raggiungerà il livello riportato negli elaborati grafici, andando a riempire per intero gli involucri e a raggiungere la fascia più esterna dei ripiani inclinati di lavaggio delle vasche, così da superare gli sbarramenti inter-vasca costituiti dai setti in pietra e a formare di fatto due grandi specchi d’acqua sui due lati lunghi del lavatoio.



Il deflusso dell’acqua da tali involucri sarà garantito attraverso un nuovo sistema di scarico “a sfioro” ubicato nelle due zone di testa, in contiguità con le 2+2 vasche poste negli emicicli, dove saranno installate le macchine dell’impianto per il pompaggio ed il trattamento dell’acqua.

Per motivi di sicurezza entro i diversi involucri delle vasche con acqua, a circa 15-20cm dal pelo d’acqua, sarà installata una protezione costituita da una rete in acciaio inox brunito in grado di impedire la caduta di persone e/o cose nelle vasche.

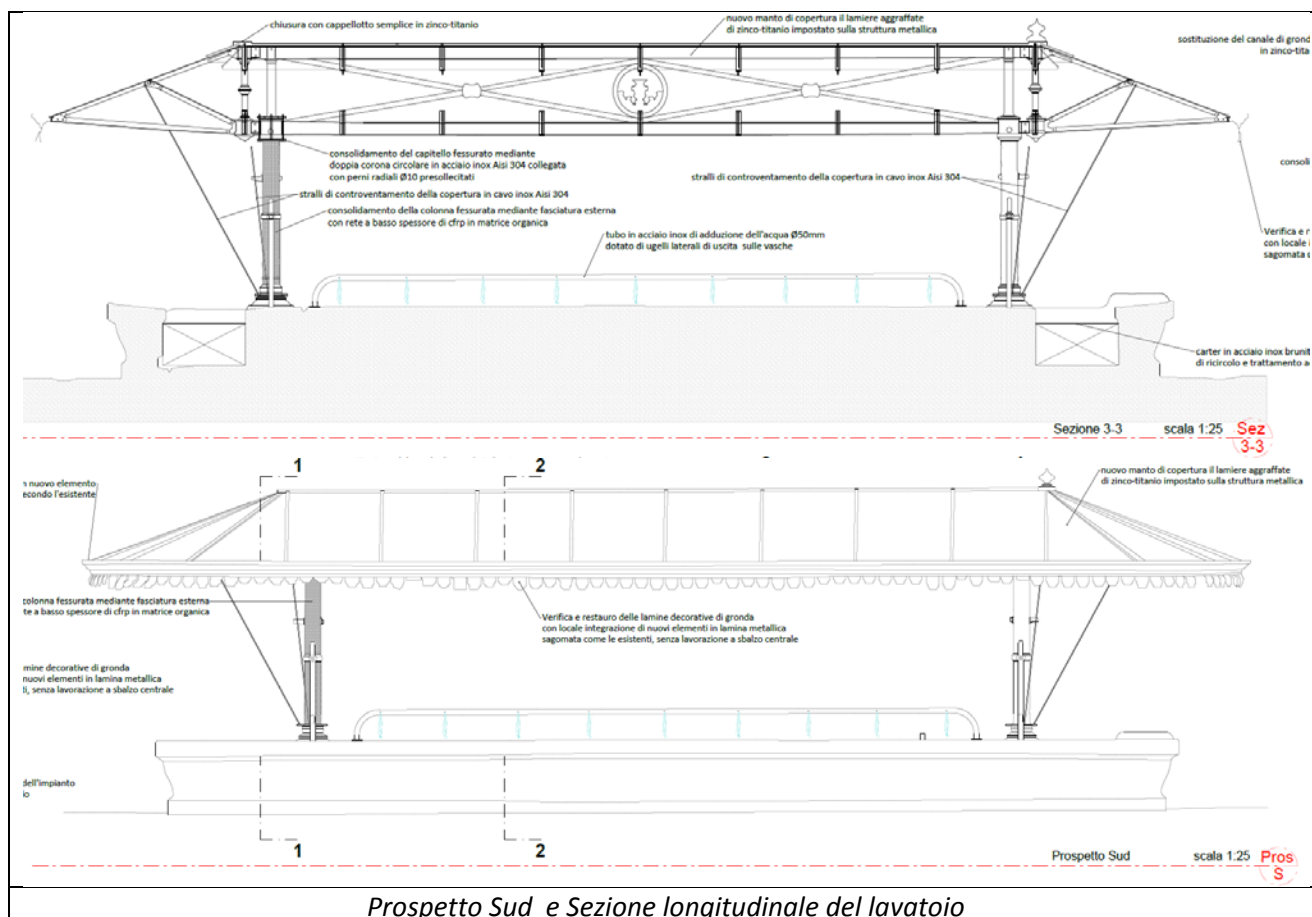


Per quanto concerne la copertura del lavatoio si prevede la sostituzione delle lamiere metalliche degradate del manto e del canale di gronda, oggi pesantemente compromessi e non recuperabili.

Le attuali lamiere in ferro verniciato saranno sostituite con nuove lastre aggraffate in zinco-titanio, pressoché esenti da problemi di ossidazione/degrado, sagomate in coerenza con l'attuale configurazione di estradosso delle falde al fine di garantire una continuità estetica con l'attuale situazione.

Si prevede inoltre la sostituzione del canale di gronda esterno con una nuova lamiera in zinco-titanio sagomata secondo l'attuale disegno della gronda.

Gli elementi decorativi in lamina metallica che scendono dall'attuale gronda saranno preventivamente sganciati previa numerazione e catalogazione, recuperati mediante rimozione delle vernici presenti e successivo trattamento passivante e di finitura, ed infine riposizionate sul nuovo canale di gronda nella loro posizione originaria.

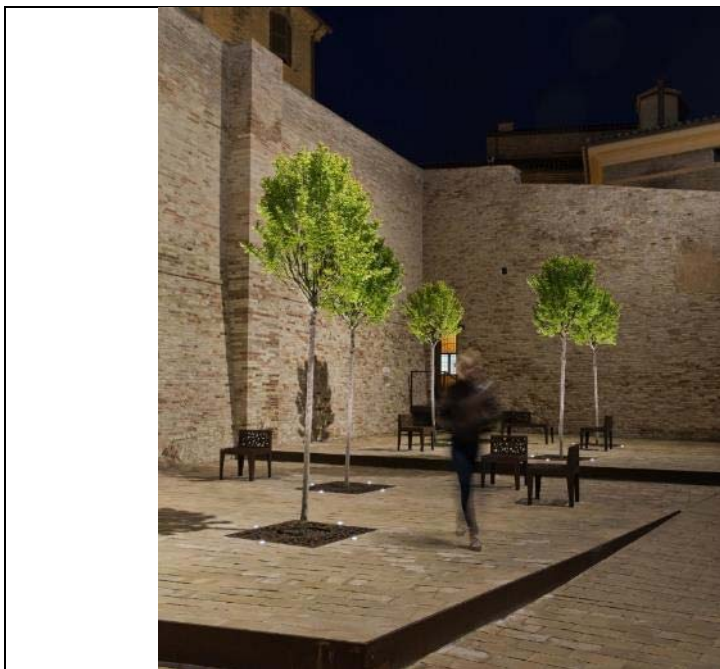


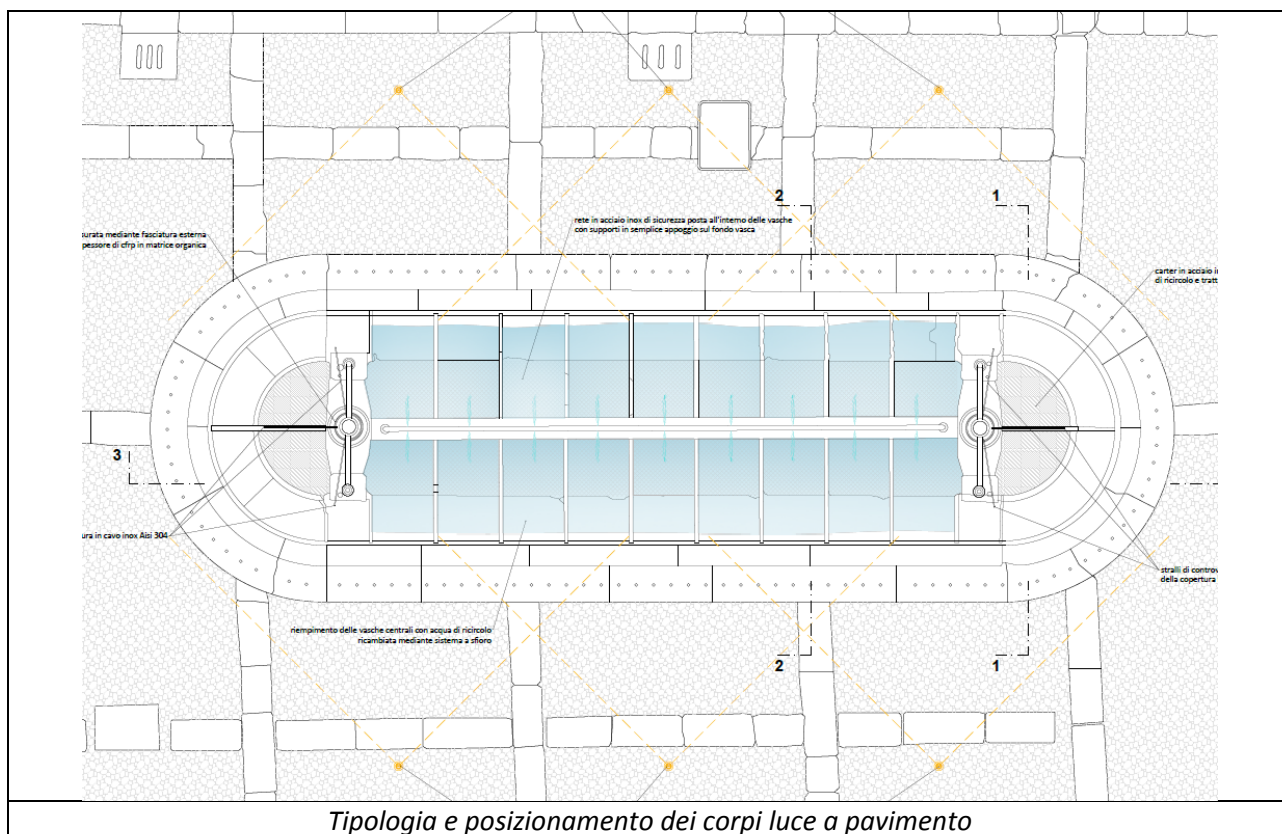
A livello della pavimentazione esterna si prevede la sostituzione degli elementi in cls danneggiati di copertura del canale di scarico posto perimetralmente al lavatoio, ed il ripristino delle aree dissestate del pavimento a Rizzata.



Zona dissestata della pavimentazione in acciottolato della piazzetta

A livello della pavimentazione saranno infine installati 3+3 corpi illuminanti ad incasso di piccolo diametro (50mm) del tipo “i-Guzzini Light Up Orbit” riportato di seguito, funzionali all’illuminazione serale e notturna del lavatoio, comandati mediante un sensore crepuscolare.





Tipologia e posizionamento dei corpi luce a pavimento

2.2 LAVATOIO DI VIA BORGO CANALE

Il progetto prevede in sintesi la realizzazione di un intervento di restauro conservativo delle superfici murarie che perimetrano il lavatoio e lo separano dalla via Borgo Canale, delle vasche in cemento e del relativo basamento in blocchi di arenaria, e di tutte le componenti metalliche “strutturali” che compongono la copertura e la recinzione di lato sud. Per quanto concerne la copertura, come meglio illustrato nel prosieguo della presente relazione, si rende necessario un intervento di consolidamento strutturale finalizzato al rinforzo di alcuni degli elementi portanti, non in grado di reggere i carichi imposti dalla vigente normativa. L'intervento consisterà nella locale integrazione delle sezioni metalliche esistenti mediante un affiancamento con nuovi elementi di caratteristiche analoghe.

Si prevedono altresì alcune operazioni di riqualificazione e rifunzionalizzazione del manufatto consistenti in specifico nel rifacimento della pavimentazione esterna in battuto di cls con un nuovo pavimento di cls avente una maggior valenza estetica; nella sostituzione delle lamiere di rivestimento e degli elementi terminali della copertura con un nuovo sistema in lamiera di zinco-titanio “aggraffata”; nell'installazione di un nuovo impianto di illuminazione architettuale con sensori crepuscolari.

2.2.1 RESTAURO DELLE MURATURE PERIMETRALI E DI INGRESSO

Il restauro delle superfici murarie d'ambito è volto ad arrestare i fenomeni di erosione e degrado, ad eliminare i depositi, la patina biologica e la vegetazione presenti sui paramenti senza intaccare il materiale sottostante, tramite pulitura, rimozione di prodotti incompatibili, stuccatura e consolidamento materico.

Per le aree di muratura caratterizzate dalla presenza di riprese cementizie incompatibili si propone la rimozione meccanica delle stesse mediante attrezzi manuali, ponendo particolare attenzione a non danneggiare il supporto murario sottostante.

Per le parti ad intonaco maggiormente deteriorate caratterizzate da lacune estese e da fenomeni di decoesione e/o distacco dell'intonaco e della pellicola pittorica si propone una pulitura con spazzole morbide e acqua per la rimozione dei depositi e delle parti più deteriorate in fase di distacco. Preliminarmente sarà eseguito in modo diffuso un trattamento di disinfestazione con asportazione meccanica della vegetazione e l'applicazione a pennello di biocida.

Nelle zone caratterizzate dalla presenza di efflorescenze saranno effettuate operazioni localizzate di estrazione dei sali mediante impacchi con acqua demineralizzata.

Si procederà quindi con le operazioni di stuccatura delle lacune e delle diverse soluzioni di continuità presenti sugli intonaci con malte compatibili opportunamente campionate, mediante l'applicazione di uno o più strati e la successiva pulitura e revisione cromatica dei bordi di stuccatura.

Al termine delle integrazioni sarà effettuato un riaccordo cromatico complessivo mediante doppia velatura ai silicati di potassio.

Saranno condotte preventive prove per ogni operazione di restauro prevista, su una superficie sufficiente a valutare i risultati (circa 1mq) secondo le indicazioni della D.L.

2.2.2 RESTAURO DEL LAVATOIO E DEL BASAMENTO IN ARENARIA

Il restauro delle vasche in graniglia del lavatoio è finalizzato alla conservazione delle stesse, mediante operazioni di pulitura del particellato più o meno ancorato mediante spazzole morbide, getto d'acqua a bassa pressione ed eventuale impiego di applicazioni locali con acqua micronizzata mediante nebulizzazione.

Si procederà quindi con le operazioni di microstuccatura delle fessurazioni e di stuccatura delle lacune e delle diverse soluzioni di continuità presenti sugli intonaci con malte compatibili opportunamente campionate, e la successiva pulitura e revisione cromatica dei bordi di stuccatura.

Sul basamento in blocchi di arenaria si procederà attraverso una prima fase di pulitura per l'asportazione dei depositi, a secco con aspiratori, e all'asportazione delle infestanti superiori. Si procederà quindi con l'applicazione diffusa a pennello di biocida, e con l'asportazione manuale dei residui organici rimasti. Al termine del ciclo di disinfezione sarà effettuato un

lavaggio con spazzole/spugne. Si eseguiranno quindi operazioni localizzate di microstuccatura degli allettamenti lacunosi e delle limitate fratture presenti con malte compatibili preventivamente campionate.



Dettaglio di uno dei lavatoi in cemento oggetto di intervento

Gli elementi in ferro delle vasche saranno sottoposti a una pulitura mediante spazzole leggermente abrasive e/o con applicazione di soluzione di EDTA sale bisodico e tetrasodico, per l'asportazione dei depositi di corrosione e di patine. Applicazione di un ciclo passivante mediante preventiva applicazione di una mano di minio oleofenolico, e successivo trattamento antiruggine mediante fosfato di zinco in veicolo oleofenolico. Mano di finitura finale con smalto oleofenolico.

Saranno condotte preventive prove per ogni operazione di restauro prevista, su una superficie sufficiente a valutare i risultati (circa 0.50mq) secondo le indicazioni della D.L.

2.2.3 RESTAURO E CONSOLIDAMENTO DEGLI ELEMENTI METALLICI DELLA COPERTURA

Gli elementi in ferro che compongono la struttura portante della copertura saranno sottoposti a una pulitura con impiego di spazzole leggermente abrasive e/o con applicazione locale di soluzione di EDTA sale bisodico e tetrasodico, per l'asportazione dei depositi di corrosione e di patine, avendo cura di proteggere con idonei teli le strutture murarie adiacenti.

Nelle zone di particolare consunzione delle sezioni resistenti sarà eventualmente valutata l'esecuzione di operazioni locali di reintegrazione della sezione mediante taglio meccanico della zona compromessa con dischi abrasivi di precisione, sagomatura di nuovi elementi in ferro secondo le forme della parte preesistente asportata, posizionamento e collegamento mediante saldatura a completa penetrazione delle stesse, con rifinitura finale delle zone di saldatura mediante micro frese e/o punte abrasive.



Dettaglio di una zona particolarmente degradata di appoggio inferiore di una mensola portante della copertura

Per gli elementi portanti risultati non idonei dal punto di vista strutturale, a seguito delle verifiche statiche condotte, si prevede l'esecuzione degli interventi locali di consolidamento descritti in dettaglio nella Scheda di restauro allegata al progetto.

L'intervento procederà con l'applicazione di un ciclo passivante mediante preventiva applicazione di una mano di minio oleofenolico, ed il successivo trattamento antiruggine mediante fosfato di zinco in veicolo oleofenolico.

La fase finale del lavoro comprenderà la finitura con una mano di smalto oleofenolico nel colore selezionato a seguito di apposita campionatura preventiva.

2.2.4 RESTAURO DEGLI ELEMENTI METALLICI DELLA RECINZIONE ESTERNA

Gli elementi in ferro che compongono la recinzione esterna, compresa la cancellata dell'ingresso centrale, saranno sottoposti a una pulitura con impiego di spazzole leggermente abrasive e/o con applicazione locale di soluzione di EDTA sale bisodico e tetrasodico, per l'asportazione dei depositi di corrosione e di patine, avendo cura di proteggere con idonei teli le strutture murarie adiacenti.

Nelle zone di particolare consunzione delle sezioni resistenti si eseguiranno operazioni locali di reintegrazione della sezione mediante taglio meccanico della zona compromessa con dischi abrasivi di precisione, sagomatura di nuovi elementi in ferro secondo le forme della parte preesistente asportata, posizionamento e collegamento mediante saldatura a completa penetrazione delle stesse, con rifinitura finale delle zone di saldatura mediante micro frese e/o punte abrasive.

Il cardine superiore dell'alta destra del cancello sarà oggetto di una apposita verifica della parte innestata nella colonna. Si procederà quindi alla rimozione provvisoria del capitello soprastante e alla verifica delle condizioni della zanca metallica di innesto, prevedendo la sua eventuale sostituzione nel caso di rottura o eccessivo deterioramento.

Sarà quindi eseguito il corretto inghisaggio del perno metallico nel fusto della colonna mediante malta espansiva e si procederà al consolidamento dello spigolo lesionato della colonna mediante incollaggio con resina e l'inserimento di perni passanti in acciaio inox. Si procederà quindi alla ricollocazione del capitello mediante idoneo imperniaggio con perni inox dello stesso sul fusto, e mediante allettamento con malta strutturale tixotropica di allettamento.



L'intervento procederà con l'applicazione su tutte le parti metalliche di un ciclo passivante mediante preventiva applicazione di una mano di minio oleofenolico, ed il successivo trattamento antiruggine mediante fosfato di zinco in veicolo oleofenolico.

La fase finale del lavoro comprenderà la finitura con una mano di smalto oleofenolico nel colore selezionato a seguito di apposita campionatura preventiva.

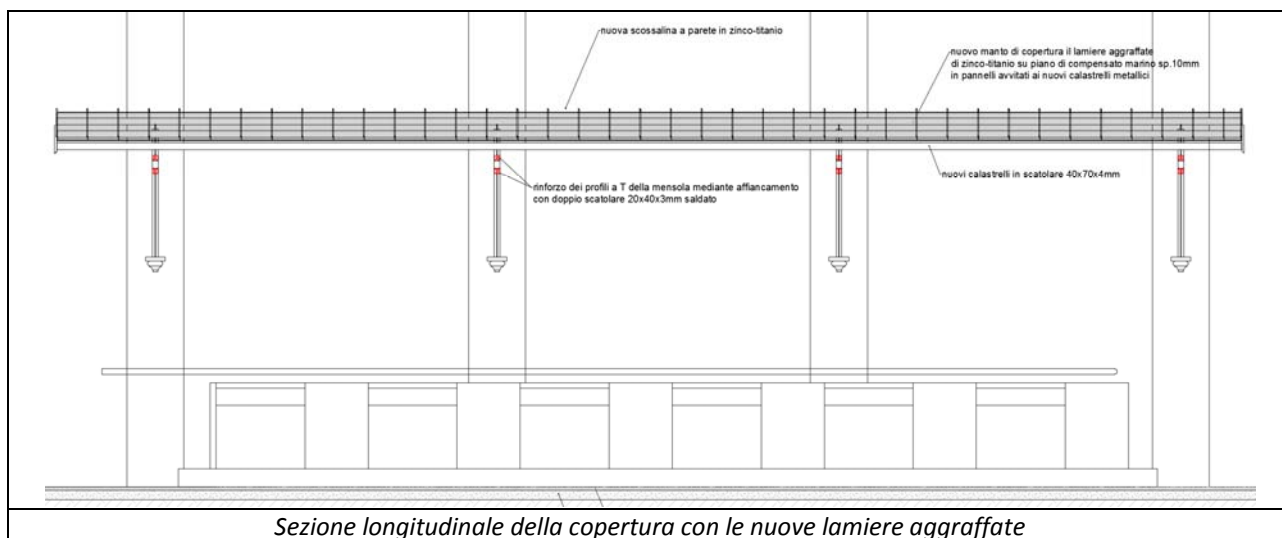
2.2.5 INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE DEL LAVATOIO

L'appalto prevede ulteriormente i seguenti interventi di recupero funzionale e riqualificazione del manufatto, finalizzati da un lato alla sostituzione di quegli elementi che ormai risultano compromessi, e chiamati dall'altro ad una valorizzazione della struttura sotto il profilo della sua percezione, della sua conoscenza e del suo potenziale riutilizzo da parte della collettività.

La priorità in questo senso è certamente data alla sostituzione del sistema di rivestimento della copertura e di raccolta delle acque meteoriche, oggi completamente compromesso e principale causa della marcata progressione registrata dei fenomeni di degrado del lavatoio.

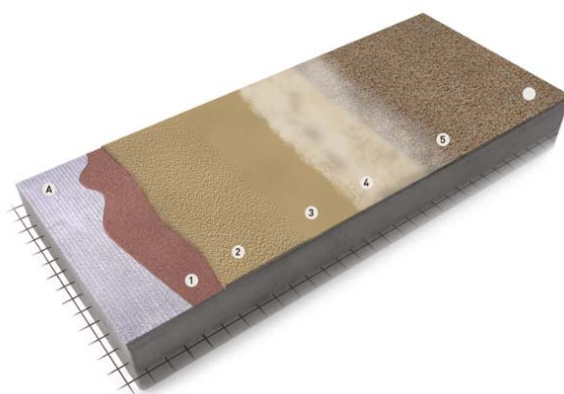
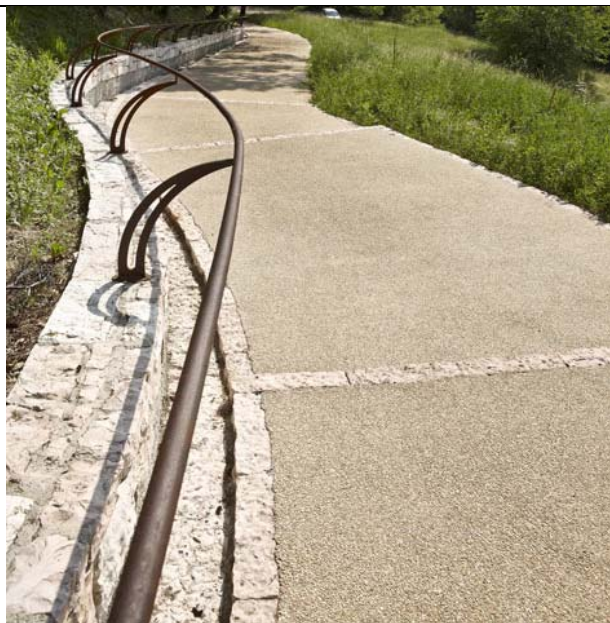
Il progetto prevede dunque l'integrale sostituzione dell'attuale manto di copertura in lamiera ondulata, con un nuovo sistema basato sull'impiego di lastre aggraffate in zinco-titanio, pressoché esenti da problemi di ossidazione/degrado, impostate su un piano continuo sottostante in pannelli di legno compensato marino di 10mm di spessore, ovvero di un tavolato in legno maschato, avvitati sulla sottostruttura metallica.

Si prevede inoltre la sostituzione del canale di gronda esterno e della scossalina di attacco a parete mediante elementi sagomati in zinco-titanio delle medesime dimensioni di quelli attualmente esistenti.



Per quanto riguarda la pavimentazione esterna in cemento esistente e il canale di raccolta delle acque piovane si prevede:

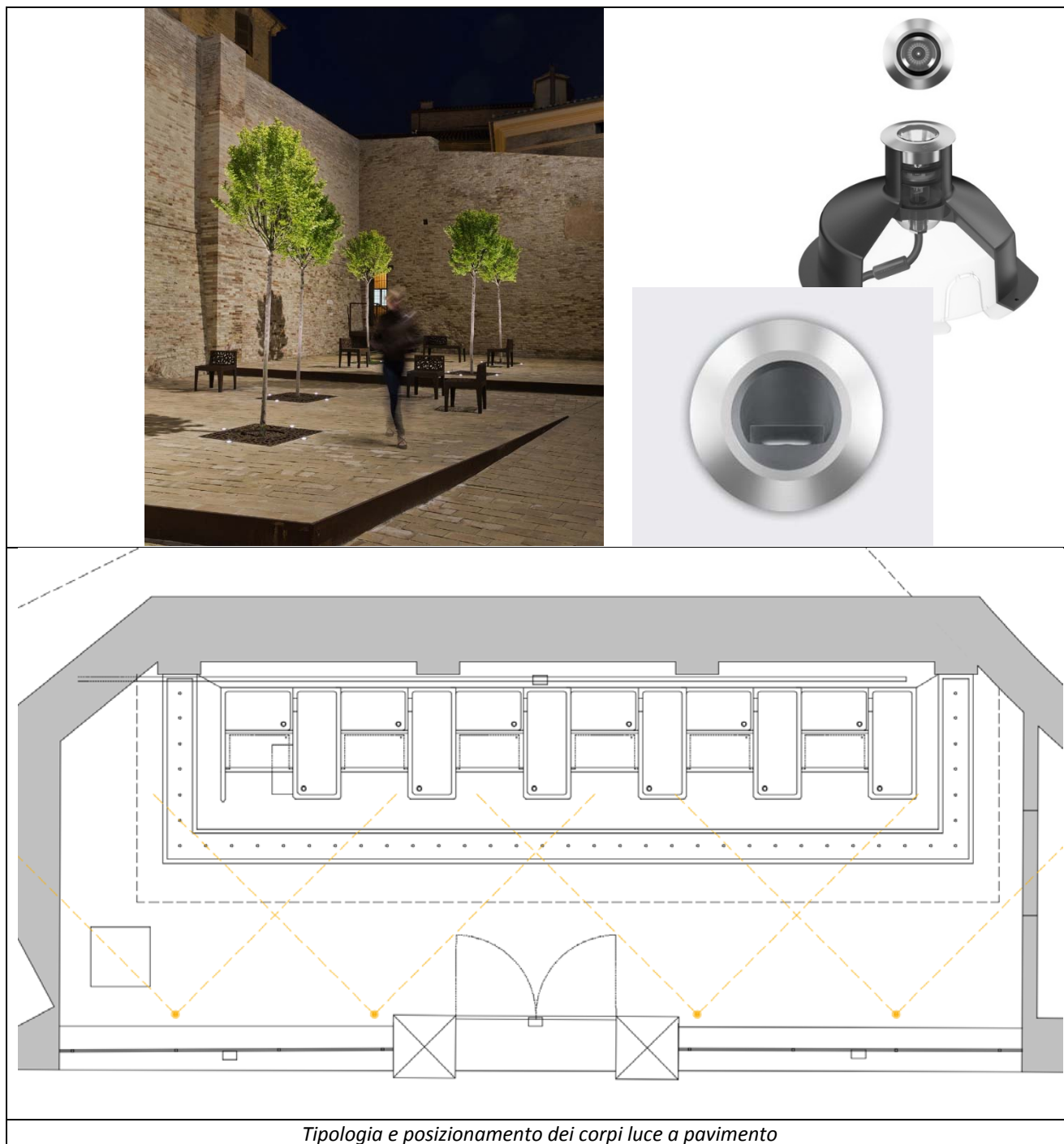
- la parziale sostituzione delle lastre forate di cls di chiusura del canale che risultano rotte e non recuperabili, con nuovi elementi prefabbricati di caratteristiche analoghe;
- verifica e pulitura del canale sotto pavimento con sistemazione del pozzetto interrato;
- demolizione del pavimento esistente in battuto di cemento;
- formazione di nuovo pavimento in calcestruzzo con inerte a vista (rif. Immagini di riferimento allegate);



- A. Formazione di nuovo massetto in cls sp.10cm
1. Stesura primer d'aggancio
 2. Stesura impasto Sassoitalia
 3. Lisciatura
 4. Applicazione disattivatore superficiale
 5. Lavaggio

Tipologia di pavimento in cls previsto

A livello del nuovo pavimento saranno infine installati 4 corpi illuminanti ad incasso di piccolo diametro (50mm) del tipo "i-Guzzini Light Up Orbit" riportato di seguito, funzionali all'illuminazione serale e notturna del lavatoio, comandati mediante un sensore crepuscolare.



3. NORME PER LA MISURAZIONE E LA VALUTAZIONE DEI LAVORI

NORME PER LA MISURAZIONE E VALUTAZIONE DEI LAVORI

A meno di indicazioni diverse esplicitate nelle singole voci di prezzo, le norme di misurazione per la contabilizzazione sono le seguenti.

3.1.1 SCAVI IN GENERE

In aggiunta ai particolari obblighi emergenti dal presente articolo, con i prezzi di elenco per gli scavi in genere, l'Appaltatore dovrà ritenersi compensato per tutti gli oneri che dovrà affrontare:

- per taglio di piante, estirpazione di ceppaie, radici ecc.;
- per il taglio e lo scavo con qualsiasi mezzo delle materie sia asciutte che bagnate, di qualsiasi consistenza ed anche in presenza d'acqua;
- per paleggi, innalzamento, carico, trasporto e scarico a rinterro od a rifiuto entro i limiti previsti in elenco prezzi, sistemazione delle materie di rifiuto, deposito provvisorio e successiva ripresa;
- per la regolazione delle scarpate o pareti, per lo spianamento del fondo, per la formazione di gradoni, attorno e sopra le condotte di acqua od altre condotte in genere, e sopra le fognature o drenaggi secondo le sagome definitive di progetto;
- per puntellature, sbatacchiature ed armature di qualsiasi genere ed entità, secondo tutte le prescrizioni contenute nel presente Capitolato compresi, le composizioni, scomposizioni, estrazioni ed allontanamento, nonché sfridi, deterioramenti, perdite parziali o totali del legname o dei ferri;
- per impalcature, ponti e costruzioni provvisorie, occorrenti sia per il trasporto delle materie di scavo sia per la formazione di rilevati, per passaggi, attraversamenti ecc.;
- per ogni altra spesa necessaria per l'esecuzione completa degli scavi.

La misurazione degli scavi dovrà essere effettuata nei seguenti modi:

- a) il volume degli scavi di sbancamento dovrà essere determinato col metodo delle sezioni ragguagliate, in base ai rilevamenti eseguiti in contraddittorio con l'Appaltatore, prima e dopo i relativi lavori;
- b) gli scavi di fondazione (di sbancamento, a sezione obbligata o a sezione ristretta) saranno computati, per un volume uguale a quello risultante dal prodotto della base di fondazione per la sua profondità sotto il piano degli scavi di sbancamento; oppure dal terreno naturale, quando lo scavo di sbancamento non verrà effettuato. Al volume così calcolato si applicheranno i vari prezzi fissati nell'elenco per tali scavi; vale a dire che essi saranno valutati sempre come eseguiti a pareti verticali poiché, ogni maggiore scavo, si riterrà già compreso e compensato col prezzo unitario di elenco. Nel caso di scampanature messe in opera nella parte inferiore degli scavi, i relativi volumi dovranno essere valutati geometricamente, suddividendoli in figure elementari semplici ovvero, applicando il metodo delle sezioni ragguagliate; inoltre, per gli scavi di fondazione da eseguire con impiego di sbatacchiature, paratie o simili strutture, sarà incluso nel volume di scavo per fondazione anche lo spazio occupato dalle strutture stesse. I prezzi di elenco, relativi agli scavi di fondazione, saranno applicabili unicamente e rispettivamente ai volumi di scavo compresi fra piani orizzontali consecutivi, stabiliti per diverse profondità, nello stesso elenco dei prezzi. Pertanto la valutazione dello scavo risulterà definita, per ciascuna zona, dal volume ricadente nella zona stessa e dall'applicazione ad esso del relativo prezzo di elenco.
- c) Scavi subacquei: i sovrapprezzi per questo tipo di scavi, in aggiunta al prezzo degli scavi di fondazione dovranno essere pagati al metro cubo secondo le precedenti modalità (lettera b) con appositi sovrapprezzi relativamente alle zone sommerse, a partire dal piano orizzontale posto a quota 0,20 m sotto il livello normale dell'acqua, procedendo verso il basso. Il nolo della motopompa, utilizzata al fine di eseguire i prosciugamenti, sarà pagato all'Appaltatore a parte.
- d) Scavi archeologici: i sovrapprezzi per questo tipo di scavi, in aggiunta al prezzo degli scavi di fondazione dovranno essere pagati al metro cubo secondo le modalità indicate alla lettera b) del presente articolo con

opportuni sovrapprezzi relativi alla specifica morfologia del sito. L'onere del vaglio del terriccio e la custodia dei reperti in appositi contenitori, sarà compreso nel prezzo indicato.

3.1.2 RILEVATI E RINTERRI

Il volume dei rilevati o rinterri dovrà essere determinato con il metodo delle sezioni ragguagliate, in base a rilevamenti eseguiti come per gli scavi di sbancamento. I rinterri di scavi a sezione ristretta saranno valutati a m³ per il loro volume effettivo misurato in opera. Nei prezzi di elenco sono previsti tutti gli oneri per il trasporto dei terreni da qualsiasi distanza e per gli eventuali indennizzi a cave di prestito..

3.1.3 RIEMPIMENTO CON MISTO GRANULARE A SECCO

Il riempimento con misto granulare a ridosso delle murature per drenaggi, vespai ecc., sarà valutato a metro cubo per il suo volume effettivo misurato in opera.

3.1.4 PALIFICAZIONI

Il diametro (o la sezione) dei pali dovrà essere computato nel mezzo della loro lunghezza; per i pali lignei la misurazione avverrà previa operazione di scoratura. La lunghezza di infissione si otterrà dalla differenza tra la lunghezza complessiva del palo, prima della messa in opera, e la lunghezza della parte affiorante dal terreno dopo l'infissione. Per gli elementi in legno, sarà compreso nel prezzo la lavorazione della punta del palo e la messa in opera della puntazza escluso il costo del ferro.

3.1.5 PARATIE E CASSERI IN LEGNAME

Saranno calcolate in riferimento alla loro superficie effettiva; nel relativo prezzo di elenco si intenderà remunerata ogni fornitura necessaria di legname, ferramenta, ogni sfrido nonché ogni spesa per la lavorazione, la messa in opera e quanto altro occorra per fornire le opere complete e finite a regola d'arte.

3.1.6 RIMOZIONI E DEMOLIZIONI

I prezzi relativi ai lavori che ammettono demolizioni, anche parziali, dovranno intendersi sempre compensati di ogni onere per il recupero del materiale riutilizzabile e per il carico e trasporto a rifiuto di quello non riutilizzabile.

- a) Demolizione di murature: verrà, in genere, pagata a volume di muratura concretamente demolita, comprensiva di intonaci e rivestimenti a qualsiasi altezza; tutti i fori, pari o superiori a 2 m², verranno sottratti. Potrà essere accreditata come demolizione in breccia quando il vano utile da ricavare non supererà la superficie di 2 m², ovvero, in caso di demolizione a grande sviluppo longitudinale, quando la larghezza non supererà i 50 cm. L'appaltatore potrà re-impiegare i materiali di recupero, valutandoli come nuovi, in sostituzione di quelli che egli avrebbe dovuto approvvigionare ossia, considerando lo stesso prezzo fissato per quelli nuovi oppure, in assenza del prezzo, utilizzando il prezzo commerciale detratto, in ogni caso, del ribasso d'asta. L'importo complessivo dei materiali così valutati verrà detratto dall'importo netto dei lavori.
- b) Demolizione di tramezzi: dovrà essere valutata secondo l'effettiva superficie (m²) dei tramezzi, o delle porzioni realmente demolite, comprensive degli intonaci o rivestimenti; detraendo eventuali aperture dimensionalmente pari o superiori a 2 m².
- c) Demolizione di intonaci e rivestimenti: la demolizione, a qualsiasi altezza, degli intonaci dovrà essere computata secondo l'effettiva superficie (m²) asportata detraendo eventuali aperture dimensionalmente pari o superiori a 2 m², misurata la luce netta, valutando a parte la riquadratura solo nel caso in cui si tratti di murature caratterizzate da uno spessore maggiore di 15 cm.
- d) Demolizione di pavimenti: dovrà essere calcolata, indipendentemente dal genere e dal materiale del pavimento per la superficie compresa tra le pareti intonacate dell'ambiente; la misurazione comprenderà l'incassatura dei pavimenti nell'intonaco. Il prezzo sarà comprensivo dell'onere della, eventuale, demolizione dello zoccolino battiscopa indipendentemente dalla natura.

- e) Rimozione e/o demolizione dei solai: questa operazione dovrà essere valutata a superficie (m^2) in base alle luci nette delle strutture. Nel prezzo delle rimozioni e/o demolizioni dei solai saranno comprese:
 - la demolizione del tavolato con sovrastante cretonato o sottofondo e dell'eventuale soffitto su arellato o rete se si tratta di struttura portante in legno;
 - la demolizione completa del soffitto e del pavimento, salvo che non risulti prescritta e compensata a parte la rimozione accurata del pavimento, se si tratta di struttura portante in ferro;
 - la demolizione del pavimento e del soffitto, salvo che non risulti prescritta la rimozione accurata del pavimento se si tratta del tipo misto in c.a. e laterizio.
- f) Rimozione della grossa orditura del tetto: dovrà essere computata al metro quadrato misurando geometricamente la superficie delle falde del tetto senza detrarre eventuali fori. Nel caso la rimozione interessi singoli elementi o parti della grossa orditura, verrà computata solamente la parte interessata; nel prezzo dovrà essere compensato anche l'onere della rimozione di eventuali dormienti.

3.1.7 MURATURE

3.1.7.1 MURATURE IN GENERE

Tutte le murature in genere, salvo le eccezioni di seguito specificate, dovranno essere misurate geometricamente, a volume od a superficie, in riferimento alla specifica categoria e in base a misure prese sul vivo ovvero escludendo gli intonaci. Dovranno essere detratti tutti i vuoti di luce superiore a $1,00 m^2$ e i vuoti di canne fumarie, canalizzazioni ecc., caratterizzati da una sezione superiore a $0,25 m^2$, in quest'ultimo caso rimarrà all'Appaltatore, l'onere della loro eventuale chiusura con materiale in cotto. Dovrà, inoltre, essere detratto il volume corrispondente alla parte incastrata di pilastri, piattabande ecc., di strutture diverse, nonché di pietre naturali od artificiali, da pagarsi con altri prezzi di tariffa.

I prezzi unitari delle murature di qualsiasi genere, qualora non debbano essere eseguite con paramento di faccia vista, s'intenderanno comprensivi di rinzafo delle facce visibili dei muri. Il rinzafo dovrà essere sempre eseguito e sarà compreso nel prezzo unitario, anche nel caso di muri che dovranno essere poi caricati a terrapieni; per questi ultimi dovrà, inoltre, essere compresa la, eventuale, formazione di feritoie regolari e regolarmente disposte per lo scolo delle acque ed in generale quella delle ammorsature e la costruzione di tutti gli incastri per la posa in opera della pietra da taglio od artificiale. I prezzi della muratura di qualsiasi specie si intenderanno compresi di ogni onere per la formazione di spalle, sguinci, canne, spigoli, strombature, incassature per imposte di archi, volte e piattabande.

Le murature, qualunque sia la loro curvatura in pianta o in sezione anche se costruite sotto raggio, non potranno essere comprese nella categoria delle volte; dovranno essere pertanto, valutate con i prezzi delle murature rotte senza alcuna maggiorazione di compenso.

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

Quando la muratura in aggetto è diversa da quella del muro sul quale insiste, la parte incastrata dovrà essere considerata della stessa natura della muratura.

Le murature di mattoni ad una testa od in foglio dovranno essere misurate a vuoto per pieno, al rustico, deducendo soltanto le aperture di superficie uguale o superiore a $1 m^2$, intendendo nel prezzo compensata la formazione di sordini, spalle, piattabande ecc., nonché eventuali intelaiature in legno che la D.L. ritenga opportuno di ordinare allo scopo di fissare i serramenti al telaio, anziché alla parete.

Le volte, gli archi e le piattabande, in conci di pietra o mattone in spessore superiore ad una testa, dovranno essere pagati a volume (m^3) e, a secondo del tipo, struttura e provenienza dei materiali impiegati, con i prezzi di elenco con i quali si intendono remunerate tutte le forniture, e le lavorazioni per fornire la struttura voltata finita con tutti i giunti delle facce viste frontali e dell'intradosso profilati e stuccati. Le volte, gli archi e le piattabande in mattoni in foglio o ad una testa dovranno essere liquidate a superficie (m^2), come le analoghe murature.

3.1.7.2 MURATURE IN PIETRA DA TAGLIO

La pietra da taglio da pagarsi a volume dovrà essere sempre valutata al metro cubo in base al volume del primo parallelepipedo retto rettangolare, circoscrivibile a ciascun pezzo. Le lastre, i lastroni e gli altri pezzi da pagarsi a superficie (m²), dovranno essere valutati in base al minimo rettangolo circoscrivibile.

Per le pietre di cui una parte viene lasciata grezza, si comprenderà anche questa nella misurazione, non tenendo però alcun conto delle eventuali maggiori sporgenze della parte non lavorata in confronto delle dimensioni assegnate dai tipi prescritti.

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

3.1.7.3 PARAMENTI IN FACCIA-VISTA

I prezzi stabiliti per le lavorazioni faccia a vista, da pagare separatamente dalle murature, comprendono il compenso per i piani di posa e di connessura, per la lavorazione faccia vista e qualunque altro eventuale costo del pietrame di rivestimento allorché questo sia previsto di qualità e provenienza differente da quello del materiale impiegato per la costruzione della muratura interna.

La misurazione dei paramenti in pietrame e delle cortine in mattoni verrà eseguita per la loro superficie effettiva (m²), dedotti i vuoti e le parti occupate da pietra da taglio o artificiale.

3.1.8 CALCESTRUZZI

I calcestruzzi per fondazioni, murature, volte, ecc. e le strutture costituite da getto in opera, dovranno essere in genere pagati a metro cubo e misurati in opera in base alle dimensioni prescritte, esclusa quindi ogni eccedenza, ancorché inevitabile, dipendente dalla forma degli scavi aperti e dal modo di esecuzione dei lavori.

Nei relativi prezzi oltre agli oneri delle murature in genere, s'intenderanno compensati tutti gli oneri specificati nelle norme sui materiali e sui modi di esecuzione.

3.1.9 CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO

Il conglomerato per opere in cemento armato di qualsiasi natura e spessore sarà valutato per il suo volume effettivo, senza detrazione del volume del ferro che verrà pagato a parte.

Quando si tratta di elementi a carattere ornamentale gettati fuori opera (pietra artificiale), la misurazione dovrà essere effettuata in ragione del minimo parallelepipedo retto a base rettangolare circoscrivibile a ciascun pezzo, e il relativo prezzo dovrà intendersi compreso, oltre che del costo dell'armatura metallica, di tutti gli oneri specificati nelle norme sui materiali e sui modi di esecuzione, nonché la posa in opera, sempreché non sia pagata a parte.

I casseri, le casseforme e le relative armature di sostegno, se non comprese nei prezzi di elenco del conglomerato cementizio, dovranno essere computati separatamente con i relativi prezzi di elenco. Pertanto, per il compenso di tali opere, bisognerà attenersi a quanto previsto nell'Elenco dei Prezzi Unitari.

Nei prezzi del conglomerato saranno inoltre compresi tutti gli oneri derivanti dalla formazione di palchi provvisori di servizio, dall'innalzamento dei materiali, qualunque sia l'altezza alla quale l'opera di cemento armato dovrà essere eseguita, nonché per il getto e la vibratura.

Il ferro tondo per armature di opere di cemento armato di qualsiasi tipo (nonché la rete elettrosaldata) sarà valutato secondo il peso effettivo; nel prezzo, oltre alla lavorazione e allo sfrido, sarà compreso l'onere della legatura dei singoli elementi e la posa in opera dell'armatura stessa.

3.1.10 SOLAI (ORIZZONTAMENTI)

I solai interamente di cemento armato (senza laterizi) dovranno essere valutati al metro cubo come ogni altra opera di cemento armato.

Ogni altro tipo di solaio, qualunque sia la forma, dovrà invece essere pagato al metro quadrato di superficie netta misurato al rustico delle murature perimetrali (ovvero all'interno di eventuali cordoli e/o travi di calcestruzzo) esclusi, quindi, la presa e l'appoggio sulle murature portanti o cordoli perimetrali o travi di calcestruzzo.

Nei prezzi dei solai in genere risulterà compreso l'onere per lo spianamento superiore della caldana, nonché ogni opera e materiale occorrente per dare il solaio completamente finito, come prescritto nelle norme sui materiali e sui modi di esecuzione. Nel prezzo dei solai misti in cemento armato e laterizio, o tipo prefabbricato (anche predalles) saranno escluse la fornitura, lavorazione e posa in opera del ferro occorrente, sarà, al contrario, compreso il noleggio delle casseforme e delle impalcature di sostegno di qualsiasi entità, con tutti gli oneri specificati per le casseforme dei cementi armati.

Il prezzo al metro quadrato dei solai suddetti verrà applicato senza alcuna maggiorazione anche a quelle porzioni in cui, per resistere a momenti negativi, il laterizio viene sostituito da calcestruzzo; in questo caso però dovranno essere pagati a parte tutti i cordoli perimetrali relativi ai solai stessi.

Nel prezzo dei solai con profilati in ferro e voltine od elementi in laterizio (tavelle, tavelloni, volterrane ecc.) dovrà essere inclusa l'incombenza per ogni armatura provvisoria per il rinfiacco, nonché per ogni opera e materiale necessario per fornire il solaio completamente finito e pronto per la pavimentazione e per l'intonaco intradossale; resteranno esclusi i profilati di ferro che dovranno essere pagati a parte (vedi lavori in metallo).

Nel prezzo dei solai lignei resta fuori il legname per le travi principali che dovrà essere liquidato a parte sarà invece compreso ogni onere per fornire il solaio completo e finito a regola d'arte.

3.1.11 COPERTURE A FALDA (SOLAI INCLINATI)

I solai inclinati (ossia le coperture in genere) dovranno essere computati al metro quadrato, determinando le dimensioni della proiezione orizzontale della superficie delle falde del tetto senza sottrarre i vani adibiti a comignoli, abbaini, lucernari o ad altre parti sporgenti dalla copertura, purché non eccedenti, ciascuno di essi, la superficie di 1 m²; in questo caso dovranno essere sottratti per intero. Non dovranno essere considerate sovrapposizioni ed adiacenze dei giunti. Nel prezzo delle coperture saranno compresi tutti gli oneri specificati nelle norme sui materiali e sui modi di esecuzione salvo la grossa armatura (capriate, puntoni, arcarecci, terzere, colmi ecc.), l'isolamento termico, l'impermeabilizzazione, le gronde ed i pluviali che verranno valutati a parte.

3.1.12 MANTO DI COPERTURA

Il manto di copertura dovrà essere computato al metro quadrato, misurando geometricamente le superfici delle falde del tetto, senza sottrarre i vani adibiti a comignoli, abbaini, lucernari ed altre parti sporgenti dalla copertura, purché non eccedenti, ciascuno di essi, la superficie di 1 m²; in questo caso dovranno essere sottratti per intero. Le eventuali lastre di piombo, zinco o ferro messe in opera sulla copertura per i compluvi ovvero all'estremità delle falde, intorno ai lucernari, agli abbaini, ai comignoli ecc., saranno pagate a parte coi prezzi fissati in elenco per questi materiali.

3.1.13 CONTROSOFFITTI

I controsoffitti piani dovranno essere pagati in base alla superficie (m²) della loro proiezione orizzontale; nel prezzo, sarà compreso e compensato anche il raccordo con eventuali muri perimetrali curvi. I controsoffitti a finta volta, di qualsiasi forma e monta, saranno valutati per una volta e mezzo la superficie della loro proiezione orizzontale. Nel prezzo dei controsoffitti saranno comprese e compensate tutte le forniture, magisteri e mezzi d'opera per realizzare le strutture finite in opera così come prescritto nelle norme sui materiali e sui modi di esecuzione, risulterà esclusa e compensata a parte l'orditura portante principale.

3.1.14 VESPAI

Nei prezzi dei vespai è compreso ogni onere per la fornitura di materiali e posa in opera come prescritto nelle norme sui modi di esecuzione. La valutazione dovrà essere effettuata al metro cubo, di materiali in opera se si tratterà di vespai di ciottoli o pietrame; in metri quadrati di superficie dell'ambiente se si tratterà di vespai in laterizio (gattaiolati).

3.1.15 MASSETTI

L'esecuzione di massetti in calce idraulica naturale o cemento a vista ovvero massetti di sottofondo normali o speciali (alleggeriti, strutturali ecc.) dovrà essere computata secondo i metri cubi effettivamente realizzati e computati a lavoro eseguito. Il prezzo comprenderà il conglomerato, le sponde per il contenimento del getto, l'eventuale rete elettrosaldata prescritta, la preparazione e compattazione delle superfici sottostanti, la lisciatura finale con mezzi meccanici, la creazione di giunti nonché tutte le lavorazioni necessarie per l'esecuzione dei lavori richiesti.

3.1.16 PAVIMENTI

I pavimenti, indipendentemente dalla tipologia, dovranno essere valutati per la superficie (m²) vista tra le pareti intonacate dell'ambiente; la misura non comprenderà l'incassatura dei pavimenti nell'intonaco.

I prezzi di elenco per ciascun genere di pavimento comprenderanno l'onere per la fornitura dei materiali e per ogni lavorazione intesa a dare i pavimenti stessi completi e rifiniti come prescritto nelle norme sui materiali e sui modi di esecuzione, escluso il sottofondo che verrà invece pagato a parte, per il suo volume effettivo (m³) in opera, in base al corrispondente prezzo di elenco.

Ogni prezzo relativo ai pavimenti, anche nel caso di sola posa in opera, si intenderà compreso degli oneri, delle opere di ripristino e di raccordo con gli intonaci, qualunque sia l'entità delle opere stesse.

3.1.17 RIVESTIMENTI DI PARETI

I rivestimenti di piastrelle o di mosaico dovranno essere misurati per la superficie effettiva (m²) qualunque sia la sagoma e la posizione delle pareti da rivestire. Nel prezzo al metro quadrato saranno comprese e computate nella misurazione la fornitura e la posa in opera di tutti i pezzi speciali di raccordo, gusci, angoli ecc., nonché l'onere per la preventiva preparazione con malta delle pareti da rivestire, la stuccatura finale dei giunti, la fornitura di collante per rivestimenti e, infine, la pulizia da eseguirsi dopo la sigillatura dei giunti.

3.1.18 POSA IN OPERA DEI MARMI, PIETRE NATURALI ED ARTIFICIALI

I prezzi della posa in opera dei marmi e delle pietre naturali od artificiali, previsti in elenco, saranno applicati alle superfici ovvero ai volumi effettivi, dei materiali in opera, determinati con i criteri descritti per le "murature in pietra da taglio".

Ogni onere derivante dall'osservanza delle norme, prescritte nel presente Capitolato, si intenderà compreso nei prezzi. Nello specifico detti prezzi, comprenderanno gli oneri per la fornitura, lo scarico in cantiere, il deposito e la relativa provvisoria protezione, la ripresa, il successivo trasporto ed il sollevamento dei materiali a qualunque altezza, con eventuale protezione, copertura o fasciatura; per ogni successivo sollevamento e per ogni ripresa con boiaccia di cemento od altro materiale, per la fornitura di lastre di piombo, di grappe, staffe, regolini, chiavette, perni occorrenti per il fissaggio; per ogni occorrente scalpellamento delle strutture murarie e per la successiva chiusura e ripresa delle stesse, per la stuccatura dei giunti, per la pulizia accurata e completa, per la protezione a mezzo di opportune opere provvisorie delle pietre già collocate in opera, e per tutti i lavori che risultassero necessari per la perfetta rifinitura dopo la posa in opera. Resteranno escluse, dal suddetto prezzo, le prestazioni dello scalpellino e del marmista per gli eventuali ritocchi agli elementi da montare allorché le pietre e/o i marmi non fossero forniti dall'appaltatore stesso.

I prezzi di elenco risultano comprensivi dell'onere dell'imbottitura dei vani dietro i pezzi, fra i pezzi stessi o comunque tra i pezzi e le opere murarie da rivestire, in modo da ottenere un buon collegamento, e, dove richiesto, un incastro perfetto.

Il prezzo previsto per la suddetta posa in opera dei marmi e pietre, anche se la fornitura sarà affidata all'Appaltatore, comprenderà altresì l'onere dell'eventuale posa in opera in periodi di tempo diversi, a prescindere dall'ordine di arrivo in cantiere dei materiali forniti all'Appaltatore dalla stazione appaltante compreso, inoltre, ogni eventuale onere per spostamento di ponteggi e di apparecchiature di sollevamento.

3.1.19 INTONACI

I prezzi degli intonaci dovranno essere applicati alla superficie effettivamente intonacata, procedendo quindi alla detrazione delle aperture per porte e finestre superiori a 1 m², senza tener conto delle superfici laterali di risalti, lesene, cornici, parapetti, architravi ecc.; tali superfici laterali, sia piane che curve, dovranno essere valutate quando la loro larghezza supera i 5 cm. L'esecuzione di gusci di raccordo, se richiesti negli angoli fra pareti e soffitto e fra pareti e pareti, con raggio non superiore a 15 cm, risulterà compresa nel prezzo; anche in questo caso gli intonaci verranno misurati alla stregua degli spigoli vivi.

Il prezzo degli intonaci comprenderà l'onere della ripresa, dopo la chiusura, di tracce di qualunque genere, della muratura di eventuali ganci al soffitto e delle riprese contropavimenti, zoccolature e serramenti. I prezzi dell'elenco varranno anche per intonaci applicati su murature di mattoni forati dello spessore di una testa, essendo essi comprensivi dell'onere dell'intasamento dei fori dei laterizi.

Gli intonaci interni sui muri di spessore superiore a 15 cm saranno computati a vuoto per pieno, a compenso dell'intonaco nelle riquadrature dei vani, che non saranno perciò sviluppate; tuttavia, per i vani di superficie superiore a 4 m², dovranno essere detratti i vuoti e le zone mancanti valutando a parte la riquadratura di detti vani.

Gli intonaci interni su tramezzi in foglio o ad una testa saranno computati per la loro superficie effettiva; dovranno essere, pertanto, detratti tutti i vuoti di qualunque dimensione essi siano, ed aggiunte le loro riquadrature.

La superficie di intradosso delle volte, di qualsiasi forma e monta, verrà determinata moltiplicando la superficie della loro proiezione orizzontale per il coefficiente 1,20. Nessun compenso speciale sarà dovuto per gli intonaci eseguiti a piccoli tratti anche in corrispondenza di spalle e mazzette di vani di porte e finestre.

L'intonaco dei pozzetti di ispezione delle fognature dovrà essere computato per la superficie di pareti senza detrarre la superficie di sbocco delle fogne, in compenso delle profilature e dell'intonaco sulle grossezze dei muri.

3.1.20 TINTEGGIATURE, COLORITURE E VERNICIATURE

Nei prezzi delle tinteggiature, coloriture e verniciature in genere risulteranno compresi tutti gli oneri prescritti nelle norme sui materiali e sui modi di esecuzione del presente Capitolato oltre a quelli per mezzi d'opera, trasporto, sfilatura e rinfilatura d'infissi ecc.

Le tinteggiature interne ed esterne per pareti e soffitti saranno, di norma, misurate con le stesse norme sancite per gli intonaci.

L'esecuzione di coloritura o verniciatura degli infissi dovrà ottemperare alle seguenti norme:

- a) le porte, bussole e simili, (x 2) dovranno essere computate due volte la luce netta dell'infisso, oltre alla mostra o allo sguincio, se presenti, non detraendo l'eventuale superficie del vetro. Così facendo, risulterà compresa anche la verniciatura del telaio per muri grossi o del cassonetto tipo romano per tramezzi e dell'imbotto tipo lombardo, sempre per tramezzi. La misurazione della mostra e dello sguincio sarà eseguita in proiezione su piano verticale parallelo a quello medio della bussola (chiusa) senza tener conto di sagome, risalti o risvolti;
- b) le finestre senza persiane, (x 3) ma con controportelli, dovranno essere computate tre volte la luce netta dell'infisso, in questo modo risulterà compensata anche la coloritura dei controportelli e del telaio (o cassettoni);
- c) le finestre senza persiane e senza controportelli, (x 1) dovranno essere computate una volta sola la luce netta dell'infisso, in questo modo risulterà compresa anche la coloritura della soglia e del telaio (o cassettoni);
- d) le persiane comuni, (x 3) dovranno essere computate tre volte la luce netta dell'infisso, in questo modo risulterà compresa anche la coloritura del telaio;
- e) le opere in ferro semplici e senza ornati, (x 0,75) quali finestre grandi a vetrate e lucernari, serrande avvolgibili a maglia, infissi per vetrine di negozi, dovranno essere computati i tre quarti della loro superficie complessiva, misurata sempre in proiezione, in questo modo potrà essere ritenuta compensata la coloritura dei sostegni, grappe e simili accessori, dei quali non si terrà conto alcuno nella misurazione;
- f) le opere in ferro di tipo normale a disegno, (x 1) quali ringhiere, cancelli anche riducibili, inferriate e simili, dovranno essere computate una volta per l'intera loro superficie, misurata con le norme e con le conclusioni di cui alla lettera precedente;
- g) le opere in ferro ornate, (x 1,5) cioè come alla lettera precedente, ma con ornati ricchissimi, nonché per le pareti metalliche e le lamiere stirate, dovranno essere computate una volta e mezzo la loro superficie misurata come sopra;
- h) i radiatori dei termosifoni dovranno essere pagati ad elemento, indipendentemente dal numero delle colonne di ogni elemento e dalla loro altezza.

Tutte le coloriture o verniciature s'intenderanno eseguite su ambo le facce con i rispettivi prezzi di elenco; inoltre si intenderà compensata la coloritura, o verniciatura di nottole, braccioletti e simili accessori.

3.1.21 MANO D'OPERA

Gli operai per i lavori in economia dovranno essere idonei al lavoro per il quale sono richiesti e dovranno essere provvisti dei necessari attrezzi.

L'Appaltatore è obbligato, senza compenso alcuno, a sostituire tutti quegli operai non graditi alla D.L.

Circa le prestazioni di manodopera saranno osservate le disposizioni e convenzioni stabilite dalle Leggi e dai contratti collettivi di lavoro, stipulati e convalidati a norma delle leggi sulla disciplina giuridica dei rapporti collettivi cioè quanto disposto dalla legge 300/1970 (Statuto dei lavoratori), ed in particolare quanto previsto dall'art. 36 della suddetta legge.

3.1.22 PONTEGGI

I ponteggi esterni ed interni di altezza sino a 4,50 m dal piano di posa si intenderanno sempre compensati con la voce di elenco prezzi relativa al lavoro che ne richieda l'installazione. Ponteggi di maggior altezza, quando necessari, si intenderanno compensati a parte, una sola volta, per il tempo necessario alla esecuzione delle opere di riparazione, conservazione, consolidamento, manutenzione.

3.1.23 NOLEGGI

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

Sono a carico esclusivo dell'Appaltatore la manutenzione degli attrezzi e delle macchine. Il prezzo comprende gli oneri relativi alla mano d'opera, al combustibile, ai lubrificanti, ai materiali di consumo, all'energia elettrica e a tutto quanto occorre per il funzionamento delle macchine.

Con i prezzi di noleggio delle motopompe, oltre la pompa sono compensati il motore, o la motrice, il gassogeno e la caldaia, la linea per il trasporto dell'energia elettrica ed, ove occorra, anche il trasformatore.

I prezzi di noleggio di meccanismi in genere, si intendono corrisposti per tutto il tempo durante il quale i meccanismi rimangono a piè d'opera a disposizione dell'Amministrazione, e cioè anche per le ore in cui i meccanismi stessi non funzionano, applicandosi il prezzo stabilito per meccanismi in funzione soltanto alle ore in cui essi sono in attività di lavoro; quello relativo a meccanismi in riposo in ogni altra condizione di cose, anche per tutto il tempo impiegato per riscaldare la caldaia e per portare a regime i meccanismi.

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

Per il noleggio dei carri e degli autocarri il prezzo verrà corrisposto soltanto per le ore di effettivo lavoro, rimanendo escluso ogni compenso per qualsiasi altra causa o perditempo.

3.1.24 TRASPORTI

Con i prezzi dei trasporti s'intende compensata anche la spesa per i materiali di consumo, la mano d'opera del conducente, e ogni altra spesa occorrente. I mezzi di trasporto per i lavori in economia debbono essere forniti in pieno stato di efficienza e corrispondere alle prescritte caratteristiche.

La valutazione delle materie da trasportare è fatta, a seconda dei casi, a volume o a peso, con riferimento alla distanza.

4. QUALITA' E PROVENIENZA DEI MATERIALI E DEI COMPONENTI

MATERIALI IN GENERE

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

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

L'Appaltatore avrà l'obbligo, durante qualsivoglia fase lavorativa, di eseguire o fare effettuare, presso gli stabilimenti di produzione e/o laboratori ed istituti in possesso delle specifiche autorizzazioni, tutte le campionature e prove preliminari sui materiali (confezionati direttamente in cantiere o confezionati e forniti da ditte specializzate) impiegati e da impiegarsi (in grado di garantire l'efficacia e la non nocività dei prodotti da utilizzarsi) prescritte nel presente capitolato e/o stabilite dalla Direzione Lavori. Tali verifiche dovranno fare riferimento alle indicazioni di progetto, alle normative UNI e alle raccomandazioni NorMaL recepite dal Ministero per i Beni Culturali con Decreto 11 novembre 1982, n. 2093. Il prelievo dei campioni (da eseguirsi secondo le prescrizioni indicate nelle raccomandazione NorMaL) dovrà essere effettuato in contraddittorio con l'Appaltatore e sarà appositamente verbalizzato.

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

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

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

ACQUA, CALCI, GESSO

4.1.1 ACQUA

neutro (compreso tra 6 ed 8) con una torbidezza non superiore al 2%, priva di sostanze organiche o grassi ed esente di Sali (particolarmente solfati, cloruri e nitrati in concentrazione superiore allo 0,5%) in percentuali dannose e non essere aggressiva per l'impasto risultante. In caso di necessità, dovrà essere trattata per ottenere il grado di purezza richiesto per l'intervento da eseguire. In taluni casi dovrà essere, altresì, additivata per evitare l'instaurarsi di reazioni chimico-fisiche che potrebbero causare la produzione di sostanze pericolose (DM 9 gennaio 1996 – allegato I).

Tutte le acque naturali limpide (con l'esclusione di quelle meteoriche o marine) potranno essere utilizzate per le lavorazioni. Dovrà essere vietato l'uso, per qualsiasi lavorazione, di acque provenienti da scarichi industriali o civili.

L'impiego di acqua di mare, salvo esplicita autorizzazione della D.L., non sarà consentito e, sarà comunque tassativamente vietato l'utilizzo di tale acqua per calcestruzzi armati, e per strutture con materiali metallici soggetti a corrosione.

4.1.2 CALCE

Le calce aeree ed idrauliche, dovranno rispondere ai requisiti di accettazione di cui al RD n. 2231 del 16 novembre 1939, "Norme per l'accettazione delle calce" e ai requisiti di cui alla normativa europea UNI EN 459-1:2001 "Calce da costruzione.

Definizione, specifiche criteri di conformità”; UNI EN 459-2:2001 “Calci da costruzione. Metodi di prova”; UNI EN 459-3:2001 “Calci da costruzione. Valutazione di conformità”.

4.1.2.1 CALCI AEREE

Le calci aeree (costituite prevalentemente da ossido o idrossido di calcio con quantità minori di magnesio, silicio, alluminio e ferro) sono classificate in base al loro contenuto di $(\text{CaO}+\text{MgO})_1$; si distinguono in:

- 1) Calci calciche (CL) calci costituite prevalentemente da ossido o idrossido di calcio (il calcare calcico è un calcare che dovrà contenere dallo 0% al 5% di carbonato di magnesio UNI 10319) senza alcuna aggiunta di materiali idraulico pozzolanici;
- 2) Calci dolomitiche (DL) calci costituite prevalentemente da ossido di calcio e di magnesio o idrossido di calcio e di magnesio (il calcare dolomitico è un calcare che dovrà contenere dal 35% al 45% di carbonato di magnesio) senza alcuna aggiunta di materiali idraulico pozzolanici. Questo tipo di calce potrà essere commercializzato nella versione semi-idratata² (S1) o completamente idratata³ (S2).

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

- a) Calci vive (Q) calci aeree (includono le calci calciche e le calci dolomitiche) costituite prevalentemente da ossido di calcio ed ossido di magnesio ottenute per calcinazione di rocce calcaree e/o dolomitiche. Le calci vive hanno una reazione esotermica quando entrano in contatto con acqua. Possono essere vendute in varie pezzature che vanno dalle zolle al materiale finemente macinato.
- b) Calci idrate (S) calci aeree, (calci calciche o calci dolomitiche) ottenute dallo spegnimento controllato delle calci vive. Le calci spente sono prodotte, in base alla quantità di acqua utilizzata nell'idratazione, in forma di polvere secca, di grassello o di liquido (latte di calce):
 - calce idrata in polvere di colore biancastro derivata dalla calcinazione a bassa temperatura di calcari puri con meno del 10% d'argilla; si differenzia dal grassello per la quantità di acqua somministrata durante lo spegnimento della calce viva (ossido di Calcio), nella calce idrata la quantità di acqua impiegata è quella stechiometrica (3,22 parti di acqua per 1 parte di CaO). Può essere utilmente impiegata come base per la formazione di stucchi lucidi, per intonaci interni e per tinteggiature;
 - grassello di calce o calce aerea “spenta” (idratata) in pasta ottenuta per lento spegnimento ad “umido” (cioè in eccesso di acqua rispetto a quella chimicamente sufficiente circa 3-4 volte il suo peso) della calce con impurità non superiori al 5%. Le caratteristiche plastiche ed adesive del grassello, migliorano e vengono esaltate con un prolungato periodo di stagionatura in acqua, prima di essere impiegato. Il grassello, si dovrà presentare sotto forma di pasta finissima, perfettamente bianca morbida e quasi untuosa non dovrà indurire se esposto in ambienti umidi o immerso nell'acqua, indurrà invece in presenza di aria per essiccamento e lento assorbimento di anidride carbonica. La stagionatura minima nelle fosse sarà di 90 giorni per il confezionamento dei malte da allettamento e da costruzione e, di 180 giorni per il confezionamento delle malte da intonaco o da stuccatura. Nel cantiere moderno è in uso ricavare il grassello mediante l'aggiunta di acqua (circa il 20%) alla calce idrata in polvere, mediante questa “procedura” (che in ogni caso necessita di una stagionatura minima di 24 ore) si ottiene un prodotto scadente di limitate qualità plastiche, adesive e coesive;
 - latte di calce ovvero “legante” per tinteggi, velature e scialbature ricavato dal filtraggio di una soluzione particolarmente acquosa ottenuta stemperando accuratamente il grassello di calce (o della calce idrata) fino ad ottenere una miscela liquida e biancastra.

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

- a) calce grassa in zolle, cioè calce viva in pezzi, con contenuto di ossidi di calcio e magnesio non inferiore al 94% e resa in grassello non inferiore al $2,5 \text{ m}^3/\text{ton}$;
- b) calce magra in zolle o calce viva, contenente meno del 94% di ossidi di calcio e magnesio e con resa in grassello non inferiore a $1,5 \text{ m}^3/\text{ton}$;

- c) calce forte legante con deboli doti idrauliche, compresa tra le calci magre quando la presenza di componenti idraulici (presenza di argilla intorno al 5-5,5%) è considerata come impurità;
- d) calce idrata in polvere ottenuta dallo spegnimento della calce viva, contenuto di umidità non superiore al 3% e contenuto di impurità non superiore al 6%, si distingue in:
 - fiore di calce, quando il contenuto minimo di idrati di calcio e magnesio non è inferiore al 91%; il residuo al vaglio da 900 maglie/cm² dovrà essere ≤ 1% mentre il residuo al vaglio da 4900 maglie/cm² dovrà essere ≤ 5%; presenta una granulometria piuttosto fine ottenuta per ventilazione;
 - calce idrata da costruzione quando il contenuto minimo di idrati di calcio e magnesio non è inferiore al 82%; il residuo al vaglio da 900 maglie/cm² dovrà essere ≤ 2% mentre il residuo al vaglio da 4900 maglie/cm² dovrà essere ≤ 15%; si presenta come un prodotto a grana grossa.

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

Tabella 3.2.1 Requisiti chimici della calce (valori espressi come % di massa). I valori sono applicabili a tutti i tipi di calce. Per la calce viva questi valori corrispondono al prodotto finito; per tutti gli altri tipi di calce (calce idrata, grassello e calci idrauliche) i valori sono basati sul prodotto dopo la sottrazione del suo contenuto di acqua libera e di acqua legata. (UNI EN 459-1)

Tipo di calce da costruzione	Sigla	CaO+MgO	MgO	CO ₂	SO ₃	Calce libera %
Calce calcica 90	CL 90	≥ 90	≤ 5	≤ 4	≤ 2	-
Calce calcica 80	CL 80	≥ 80	≤ 5	≤ 7	≤ 2	-
Calce calcica 70	CL 70	≥ 70	≤ 5	≤ 12	≤ 2	-
Calce dolomitica 85	DL 85	≥ 85	≥ 30	≤ 7	≤ 2	-
Calce dolomitica 80	DL 80	≥ 80	≥ 5	≤ 7	≤ 2	-
Calce idraulica 2	HL 2	-	-	-	≤ 3	≥ 8
Calce idraulica 3,5	HL 3,5	-	-	-	≤ 3	≥ 6
Calce idraulica 5	HL 5	-	-	-	≤ 3	≥ 3
Calce idraulica naturale 2	NHL 2	-	-	-	≤ 3	≥ 15
Calce idraulica naturale 3,5	NHL 3,5	-	-	-	≤ 3	≥ 9
Calce idraulica naturale 5	NHL 5	-	-	-	≤ 3	≥ 3
<p>Nella CL 90 è ammesso un contenuto di MgO fino al 7% se si supera la prova di stabilità indicata in 5.3 della EN 459-2:2001.</p> <p>Nelle HL e nelle NHL è ammesso un contenuto di SO₃ maggiore del 3% e fino al 7% purché sia accertata la stabilità, dopo 28 giorni di maturazione in acqua, utilizzando la prova indicata nella EN 196-2 "Methods of testing cement: chemical analysis of cement".</p>						

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

4.1.2.2 CALCI IDRAULICHE

Le calce idrauliche oltre che ai requisiti di accettazione di cui al RD 16 novembre 1939, n. 2231 e alle prescrizioni contenute nella legge 26 maggio 1965, n. 595 “Caratteristiche tecniche e requisiti dei leganti idraulici” ed ai requisiti di accettazione contenuti nel DM 31 agosto 1972 “Norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova degli agglomerati cementizi e delle calce idrauliche” dovranno rispondere alla norma UNI 459 che le classifica in base alla loro resistenza alla compressione dopo 28 giorni (UNI EN 459-2:2001), si distinguono in:

- 1) calce idraulica naturale (NHL) ovverosia il prodotto ottenuto dalla cottura a bassa temperature (inferiore ai 1000 C°) di marne naturali o calcari più o meno argillosi o silicei con successiva riduzione in polvere mediante spegnimento (con quantità stechiometrica di acqua) con o senza macinazione. Tutte le NHL dovranno avere la proprietà di far presa ed indurire anche a contatto con l’acqua e dovranno essere esenti o quantomeno presentare un bassissimo livello di Sali solubili. Questo tipo di calce naturali potrà a sua volta essere diviso in:
 - calce idraulica naturale bianca, rappresenta la forma più pura: dovrà essere ricavata dalla cottura di pietre calcaree silicee con una minima quantità di impurezze, presentare una quantità bassissima di sali solubili. Risulterà particolarmente indicata per confezionare malte, indirizzate a procedure di restauro che richiedono un basso modulo di elasticità ed un’elevata traspirabilità. In impasto fluido potrà essere utilizzata per iniezioni consolidanti a bassa pressione;
 - calce idraulica naturale “moretta” o “albazzana” a differenza del tipo “bianco” si ricaverà dalla cottura di rocce marnose; risulterà indicata per la confezione di malte per il restauro che richiedono una maggiore resistenza a compressione; il colore naturale di questa calce potrà variare dal nocciolo, al beige, all’avorio fino a raggiungere il rosato.
- 2) calce idraulica naturale con materiali aggiunti (NHL-Z) in polvere ovverosia, calce idrauliche naturali con materiale aggiunto cioè, quelle calce che contengono un’aggiunta fino ad un massimo del 20% in massa di materiali idraulicizzanti a carattere pozzolanico (pozzolana, cocchio pesto, trass) contrassegnate dalla lettera “Z” nella loro sigla;
- 3) calce idrauliche (HL)4 ovverosia calce costituite prevalentemente da idrossido di calcio, silicati di calcio e alluminati di calcio prodotti mediante miscelazione di materiali appropriati. Questo tipo di calce dovrà possedere la caratteristica di far presa ed indurire anche in presenza di acqua;

Tabella 3.2.2 Caratteristiche meccaniche delle calce idrauliche naturali da utilizzare nel restauro

Tipo	NHL 2			NHL 3,5			NHL 5		
Caratteristiche	Calce delicata idonea per lavori su materiali teneri o fortemente decoesi, per legante di tinteggiature alla calce, per stucchi, e strati di finitura per modanature ed intonaci			Calce idonea per interventi su pietre e laterizi, anche parzialmente degradati, intervento di iniezione e sigillature consolidanti, per rappezzi di intonaci, e stillatura di giunti			Calce idonea per la ricostruzione di pietre e modanature, massetti, pavimentazioni, rinzaffi e arricci esposti a contatto con acqua o per betoncino con collaborazione statica		
PROVE	Rapporto impasto			Rapporto impasto			Rapporto impasto		
Resistenza a compressione	1:2	1:2,5	1:3	1:2	1:2,5	1:3	1:2	1:2,5	1:3
7 gg N/mm ²	0,62	0,53	0,47	0,75	0,57	0,53	1,96	1,00	0,88
7 gg N/mm ²	REQUISITI UNI EN 459-1 ---			REQUISITI UNI EN 459-1 ---			REQUISITI UNI EN 459-1 ---		
28 gg N/mm ²	1,48	1,36	1,25	1,88	1,47	1,34	2,20	2,00	1,50
7 gg N/mm ²	REQUISITI UNI EN 459-1			REQUISITI UNI EN 459-1			REQUISITI UNI EN 459-1		

	$\geq 2 \text{ a } \leq 7$			$\geq 3,5 \text{ a } \leq 10$			$\geq 5 \text{ a } \leq 15 \text{ (a)}$		
6 mesi N/mm ²	3,848	3,00	2,88	7,50	5,34	3,94	7,30	5,90	5,31
12 mesi N/mm ²	4,00	2,90	2,90	7,50	5,90	3,90	9,28	8,44	6,50
La sabbia avrà una granulometria di 0,075-3 mm									
(a) La NHL 5, con massa volumica in mucchio minore di 0,90 kg/dm ³ , può avere una resistenza a compressione dopo 28 gg fino a 20 MPa									

Tabella 3.2.3 Caratteristiche fisiche delle calci idrauliche naturali

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

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

Tabella 3.2.4 Classificazione calci idrauliche mediante il rapporto di idraulicità (DM 31-08-1972)

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

4.1.3 GESSO

Il gesso dovrà essere di recente cottura, perfettamente asciutto, di fine macinazione in modo da non lasciare residui sullo staccio di 56 maglie a centimetro quadrato, scevro da materie eterogenee e senza parti alterate per estinzione spontanea.

Il gesso dovrà essere conservato in locali coperti, ben riparati dall'umidità e da agenti degradanti; approvvigionato in sacchi sigillati con stampigliato il nominativo del produttore e la qualità del materiale contenuto.

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

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

Tabella 3.2.5 Classificazione dei gessi in base alla temperatura di cottura

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

Tabella 3.2.6 Proprietà dei gessi più comunemente usati

Tipo di gesso	Finezza macinazione		Tempo minimo di presa (minuti)	Resistenza a trazione minima (kg/cm²)	Resistenza a flessione minima (kg/cm²)	Resistenza a compressione e minima (kg/cm²)
	Passante al setaccio da 0,2 mm % (minimo)	Passante al setaccio da 0,09 mm % (minimo)				
Scagliola	95	85	15	20	30	40
Da costruzione	70	50	7	8	20	50
Allumato	90	80	20	12	30	70
Da pavimenti	90	80	40			

L'uso di questo legante dovrà essere necessariamente autorizzato dalla D.L.; per l'accettazione di qualsivoglia tipologia di gesso valgono i criteri generali dell'art. 3.1 e la norma UNI 5371.

CEMENTI, CEMENTI SPECIALI

4.1.4 CEMENTI

I cementi, da impiegare in qualsiasi lavorazione, dovranno rispondere ai limiti di accettazione contenuti nella legge 26 maggio 1965, n. 595 e nel DM 3 giugno 1968 “Nuove norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova dei cementi” e successive modifiche (DM 20 novembre 1984 e DM 13 settembre 1993). Tutti i cementi dovranno essere, altresì, conformi al DM n. 314 emanato dal Ministero dell’industria in data 12 luglio 1999 (che ha sostituito il DM n. 126 del 9 marzo 1988 con l’allegato “Regolamento del servizio di controllo e certificazione di qualità dei cementi” dell’ICITE - CNR) ed in vigore dal 12 marzo 2000, che stabilisce le nuove regole per l’attestazione di conformità per i cementi immessi sul mercato nazionale e per i cementi destinati ad essere impiegati nelle opere in conglomerato normale, armato e precompresso. I requisiti da soddisfare dovranno essere quelli previsti dalla norma UNI EN 197-2001 “Cemento. Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni” e le norme UNI EN 196/1-7 e 196-21 inerenti i cementi speciali e la normativa sui metodi di prova ed analisi dei cementi.

A norma di quanto previsto dai decreti sopracitati, i cementi di cui all’art. 1 lettera A) della legge 26 maggio 1965, n. 595 (e cioè i cementi normali e ad alta resistenza Portland, pozzolanico e d’altoforno), se utilizzati per confezionare il conglomerato cementizio normale, armato e precompresso, dovranno essere certificati presso i laboratori di cui all’art. 6 della legge 26 maggio 1965, n. 595 e all’art. 20 della legge 5 novembre 1971, n. 1086. Per i cementi di importazione, la procedura di controllo e di certificazione potrà essere svolta nei luoghi di produzione da analoghi laboratori esteri di analisi.

I cementi potranno essere forniti sfusi e/o in sacchi sigillati. Dovranno essere conservati in magazzini coperti, ben ventilati e riparati dall’umidità (preferibilmente sopra pedane di legno) e da altri agenti capaci di degradarli prima dell’impiego. Se sfusi i cementi dovranno essere stoccati in cantiere in appositi silos metallici; i vari tipi e classi di cemento dovranno essere separati ed identificati con appositi cartellini. I prodotti approvvigionati in sacchi dovranno riportare sulle confezioni il nominativo del produttore, il peso, la qualità del prodotto, la quantità d’acqua per malte normali e la resistenza minima a compressione ed a trazione a 28 giorni di stagionatura.

I principali tipi di cemento sono:

- 1) cemento Portland (tipo CEM I): dovrà presentarsi come polvere fine e pesante, di colore variabile dal grigio bruno al verdognolo, tendente al rossastro nel caso provenga da miscele artificiali; dovrà avere contenuto di costituenti secondari (filler o altri materiali) non superiore al 5%; ovverosia il prodotto ottenuto per macinazione di clinker (consistente essenzialmente in silicati idraulici di calcio) con aggiunto gesso e anidrite (solfato di calcio anidro) dosata nella quantità necessaria per regolarizzare il processo di idratazione (art 2 legge n. 595/65). I cementi Portland, presenteranno scarsa resistenza alle acque marine e, in genere, a tutti gli aggressori di natura solfatica pertanto, quando si opera in località marina o in presenza di corrosivi solfatici (anche di modesta entità) sarà opportuno operare con cementi del tipo III o IV;
- 2) cemento Portland con aggiunta, in quantità ridotta, di loppa e/o pozzolana (tipo CEM II): detto comunemente cemento Portland rispettivamente alla loppa, alla pozzolana, alle ceneri volanti;
- 3) cemento d’altoforno (tipo CEM III): dovrà avere contenuto di loppa dal 36% al 95%; la miscela omogenea si otterrà dalla macinazione di clinker Portland e di loppa basica granulata d’altoforno con la quantità di gesso e anidrite necessaria per regolarizzare il processo di idratazione (art 2 legge n. 595/65). Questo cemento, di colore verdognolo, presenterà, grazie alle loppe d’altoforno, un basso calore di idratazione sviluppato durante la presa, una buona resistenza chimica ad attacchi di acque leggermente acide o pure, un modesto ritiro in fase di presa;
- 4) cemento pozzolanico (tipo CEM IV): con materiale pozzolanico dal 15% al 55%; ovverosia la miscela omogenea si otterrà dalla macinazione del clinker Portland e di pozzolana o di altro materiale a comportamento pozzolanico (tipo argille plastiche torrefatte come ad es. la bentonite) con la quantità di gesso e anidrite necessaria per regolarizzare il processo di idratazione (art 2 legge n. 595/65). Questo tipo di cemento potrà ridurre o eliminare le deficienze chimiche (rappresentate dalla formazione di idrossido di calcio) del cemento Portland. Il calore d’idratazione sviluppato dal cemento pozzolanico risulterà molto inferiore rispetto a quello sviluppato dal Portland di conseguenza, verrà preferito a quest’ultimo per le lavorazioni da eseguirsi in climi caldi ed in ambienti marini;

- 5) cemento composito (tipo CEM V): si otterrà per simultanea aggiunta di loppa e di pozzolana (dal 18% al 50%);
- 6) cemento alluminoso: (non classificato nella normativa UNI EN 196-1 ma presente nella legge 26 maggio 1965, n. 595 e nel DM 3 giugno 1968) si otterrà dalla macinazione del clinker ottenuto dalla cottura di miscele di calcare e alluminati idraulici (bauxite). I tempi di presa risulteranno simili a quelli dei normali cementi mentre l'indurimento è nettamente più rapido (7 gg. contro i 28 gg.). Questo legante potrà essere impiegato per lavori da eseguire in somma urgenza dove è richiesto un rapido indurimento (disarmo dopo 5-7 gg); dove occorra elevata resistenza meccanica (titolo 52,5); per gettare a temperature inferiori allo 0°C (fino a -10 °C); per opere in contatto con solfati, oli, acidi e sostanze in genere aggressive per gli altri cementi; per impiego in malte e calcestruzzi refrattari per temperature fino a circa 1300°C. Dei cementi alluminosi si potrà disporre di due tipi speciali: a presa lenta con ritiro contenuto (inizio presa dopo 15 ore, termine presa dopo altre 15 ore) e a presa rapida (inizio presa dopo 1 ora e termine dopo 2 ore).

Esempio di terminologia del cemento: la sigla CEM II A-L 32,5 R identifica un cemento Portland al calcare con clinker dal 80% al 94% (lettera A) e con calcare dal 6% al 20% (lettera L), classe di resistenza 32,5, con alta resistenza iniziale (lettera R).

Tabella 3.3.1 Classificazione tipi di cemento con relativa composizione: le percentuali in massa riferiti al nucleo del cemento, escludendo solfato di calcio e additivi (UNI EN 197-1).

Tipo	Denominazione	Sigla	Clinker	Loppa d'alto forno granulare	Microsilice	Pozzolana		Cenere volante		Scisto calcinato	Calcare	Cost.
						Naturale	Indust.	Silice	Calce			
			K	S	D	P	Q					
I	Cemento Portland	I	95-100	---	---	---	---	---	---	---	---	0-5
II	Cemento Portland alla loppa	II A-S	80-94	6-20	---	---	---	---	---	---	---	0-5
		II B-S	65-79	21-35	---	---	---	---	---	---	---	0-5
	Cemento Portland alla microsilice	II A-D	90-94	---	6-10	---	---	---	---	---	---	0-5
	Cemento Portland alla pozzolana	II A-P	80-94	---	---	6-20	---	---	---	---	---	0-5
		II B-P	65-79	---	---	21-35	---	---	---	---	---	0-5
		II A-Q	80-94	---	---	---	6-20	---	---	---	---	0-5
		II B-Q	65-79	---	---	---	21-35	---	---	---	---	0-5
	Cemento portland alle ceneri volanti	II A-V	80-94	---	---	---	---	6-20	---	---	---	0-5
		II B-V	65-79	---	---	---	---	21-35	---	---	---	0-5
		II A-W	80-94	---	---	---	---	---	6-20	---	---	0-5

		II B-W	65-79	---	---	---	---	---	21-35	---	---	0-5
	Cemento Portland allo scisto calcinato	II A-T	80-94	---	---	---	---	---	---	6-20	---	0-5
		II B-T	65-79	---	---	---	---	---	---	21-35	---	0-5
	Cemento Portland al calcare	II A-L	80-94	---	---	---	---	---	---	---	6-20	0-5
		II B-L	65-79	---	---	---	---	---	---	---	21-35	0-5
	Cemento Portland composito	II A-M	80-94	6-20								
		II B-M	65-79	21-35								
III	Cemento d'altoforno	III A	35-64	36-65	---	---	---	---	---	---	---	0-5
		III B	20-34	66-80	---	---	---	---	---	---	---	0-5
		III C	5-19	81-95	---	---	---	---	---	---	---	0-5
IV	Cemento pozzolanico	IV A	65-89	---	11-35				---	---	---	0-5
		IV B	45-64	---	36-55				---	---	---	0-5
V	Cemento composito	V A	40-64	18-30	---	18-30			---	---	---	0-5
		V B	30-39	31-50	---	31-50			---	---	---	0-5

I costituenti secondari possono essere filler oppure uno o più costituenti principali, salvo che questi non siano inclusi come costituenti principali del cemento

La proporzione di microsilice è limitata al 10%

La proporzione di loppa non ferrosa (pozzolana industriale) è limitata al 15%

La proporzione di filler silicica nella Cenere Volante è limitata al 5%

I diversi tipi di cemento dovranno essere forniti in varie classi di solidificazione, contrassegnate dal colore dei sacchi d'imballaggio o, nel caso in cui si utilizzi cemento sfuso, dal colore della bolla d'accompagnamento che deve essere attaccata al silo. I cementi appartenenti alle classi di resistenza 32,5 42,5 e 52,5 verranno classificati in base alla resistenza iniziale in cementi con resistenza iniziale normale e resistenza più alta (sigla aggiuntiva R). I cementi normali (portland, pozzolanico o d'altoforno) contraddistinti dalla sigla 22,5 potranno essere utilizzati esclusivamente per sbarramenti di ritenuta.

Tabella 3.3.2 Classificazione tipi di cemento mediante classi di solidità e colorazione di riconoscimento

Classe di solidità titolo	Resistenza alla tensione di compressione N/mm²				Colorazione di riconoscimento	Colore della scritta	Tempo di inizio presa mm	Espansione mm
	Resistenza iniziale		Solidità normale					
	2 giorni	7 giorni	28 giorni					
32,5	---	≥ 16	≥ 32,5	≤ 52,5	Marrone chiaro	Nero	≥ 60	≥ 10
32,5 R	≥ 10	---				Rosso		
42,5	≥ 10	---	≥ 42,5	≤ 62,5	Verde	Nero		
42,5 R	≥ 20	---				Rosso		

52,5	≥ 20	---	52,5	---	Rosso	Nero	≥ 425	
52,5 R	≥ 30	---				Bianco		

4.1.5 CEMENTI SPECIALI

Sono così definiti quei cementi che presenteranno resistenze fisiche inferiori o requisiti chimici diversi da quelli stabiliti per i cementi normali, differenze dovute a miscele di particolari composti o da elevate temperature di cottura ovvero dall'uso di additivi tipicamente specifici.

- 1) Cementi bianchi: simili come comportamento agli altri cementi comuni Portland. Dovranno essere ricavati dalla cottura di marne (caolini e calcari bianchi mineralogicamente puri) prive del tutto o con una quantità limitatissima di ossidi di ferro e di manganese; gli eventuali residui dovranno essere eliminati con trattamento fisico-chimico. Il bianco del cemento dovrà essere definito dalle ditte produttrici con tre parametri diversi: brillantezza⁵, lunghezza d'onda dominante⁶ e purezza⁷ inoltre, potrà anche essere definito con l'indice di bianchezza⁸ (contenuto per un cemento industriale tra 70 e 90). Questo tipo di cemento potrà essere utilizzato per opere di finitura quali stucchi ed intonaci, per opere in pietra artificiale è, inoltre, utilizzabile, in piccole quantità negli impasti a base di calce aerea (intonachini, sagramature, copertine creste dei muri ecc.) così da aumentarne la resistenza meccanica ma permettere ugualmente la permeabilità al vapore d'acqua;
- 2) Cementi colorati: dovranno essere ottenuti dai cementi bianchi miscelati con polvere della stessa finezza, costituita da ossidi, pigmenti minerali, o simili in proporzione mai superiore al 10% così da evitare impedimenti di presa ed eccessivi ritiri.
- 3) Cementi soprasolfati: cementi di natura siderurgica che dovranno costituirsi di una miscela di loppa granulata d'altoforno in percentuale dell'80%-85% da gesso o anidrite in percentuale del 10% e da clinker di cemento Portland per circa il 5%. Dovranno essere utilizzati per opere marine e strutture in calcestruzzo a contatto con soluzioni acide. Non risulteranno adatti per operazioni di recupero e/o restauro conservativo;
- 4) Cementi ferrici: dovranno costituirsi di miscele ricche d'ossido di ferro e polvere di allumina, macinando congiuntamente e sottoponendo a cottura mescolanze di calcare, argilla e ceneri di pirite; per questo dovranno contenere più ossido ferrico che allumina, ed essere quasi totalmente privi di alluminato tricalcico. La loro caratteristica preminente, oltre a presentare un buon comportamento con gli aggressori chimici, è quella di avere minor ritiro degli altri cementi ed un più basso sviluppo di calore di idratazione; risulterà adatto per le grandi gettate;
- 5) Cementi espansivi: dovranno essere ricavati da miscele di cemento Portland ed agenti espansivi intesi a ridurre od eliminare il fenomeno del ritiro. Generalmente, potranno essere distinti in due tipi: a ritiro compensato allorché l'espansione sia simile al ritiro (agente espansivo solfoalluminato di tetracalcio), espansivi auto-compresi quando l'espansione risulterà superiore al ritiro (agente espansivo ossido di calcio e/o magnesio). Entrambe le tipologie dovranno essere impiegate miscelandole con l'esatto quantitativo d'acqua consigliato dal produttore, gli sfridi, una volta rappresi, dovranno essere trasportati a rifiuto. Affinché l'espansione avvenga correttamente sarà necessario provvedere ad una corretta stagionatura in ambiente idoneo;
- 6) Cementi a presa rapida o romano: miscele di cemento alluminoso e di cemento Portland (con rapporto in peso fra i due leganti prossimi a uno da impastarsi con acqua), con idonei additivi tali da permettere le seguenti prestazioni: inizio presa entro un minuto dalla messa in opera e termine presa non più di trenta minuti. L'impiego dovrà essere riservato e limitato ad opere aventi carattere di urgenza o di provvisorietà e con scarse esigenze statiche.

LEGANTI SINTETICI

Le resine sono polimeri ottenuti partendo da molecole di composti organici semplici. In qualsiasi intervento di manutenzione e restauro sarà fatto divieto utilizzare prodotti di sintesi chimica senza preventive analisi di laboratorio,

prove applicative, schede tecniche e garanzie da parte delle ditte produttrici. Su manufatti di particolare valore storicoarchitettonico nonché archeologico il loro utilizzo sarà vietato, salvo comprovata compatibilità fisica, chimica e meccanica con i materiali direttamente interessati all'intervento o al loro contorno. I polimeri organici possono essere disponibili sotto varie forme:

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

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

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

4.1.6 RESINE ACRILICHE

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

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

4.1.7 RESINE EPOSSIDICHE

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

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

4.1.8 RESINE FLUORURATE

Più precisamente copolimeri fluorurati (ad es., copolimero vinilidene fluoro-esafluoropropene) che presenteranno buone proprietà elastiche e grande stabilità chimica, questi prodotti non polimerizzano dopo la loro messa in opera in quanto già prepolimerizzati, pertanto non subiranno alterazioni nel corso dell'invecchiamento e di conseguenza non varieranno le loro proprietà. Disciolti in solventi organici (di norma acetone o acetato di butile) potranno essere utilizzati come legante per stuccature, sigillature e ripristini da eseguirsi con il materiale originale. La preparazione dell'impasto, se non diversamente specificato, prevedrà l'unione di una parte in peso di resina a 3/4 parti di inerte ricavato, preferibilmente, dalla macinazione della stessa pietra. L'impasto dovrà essere ben mescolato fino ad ottenere la consistenza voluta. Sarà consigliabile non eseguire alcun intervento sulla stuccatura prima di 1 ora dalla stesura della stessa. Queste resine saranno completamente reversibili con il loro solvente.

4.1.9 RESINE POLIESTERE

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

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

MATERIALI INERTI PER MALTE, STUCCHI E CONGLOMERATI

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

4.1.10 GHIAIA E PIETRISCO

Le ghiaie saranno costituite da elementi di forma arrotondata di origine naturale, omogenei pulitissimi ed esenti da materie terrose argillose e limacciose e dovranno provenire da rocce compatte (calcaree o silicee), non gessose ad alta resistenza a compressione, dovrà, inoltre, essere ben assortita. Priva di parti friabili ed, eventualmente, lavata con acqua dolce al fine di eliminare materie nocive. I pietrischi (elementi di forma spigolosa di origine naturale o artificiale) oltre ad essere anch'essi scevri da materie terrose, sabbia e materie eterogenee, potranno provenire dalla spezzettatura di rocce durissime, preferibilmente silicee, a struttura microcristallina, o calcari puri durissimi e di alta resistenza alla compressione (minimo 1200 Kg/cm²), all'urto e all'abrasione, al gelo ed avranno spigolo vivo. Entrambe le tipologie di inerti dovranno avere dimensioni massime (prescritte dalla D.L.) commisurate alle caratteristiche di utilizzo. Le loro caratteristiche tecniche dovranno essere quelle stabilite dal DM 9 gennaio 1996, allegato 1, punto 2 e dalla norma UNI 8520. In ogni caso le dimensioni massime dovranno essere commisurate alle caratteristiche geometriche della carpenteria del getto ed all'ingombro delle armature.

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

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

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

Tabella 3.5.1 Classificazione della ghiaia e del pietrisco in base alla loro granulometria

Tipo		Granulometria in mm	Utilizzo
Ciottoli o “pillole di fiume”		80-100	Pavimentazioni stradali
GHIAIA rocce	Grossa o ghiaione	50-80	riempimenti, vespai, massicciate, sottofondi
	Mezzana	20-50	Riempimenti, solai, getti
	Ghiaietto o “pisello”	10-20	Riempimenti, solai, getti
	Granello o “risone”	7-10	rinzaffi ad alto spessore, zoccolature, bugnati, pavimentazioni, piccoli getti
PIETRISCO rocce	Grosso	40-71	Riempimenti, vespai, getti
	Ordinario	25-40 15-25	Pavimentazioni stradali, getti, riempimenti
	pietrischetto	10-15	Pavimentazioni stradali, getti, riempimenti
GRANIGLIA marmo	Graniglia grossa	5-20	Pavimenti a seminato, a finto mosaico
	Graniglia media	2,5-11	pavimenti a seminato, a finto mosaico, battuti
	Graniglia minuta	0,5-5	marmette di cemento, pavimenti a seminato, battuti

4.1.11 SABBIE

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

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

- la sabbia per murature in genere dovrà essere costituita da grani di dimensioni tali da passare attraverso lo staccio 2 (UNI 2332-1);

– la sabbia per intonaci, stuccature e murature di paramento od in pietra da taglio dovrà essere costituita da grani passanti attraverso lo staccio 0,5 (UNI 2332-1);

– la sabbia per i conglomerati cementizi dovrà essere conforme a quanto previsto nell’Allegato 1 del DM 3 giugno 1968 e dall’Allegato 1, punto 1.2, del DM 9 gennaio 1996 “Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche”. I grani dovranno avere uno spessore compreso tra 0,1 mm e 5,0 mm (UNI 2332) ed essere adeguati alla destinazione del getto ed alle condizioni di posa in opera.

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

Tabella 3.5.2 Classificazione delle sabbie in base alla loro granulometria

Tipo		Granulometri in mm	Utilizzo
SABBIA Silice, calcare	Grossa o sabbione	2-6	malta da costruzione, arriccio, rinzafo (spessore 2-5 cm), calcestruzzi
	Media	1-2	malta da rasatura, arriccio, intonachino, malta da allettamento
	Fina	0,5-1	finiture, stuccature, iniezioni di consolidamento
	finissima	0,05-0,5	rifiniture, decorazioni, stuccature, iniezioni di consolidamento

4.1.12 POLVERI

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

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

4.1.13 PIETRA MACINATA

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

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

- fine da 0,3 a 1 mm

- media da 1 a 3 mm
- grossa da 3 a 5 mm
- molto grossa da 5 a 10 mm

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

4.1.14 POZZOLANA

Le pozzolane (tufo trachitico poco coerente e parzialmente cementato di colore grigiastro, rossastro o bruno) dovranno essere ricavate da strati mondi da cappellaccio ed esenti da sostanze eterogenee o di parti inerti ed essere di grana fine (dimensione massima dei grani della pozzolana e dei materiali a comportamento pozzolanico inferiore ai 5 mm), asciutte ed accuratamente vagliate, con resistenza a pressione su malta normale a 28 gg di 2,4 N/mm², resistenza a trazione su malta normale a 28 gg. di 0,4 N/mm² e residuo insolubile non superiore al 40% ad attacco acido basico.

Qualunque sia la provenienza dovranno rispondere a tutti i requisiti prescritti dal RD 16 novembre 1939, n. 2230.

4.1.15 COCCIO PESTO

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

4.1.16 CAOLINO

Argilla primaria ricca di silicee allumina, di colore bianco deriva dalla caolinizzazione di rocce contenenti feldspati e prive di ferro nel luogo stesso di formazione. Per le sue caratteristiche di pozzolanicità e traspirabilità, potrà essere usato per la produzione di malte ed intonaci a marmorino ma anche per il consolidamento d'intonaci mediante iniezioni in profondità.

4.1.17 ARGILLE ESPANSE

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

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

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

4.1.18 POMICE ED ALTRI INERTI NATURALI LEGGERI

Gli inerti leggeri di pomice dovranno essere formati da granuli leggeri di pomice asciutti e scevri da sostanze organiche, polveri od altri elementi estranei. Dovranno possedere la granulometria prescritta dagli elaborati di progetto. Per quanto riguarda gli aggregati leggeri nel caso di utilizzo per miscele strutturali dovranno necessariamente possedere resistenza meccanica intorno ai valori di 15 N/mm².

ELEMENTI DI LATERIZIO E CALCESTRUZZO

Gli elementi resistenti artificiali da impiegare nelle murature (elementi in laterizio ed in calcestruzzo) potranno essere realizzati in laterizio normale, laterizio alleggerito in pasta, calcestruzzo normale, calcestruzzo alleggerito, calcestruzzi cellulare; essere dotati di fori in direzione normale al piano di posa (elementi a foratura verticale) oppure in direzione parallela (elementi a foratura orizzontale).

Gli elementi resistenti, quando impiegati nella costruzione di murature portanti, dovranno, necessariamente, rispondere alle prescrizioni contenute nel DM LLPP n. 103 del 20 novembre 1987 “Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento” (d’ora in poi DM n. 103/87). Rientreranno in queste prescrizioni anche i mattoni da “paramento” ovverosia, quelli utilizzati per rivestimenti esterni ma che hanno, contemporaneamente una funzione portante.

Nel caso di murature non portanti, le suddette prescrizioni insieme alle norme UNI 8942/1996 “Prodotti di laterizio per murature” potranno costituire un utile riferimento. Le eventuali prove su detti elementi dovranno essere condotte secondo le prescrizioni di cui alla norma UNI 772 “Metodi di prova per elementi di muratura”.

Tabella 3.6.1 Tipologie degli elementi resistenti artificiali e spessori minimi dei muri (DM 20/11/87)

Tipi di elemento	\emptyset	Elementi resistenti in laterizio		Elementi resistenti in calcestruzzo	
		f (cm ²)	Spessore minimo (cm)	f (cm ²)	Nessun limite di spessore
Mattone pieno	$\leq 15\%$	≤ 9	12		
Mattone e blocchi semipieni	15%---45%	≤ 12	20	$\leq 0,10 A$ con $A \leq 900 \text{ cm}^2$	
Mattone e blocchi forati	45%---55%	≤ 15	25	$\leq 0,15 A$ con $A \leq 900 \text{ cm}^2$	

Mattoni = elementi resistenti artificiali aventi forma parallelepipedica

Blocchi = elementi resistenti artificiali di grande formato con volume maggiore di circa 5500 cm³

A = area lorda della faccia forata delimitata dal suo perimetro

F = area complessiva dei fori passanti e profondi non passanti

f = area media di un foro (solo per il laterizio)

j = $100 \times F/A$ = percentuale di foratura

Saranno considerati pieni i mattoni trafilati (tipo A massiccio, tipo B a tre fori), quelli pressati che presentano incavi di limitata profondità destinati ad essere riempiti dal letto di malta, nonché i pressati cellulari (mattoni dotati di fori profondi ma non passanti). Dimensioni UNI 5,5 x 12 x 25 cm e 6 x 12 x 24 cm.

Saranno considerati semipieni i laterizi per murature destinati, di norma, ad essere messi in opera con i fori verticali, con apprezzabili caratteristiche di resistenza (foratura pesante). I blocchi semipieni potranno essere prodotti con laterizio “alveolato”, ovverosia dotato di porosità uniforme tale da ridurre il peso a 1600-1400 kg/m³. I laterizi semipieni si distingueranno in: mattone semipieno tipo pesante o leggero (dim. 5,5 x 12 x 25 cm; 6 x 12 x 24 cm; - da paramento - dim. doppio UNI 12 x 12 x 25 cm) blocco forato (dim. 12/15 x 25 x 25 cm; 20 x 20 x 40 cm), e blocco forato ad incastro (dim. 20 x 25 x 30 cm; 20 x 30 x 45 cm; 20 x 30 x 50 cm).

Saranno denominati forati i laterizi per murature destinati di norma ad essere posti in opera con i fori orizzontali; se non diversamente specificato si classificheranno in:

- foratino o “stiaccone” (tre fori dim. 5 x 15 x 30 cm);
- forato comune (sei fori dim. 8 x 12 x 25 cm);
- foratella o tramezza (otto-dieci fori dim. 8/12 x 25 x 25 cm);
- foratone (dodici fori dim. 12 x 24 x 24 cm, 15 x 24 x 30 cm).

A seconda del grado di cottura i laterizi (mattone pieno e semipieno, mezzo mattone, tre quarti, quarto o “bernardino”, mezzolungo o “tozzetto”, mezzana, pianella) potranno essere distinti in:

- a) albasì, poco cotti, porosi, di colore chiaro (rosa o giallo), scarsamente resistenti, di norma non adatti come materiale per funzioni strutturali;
- b) mezzanelli dolci, più rossi dei precedenti, ma con resistenza ancora piuttosto bassa;
- c) mezzanelli forti, di colore rosso vivo, poco porosi, con resistenza a compressione, nel caso di mattoni pieni, comprese tra 25 e 40 MPa;
- d) ferrioli, troppo cotti, di colore rosso scuro (tendente al bruno), poco porosi in superficie, poco aderenti alle malte.

Il colore, oltre che dalla temperatura di cottura e dalla durata di tale trattamento, dipenderà anche dal tenore degli ossidi di ferro, dei silicati e del calcare presente nella miscela argillosa, e potrà variare dal giallo al rosso, più o meno cupo.

Prodotti comuni: i mattoni pieni per uso corrente dovranno essere a forma di parallelepipedo regolare, di lunghezza doppia della larghezza, di modello costante, avere una colorazione il più uniforme possibile nonché presentare, sia all'asciutto che dopo la prolungata immersione nell'acqua, una resistenza alla compressione non inferiore a quella indicata dalla norma UNI vigente.

Per i mattoni pieni e i mattoni e blocchi semipieni per uso corrente ai fini dell'accettazione di un elemento saranno ammesse:

- 1 fessura interna nella direzione dei fori interessante tutta la dimensione dell'elemento per elementi con una sezione fino a 700 cm²;
- 2 fessure per sezioni maggiori di 700 cm²;
- 4 fessure nella direzione dei fori sulle pareti esterne, non maggiori del 200% della dimensione dell'elemento misurata secondo la direzione della fessura stessa;
- 2 fessure ortogonali alla direzione dei fori sulle pareti e sulle facce esterne, non maggiori del 10% della dimensione dell'elemento misurata secondo la direzione della fessura stessa (due fessure concorrenti in uno spigolo sono da considerarsi una fessura sola).

In ogni caso il numero totale delle fessure ammesse sulla superficie esterna complessiva dell'elemento non deve superare il valore 4 non saranno da considerarsi nel computo lesioni aventi una estensione 5% della lunghezza dell'elemento, misurata secondo la direzione della lesione stessa.

Per ciascun elemento non sarà tollerata, sulla sua superficie, nessuna protuberanza o scagliatura di diametro medio > di 30 mm; protuberanze e scagliature di diametro minore non dovranno essere sistematiche. La quantità di elementi non conformi, ammessa complessivamente nel campione, per fessure, scagliature e protuberanze dovrà risultare a 21.

Prodotti faccia a vista e da rivestimento: le liste in laterizio per rivestimenti murari a colorazione naturale o colorate con componenti inorganici, potranno presentare nel retro, tipi di riquadri in grado di migliorare l'aderenza con le malte o, essere foggiate con incastro a coda di rondine. Il loro potere di imbibizione non dovrà superare il 10% in peso di acqua assorbita ed il loro contenuto di Sali solubili non dovrà essere superiore a 0,05% o a 0,03%, a seconda dei tipi.

Nel caso in cui il colore superficiale dell'elemento risultasse diverso da quello del supporto interno non sarà ammessa alcuna mancanza di rivestimento sulla superficie destinata a restare a vista che renda visibile il corpo ceramico di base.

Per quanto concerne le facce non destinate a rimanere a vista resteranno validi i requisiti enunciati per i prodotti comuni; diversamente, se destinate a restare a vista, i difetti superficiali (lunghezza, fessure, dimensioni scagliature e scheggiature) dovranno avere dimensioni tali da non eccedere i limiti riportati in tabella

Tabella 3.6.2 (UNI 8942/86)

Tipo	Facce in vista (ammessa una sola imperfezione per dm ² di superficie)	Spigoli
Liscio	5 mm	6 mm
Rigato, sabbiato, ecc.	10 mm	12 mm

La resistenza meccanica degli elementi dovrà essere dimostrata attraverso certificazioni contenenti i risultati delle prove e condotte da laboratori ufficiali negli stabilimenti di produzione, con le modalità previste nel DM n. 103/87 in caso di muratura portante e con quelle previste dalla norma UNI 8942 se si tratta di semplice rivestimento.

La fornitura dovrà essere accompagnata da dichiarazione del produttore che attesta la conformità dei mattoni e della stessa fornitura ai limiti di accettazione della norma UNI 8942 (semplice rivestimento) e DM n. 103/87 (in caso di muratura portante). Sarà, in ogni caso, facoltà del Direttore dei Lavori richiedere un controllo di accettazione, avente lo scopo di accertare se gli elementi da mettere in opera abbiano realmente le caratteristiche dichiarate dal produttore.

Tabella 3.6.3 Limiti di accettazione dei prodotti faccia a vista e da rivestimento per murature non portanti. All'interno della tabella non sono considerati, data la varietà dei valori delle caratteristiche, i prodotti formati a mano. I suddetti valori potranno essere concordati alla fornitura (UNI 8942)

CARATTERISTICA	LIMITI E/O TOLLERANZE
dimensioni	
Lunghezza nel senso dei fori	$\pm 3\%$ (max ± 3 mm)
Altre dimensioni	$\pm 2\%$ (max ± 5 mm)
Spessore pareti	
Interne	6 mm minimo
Esterne	15 mm minimo
Forma e massa volumica	
Planarità facce lungo le diagonali	Fino a 10 cm ± 2 Oltre 10 cm $< 2\%$ (max ± 5 mm)
Rettilineità degli spigoli	Fino a 10 cm ± 2 Oltre 10 cm $\pm 10\%$
Ortogonalità degli spigoli	Fino a 10 cm ≤ 2 Oltre 10 cm $\leq 2\%$
CARATTERISTICA	LIMITI E/O TOLLERANZE
dimensioni	
Percentuale foratura	Nominale -2 +5%
Massa volumica	Nominale $\pm 8\%$
Densità apparente	Da concordare
Resistenza meccanica	
Resistenza caratteristica a compressione	Nominale -8%
Coefficiente di variazione resistenza a compressione	$\leq 20\%$
Trazione per taglio	Da concordare
Flessione per taglio	Da concordare
Altre determinazioni	
Inclusioni calcaree	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1; border-bottom: 1px solid black; position: relative; margin: 0 10px;"> massimo 1 </div> <div style="margin: 0 10px;">cratere</div> <div style="flex: 1; border-bottom: 1px solid black; position: relative;"> 3 5 mm per </div> </div> dm ² ; diametro medio crateri < 5 mm;

Efflorescenze	Dopo 4 giorni di immersione in acqua gli elementi, lasciati asciugare non ne dovranno presentare
Imbibizione	8-20 g/dm ²
Assorbimento acqua (quantità)	10-25%
Rischio gelività	Comportamento “non gelivo” l’elemento dovrà resistere ad almeno 20 cicli di gelo e disgelo tra i + 50° e i – 20 °C

Gli elementi speciali di laterizio per l’esecuzione di solai ovverosia le pignatte (avente funzione statica collaborante) e le volterranee (avente funzione principale di alleggerimento) dovranno presentare i seguenti spessori minimi: pareti superiori e perimetrali a 8 mm; setti interni 7 mm; raggio minimo di raccordatura 3 mm. Per gli elementi collaboranti alti h cm (altezza variabile da 12 a 24 cm) l’altezza minima della zona rinforzata (S) sarà 5 cm per h < 25 e h/5 cm per h ≥ 25, in ogni caso S non potrà essere inferiore a 4 cm. L’altezza complessiva di entrambi questi blocchi di laterizio potrà variare da 12 cm a 24 cm mentre l’interasse varierà da un minimo di 33 cm ad un massimo di 50 cm. La resistenza meccanica dei suddetti elementi dovrà essere dimostrata attraverso certificazioni contenenti i risultati delle prove condotte da laboratori ufficiali negli stabilimenti di produzione, con le modalità previste dalla normativa vigente.

Tabella 3.6.4 Resistenza caratteristica a compressione

Tipo blocchi	Volterranee di alleggerimento Kg/cm ²	Pignatte collaboranti Kg/cm ²
R _k parallela ai fori	150	300
R _k trasversale ai fori	50	150
P punzonamento	150	50

Le tegole piane (embrici o tegole marsigliesi) o curve (coppi o canali), di qualunque tipo siano, dovranno essere esattamente adattabili le une sulle altre, senza sbavature e presentare tinta uniforme; appoggiate su due regoli posti a 20 mm dai bordi estremi dei due lati corti, dovranno sopportare, sia un carico concentrato nel mezzo gradualmente crescente fino a 120 kg, sia l’urto di una palla di ghisa del peso di 1 kg cadente dall’altezza di 20 cm. Sotto un carico di 50 mm d’acqua mantenuta per 24 ore le tegole dovranno risultare impermeabili (UNI EN 538-539). Le tegole piane, infine, non dovranno presentare difetto alcuno nel nasello.

MATERIALI FERROSI E METALLI VARI

4.1.19 MATERIALI FERROSI

I materiali ferrosi da impiegare nei lavori dovranno essere esenti da scorie, soffiature, brecciatore, paglie o da qualsiasi altro difetto prescritto di fusione, laminazione trafilatura, fucinatura e simili.

Essi dovranno rispondere a tutte le condizioni previste dal citato DM 30 maggio 1974 ed alle norme UNI vigenti nonché presentare, a seconda della loro qualità, i seguenti requisiti:

- 1) Ferro: il ferro comune di colore grigio con lucentezza metallica dovrà essere di prima qualità, eminentemente duttile e tenace e di marcatissima struttura fibrosa. Esso dovrà essere malleabile, liscio alla superficie esterna, privo di screpolature, senza saldature aperte, e senza altre soluzioni di continuità.
- 2) Acciaio trafilato o laminato: tale acciaio, che potrà essere del tipo I (ossia extradolce e dolce il cosiddetto ferro omogeneo, con contenuto di carbonio inferiore a 0,1% per il primo e compreso tra 0,1% e 0,2 % per il secondo; gli acciai saranno indicati con i simboli Fe 33 C10 o C16, e Fe 37 C20), o del tipo II (ossia semiduro e duro compresi tra il Fe 52 e il Fe 65 con contenuto di carbonio compreso tra 0,3% e 0,65%), dovrà essere privo di difetti, di screpolature, di bruciature e di altre soluzioni di continuità. In particolare, per la prima varietà, saranno richiesti

perfetta malleabilità e lavorabilità a freddo e a caldo, senza che ne derivino screpolature o alte razioni. Esso dovrà, inoltre, essere saldabile e non suscettibile di prendere la temperatura; alla rottura dovrà presentare struttura lucente e finemente granulare. Rientreranno in questa categoria le piastre, le lamiere (sia lisce sia ondulate, sagomate ovvero grecate o microdogate), le staffe e le cravatte per il consolidamento delle travi in legno, i fogli ed i nastri di vari spessori e dimensioni.

- 3) Acciaio profilato per strutture di armatura: rientreranno in questa categoria sia i prodotti ottenuti per estrusione i cosiddetti "profilati" a sezione più o meno complessa secondo le indicazioni di progetto (a "T" UNI 5681, a "doppio T o IPE" UNI 5398; ad "H o HE" UNI 5397; ad "L"; ad "U" ecc.) sia quelli a sezione regolare detti anche barre, "tondini" o "fili" se trafilati più sottili. I tondini di acciaio per l'armatura del calcestruzzo siano essi lisci (Fe B32 k) o ad aderenza migliorata (Fe B38 k o Fe B44 k) dovranno rispondere alle prescrizioni contenute nel DM del 9 gennaio 1996 "Norme tecniche per il collaudo e l'esecuzione delle strutture delle opere di c.a. normale e precompresso e per le strutture metalliche" attuativo della legge n. 1086 del 5 novembre 1971 e relative circolari esplicative, nonché alle norme UNI vigenti. In linea generale il materiale dovrà essere privo di difetti ed inquinamenti che ne pregiudichino l'impiego o l'aderenza ai conglomerati. È fatto divieto di impiegare acciai non qualificati all'origine.

Tabella 3.7.1 Caratteristiche meccaniche minime per barre nervate e per reti di acciaio elettrosaldate (DM 9/01/96)

Tipo di acciaio	B450c
Diametro	5 ÷ 26 mm
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk} N/mm ²	≥ 375
Tensione caratteristica di rottura f_{tk} N/mm ²	≥ 540
Allungamento A5 %	≥ 12
Fino a 12 mm piegamento a 180° su mandrino avente diametro	4 ϕ
Oltre 12 mm fino ai 18 mm	8 ϕ
Oltre 18 mm fino a 25 mm	piega e raddrizzamento su mandrino avente diametro
Oltre 25 mm fino a 30 mm	12 ϕ

- 4) Reti in acciaio elettrosaldato: le reti di tipo "normale" avranno diametri compresi tra i 4 mm e i 12 mm, potranno su richiesta essere zincate in opera; quelle di tipo inossidabile dovranno essere ricoperte da più strati di zinco (circa 250 g/m²) perfettamente aderente alla rete. Tutte le reti utilizzate in strutture di cemento armato dovranno avere le caratteristiche richieste dal DM 27 luglio 1985 e dal DM 09 gennaio 96 nonché delle norme UNI vigenti (UNI 8926-27 e UNI ISO 10287).

Tabella 3.7.2 Caratteristiche meccaniche per reti di acciaio elettrosaldate (D.M. 9/01/96)

Tensione caratteristica di snervamento f_{yk} ovvero $f_{(0,2)k}$	N/mm ²	≥ 390
Tensione caratteristica di rottura f_{tk}	N/mm ²	≥ 440
Rapporto dei diametri dei fili dell'ordito	ϕ min/ ϕ max	≥ 0,60
Allungamento A_{10}	%	≥ 8
Rapporto f_{tk}/f_{yk}		≥ 1,10

- 5) Acciai inossidabili austenitici (UNI 3158-3159; 3161): dovranno corrispondere per analisi chimica alle norme AISI (American Iron Steel Institute) 304 e 316 (cioè ai rispettivi tipi UNI X5 Cr-Ni 1810 e X5 Cr-Ni-Mo 1712), e AISI 304L e 316L (rispettivi tipi UNI X2 Cr-Ni 1811 e X2 Cr-Ni-Mo 1712), aventi composizione chimiche sostanzialmente

uguali alle precedenti a parte per la percentuale di carbonio sensibilmente inferiore che permetterà di migliorare ulteriormente le rispettive caratteristiche di resistenza alla corrosione a fronte, però, di una leggera diminuzione delle caratteristiche di resistenza meccanica (il carico unitario di snervamento R_s scende da 250 MPa a 220 MPa per il tipo 304 e da 260 MPa a 240 MPa per il tipo 316). Nell'acciaio AISI 316 l'utilizzo di molibdeno permetterà di migliorare sensibilmente le caratteristiche alla corrosione in particolare di quella per violazione (il PRE cioè l'indice di resistenza alla violazione Pitting Resistance Equivalent del tipo 316 è pari a 23-29 contro il 17-22 di tipo 304). Il tipo di acciaio a cui si farà riferimento per le caratteristiche meccaniche è il Fe B 44 k. Le modalità di prelievo e le unità di collaudo di tale acciaio seguiranno le medesime prescrizioni previste per gli acciai comuni per armature in c.a. Il peso dell'acciaio inox ad aderenza migliorata ad elevato limite elastico (low carbon) verrà determinato moltiplicando lo sviluppo lineare dell'elemento per il peso unitario del tondino di sezione nominale corrispondente determinato in base al peso specifico di 7,95 kg/dm³ per il tipo AISI 304L e di 8,00 kg/dm³ per il tipo AISI 316L.

Tabella 3.7.3 Caratteristiche fisico-meccaniche degli acciai inossidabili

Materiale	Indice resistenza	Conducibilità termica	Modulo elastico GPa	Carico di snervamento Kg/mm ²	Allungamento minimo %	Strizione minima %
AISI 304	17-22	15	200	25	55	65
AISI 304L	18-21	15	200	22	55	70
AISI 316	23-29	15	193	26	55	70
AISI 316L	23-29	15	193	24	55	70
AISI 430	16-18	26	203	50	18	50

- 6) Acciaio fuso in getti: l'acciaio fuso in getti per cuscinetti, cerniere, rulli o per qualsiasi altro lavoro, dovrà essere di prima qualità, esente da soffiature e da qualsiasi altro difetto.
- 7) Ghisa: (UNI 5330) la ghisa dovrà essere di prima qualità e di seconda fusione, dolce, tenace, leggermente malleabile, facilmente lavorabile con la lima e con lo scalpello; di fattura grigia finemente granosa e perfettamente omogenea, esente da screpolature, vene, bolle, sbavature, asperità ed altri difetti capaci di menomare la resistenza. Dovrà essere inoltre perfettamente modellata. Dovrà essere assolutamente escluso l'impiego di ghise fosforose. Le caratteristiche dovranno adempiere i parametri elencati in tabella

Tabella 3.7.4 Proprietà meccaniche delle ghise

Tipo	Carico a rottura (minimo) MPa	Allungamento a rottura (minimo) %	Numero durezza Brinell	Resilienza Charpy KJ/m ²	Modulo elastico MPa
Ghisa grigia ordinaria UNI G 15	147	1	150	40	84000

- 8) Titanio: il titanio e le sue leghe dovranno rispondere, per le loro caratteristiche, alle normative di riferimento del paese di produzione (UNI 10258). Questo specifico metallo dovrà possedere le seguenti caratteristiche: elevata leggerezza, elevata resistenza meccanica in relazione ad una bassa densità, elevata resistenza alla corrosione, basso coefficiente di dilatazione termica e basso coefficiente di conducibilità termica Grazie al suo modulo elastico (pari a circa 100 GPa ovvero quasi la metà degli acciai inossidabili) risulterà un metallo facilmente abbinabile ai materiali lapidei, ceramici o, in ogni caso da costruzione. Con un peso specifico di circa 4,5 g/cm³ ed un carico di rottura simile a quello degli acciai il titanio, con le sue leghe fornisce tra i migliori rapporti resistenza

meccanica/peso. La norma ASTM B625 identifica in ordine crescente le caratteristiche in classi da 1 a 4, il più usato è il 2, mentre la lega più utilizzata sarà la Ti-6Al-4V contenente il 6% di alluminio, il 4% di vanadio ed il 90% di titanio.

Tabella 3.7.5 Caratteristiche fisico-meccaniche del titanio e della lega Ti-6Al-4V

Materiale	Densità g/cm ³	Punto di fusione °C	Coeff. Dilatazione termica	Modulo elastico GPa	Carico di rottura Kg/cm ²	Carico di snervamento Kg/cm ²	Allungament o %
Titanio	4,5	1668	8,4 x 10	106	3400	2800	20
Ti-6Al-4V	4,4	1650	8,6 x 10	120	900	8300	----

4.1.20 METALLI VARI

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

PRODOTTI A BASE DI LEGNO – GENERALITA'

Si intenderanno prodotti a base di legno quelli derivanti dalla semplice lavorazione e/o dalla trasformazione del legno e che si presenteranno sotto forma di segati, pannelli, lastre ecc.

I prodotti verranno di seguito considerati al momento della loro fornitura ed indipendentemente dalla destinazione d'uso. Il Direttore dei Lavori, ai fini della loro accettazione, potrà procedere ai controlli (anche parziali) su campioni della fornitura oppure richiedere un attestato di conformità della stessa alle prescrizioni di seguito indicate. Per le prescrizioni complementari da considerare in relazione alla destinazione d'uso (strutturale, pavimentazioni, coperture ecc.) si rinvia agli appositi articoli del presente capitolato ed alle prescrizioni del progetto.

Tabella 3.8.1 Tensioni nominali in MPa (N/mm²) per legno massiccio

Specie legnose	Categoria legname	Flessione	Trazione		Compressione		Taglio	Torsio ne	Modulo elastico
			0	90	0	90			
Abete rosso	1	11	11	0,05	10	2	1	1	12.500
	2	9	9	0,05	8	2	0,9	1	11.500
	3	7	6	0	6	2	0,8	0	10.500
Abete bianco	1	11,5	11	0,05	1	2	0,9	1	13.500
	2	10	9	0,5	9	2	0,8	1	12.500
	3	7,5	6	0	7	2	0,7	0	11.500
Larice	1	13	12	0,05	12	2,5	1,1	1	15.500
	2	11	9,5	0,05	10	2,5	1	1	14.500
	3	8,5	7	0	7,5	2	0,9	0	13.500
Pino silvestre	1	12	11	0,05	11	2	1	1	13.500
	2	10	9	0,05	9	2	0,9	1	12.500
	3	8	6	0	7	2	0,8	0	11.500
Douglas	1	12	10,2	0,05	11	2	0,9	1	

	2	10	8,5	0,05	8,5	2	0,9	1	
	3	7	6	0	6	2	0,9	0	
Quercia, Faggio	1	12	45	0,05	12	3	1,2	1	13.500
	2	11	10	0,05	10	2,5	1	1	12.500
	3	8,5	7	0	7,5	2,2	0,9	0	11.500
Robinia	1	13,5	13	0,05	12	3	1,2	1,6	14.000
	2	11,5	11	0,05	10	2,5	1	1,6	13.000
	3	9	7	0	7,5	2,2	0,9	0	12.000
Castagno, Olmo, Frassino	1	12	11	0,05	11	2	0,8	1,3	10.000
	2	10	9	0,05	9	2	0,7	1,3	9.000
	3	8	6	0	7	2	0,6	0	8.000
Pioppo	1	10,5	9	0,05	10	1,5	0,6	1	9.000
	2	8,5	7	0,05	8	1,5	0,5	1	9.000
	30	8,6	4,5	0	6	1,5	0,4	0	7.000
0 sta ad indicare parallela alla fibratura									
90 sta ad indicare ortogonale alla fibratura									

4.1.21 LEGNAMI E MATERIALI DERIVATI DAL LEGNO

I legnami da impiegare in opere stabili o provvisorie, di qualunque essenze essi siano dovranno rispondere a tutte le prescrizioni di cui al DM 30 ottobre 1912, DPR 24 dicembre 1969, DM del 6 marzo 1986 e alle norme UNI vigenti verranno selezionati, tra le diverse possibilità di scelta, le qualità appartenenti alla categoria prescritta se non presenteranno difetti incompatibili con l'uso per cui sono destinati.

Una classificazione commerciale e pratica, basata sulla forma, distingue i legnami in:

- legname tondo o “tondame”
- legname segato
- legname lavorato a squadratura con sezione quadrata o rettangolare (travi, travicelli ecc.)
- legname segato in tavolame
- legname squadrato

Il legname rotondo: dovrà provenire dal tronco dell'albero e non dai rami, dovrà essere sufficientemente diritto, in modo che la congiungente i centri delle due basi non debba uscire in alcun punto dal palo; dovrà essere scortecciato per tutta la lunghezza e congruato alla superficie; la differenza fra i diametri medi dalle estremità non dovrà oltrepassare i 15 millesimi della lunghezza né il quarto del maggiore dei 2 diametri. L'umidità massima tollerabile per questi materiali dovrà essere del 25%.

Tabella 3.8.2 Denominazione e misure dei principali prodotti ricavati da legname tondo

Denominazione	Diametro (cm)	Lunghezza (cm)	Note ed usi comuni
Abetelle o stili (antenne, candeie)	12-25	200	Classe media della paleria, solo scortecciati e privati dell'alburno. Utilizzati per ponti di servizio

Pali	15-30	200-600 fino a 900	Classe grossa della paleria di essenza forte e dura sono tronchi privati della scorza e dell'alburno. Utilizzati per fondazione e consolidamento dei terreni
------	-------	--------------------	--

Il legname segato a spigolo vivo: dovrà essere lavorato e squadrato a sega con le diverse facce esattamente spianate, senza rientranze o risalti, con gli spigoli tirati a filo vivo (saranno comunque ammissibili lievi tolleranze sugli smussi), senza alburno ovvero potrà essere tollerata la moderata presenza di alburno nel legname strutturale.

Tabella 3.8.3 Denominazione e misure dei principali prodotti ricavati da legname lavorato a squadratura o segato

Denominazione	Lunghezza (cm)	Larghezza (cm)	Altezza (cm)	Note ed usi comuni
Travi o bordonali	400 fino a 1000-1200	20-45 fino a 50	14-35 fino a 40	Elementi squadrati a filo vivo o con tolleranza di smussi. Utilizzati come elemento principale della orditura di sostegno di coperture o solai.
Travicelli	350-550	12-18	8-15	Elementi squadrati a filo vivo utilizzati come struttura secondaria di solai o coperture
Morali o Correnti (arcarecci, terzere)	400-900	8-10	10-14	Travicelli utilizzati per l'orditura longitudinale delle coperture
Correntini o listelli	300-800	5-8	3,5-5	Correnti di minori comunque squadrati e utilizzati specialmente per l'ossatura delle coperture
Piane	Non inferiore a 300	4-9	4-6	Travicelli piani e squadrati utilizzati per soffitti, tramezze e simili

Il tavolame dovrà essere ricavato dalle travi più dritte, affinché le fibre non riescano mozzate dalla sega e si ritirino nelle sconnessioni; le tavole potranno essere non rifilate (ovvero ottenute dal solo taglio longitudinale del fusto), rifilate rastremate (ovvero smussate seguendo la rastrematura) parallele (ovvero a spigoli paralleli) la larghezza delle tavole ordinarie potrà variare da 16 cm a 30 cm e da 8 cm a 15 cm per le sottomisure, la lunghezza varierà da 200 cm a 400 cm.

Tabella 3.8.4 Classificazione delle tavole parallele ricavate da tronchi segati

Denominazione	Lunghezza (cm)	Larghezza (cm)	Altezza (cm)	Note ed usi comuni
Panconi	400 ma sovente le misure variano da 300 a 600	25-40	8*15	Tavole molto grosse utilizzate per lavori di fondazione e per impalcature robuste
Tavoloni	400 può oscillare da 250 a 500	20-40	5-8	Tavole di grossezza media
Tavole o assi	300-600	15-35 con gradazioni di 2	2,5-6	Utilizzate per lavori di falegnameria e nei lavori di legname minuto

Assicelle	Variabile circa 250	15-25	1,2-2,5	Tavole sottili
Scurette	Variabile	15-20	1	
Sciaveri scorzoni	Variabile	Variabile	Variabile	Scarti di segazione provenienti dalla parte periferica del tronco con un lato rettilineo e l'altro a porzione di circonferenza
Piallacci	Variabile	Variabile	0,1-0,2	Fogli di legno di essenza nobile utilizzati per impiallacciare legni meno pregiati

Il legname squadrato, ottenuto dai fusti mediante tagli, oltre alla squadratura a spigoli vivi paralleli potrà dar luogo ad altri due tipi di legni:

- legname grossolanamente squadrato a spigolo smussato lavorato a sega o ad ascia, dove tutte le facce dovranno essere spianate senza essere scarnite, saranno tollerati l'alburno o lo smusso in misura non maggiore di un sesto del lato della sezione trasversale;
- travi con squadratura "uso Trieste" ovvero lavorazione, eseguita su piante intere con una squadratura parziale senza spigolo vivo ottenuta attraverso il processo di piallatura superficiale, mantenendo la conicità del tronco originario.

I legnami per pavimentazioni siano essi listoni che tavolette dovranno necessariamente essere stagionati, ben piallati, esenti da nodi, fenditure, tarlature ed altri difetti che ne alterino l'aspetto, la durata e la possibilità di montarli a perfetta regola d'arte.

I legnami destinati alla costruzione degli infissi dovranno essere di prima categoria, di struttura e fibra compatta e resistente, non deteriorata, perfettamente sana, dritta e priva di spaccature sia in senso radicale che circolare. Essi dovranno essere ben stagionati con un contenuto d'acqua non superiore al 15%; le specie ammissibili nella categoria degli infissi saranno elencati nelle tabelle UNI 2853-54. Tali legni dovranno presentare limitati difetti: sarà prescritta una densità di almeno 3 anelli per cm (con l'esclusione di alburno), non dovranno essere presenti nodi, cipollature, buchi, od altre malfatture palesi, dovranno, inoltre, presentare colore e venatura uniforme.

Per le prescrizioni complementari da considerare in relazione alla destinazione d'uso (strutturale, pavimentazioni, coperture ecc.) si rinvia agli appositi articoli del presente capitolato ed alle prescrizioni del progetto.

4.1.21.1 SEGATI DI LEGNO

I segati di legno dovranno essere forniti in opera conformemente alle norme UNI vigenti (in particolare UNI EN 844). A complemento di quanto specificato nel progetto, o negli articoli relativi alla destinazione d'uso, si intendono forniti con le seguenti caratteristiche:

- tolleranze sulla lunghezza e larghezza: ± 10 mm; tolleranze sullo spessore: ± 2 mm; (misurata secondo la norma UNI EN 1313);
- umidità non maggiore del 15% (misurata secondo la norma UNI 8829);
- difetti da essiccazione (misurati secondo la norma UNI 8947);
- qualità di essiccazione (valutata secondo la norma UNI 9030).

4.1.21.2 PANNELLI DI FIBRE DI LEGNO (LEGNI RICOSTRUITI O RIGENERATI)

- 1) Pannelli con struttura uniforme: tenuta strutturale che si otterrà mediante feltratura delle fibre (legno tondo debole e residuo delle segherie) ed azione adesiva delle forze leganti proprie del legno o di collanti aggiunti (resine sintetiche o resine naturali). Il materiale dovrà risultare omogeneo, con proprietà meccaniche uniformi nelle varie direzioni. Detti pannelli potranno essere del tipo extraduro (fabbricati per via umida), duro (fabbricati per via umida o per via semi secca) entrambi molto resistenti utilizzabili anche per la fabbricazione di travi

composte; semiduro (fabbricati per via secca) e/o porosi (fabbricati per via umida) da impiegare per pareti isolanti e tramezzi leggeri.

- 2) Pannelli MDF (Medium Density Fibreboard): pannelli a base di fibra di legno. Le fibre verranno essiccate in misura maggiore che nei pannelli di media durezza. La struttura si presenterà contemporaneamente fine e fitta su tutta la sezione, i pannelli possono venire lavorati e rivestiti come il legno massiccio.

I pannelli di fibre dovranno essere forniti in opera conformemente alle norme UNI vigenti (in particolare UNI EN 316 e UNI EN 622). A complemento di quanto specificato nel progetto, o negli articoli relativi alla destinazione d'uso, si intendono forniti con le seguenti caratteristiche:

- tolleranze sulla lunghezza e larghezza: ± 3 mm; tolleranze sullo spessore: $\pm 0,5$ mm; (misurate secondo la norma UNI EN 9363);
- umidità non maggiore dell'8%, misurata secondo

- massa volumica	Per tipo tenero	$< 350 \text{ kg/cm}^3$
	Per tipo semiduro	$\geq 350 \text{ e } \leq 800 \text{ kg/cm}^3$
	Per tipo duro	$> 800-1000 \text{ kg/cm}^3$
	Per tipo extra duro	$> 1000 \text{ kg/cm}^3$

(misurata secondo la norma UNI EN 323)

La superficie potrà essere:

- grezza (se mantenuta come risulta dalla pressatura)
- levigata (quando ha subito la levigatura)
- rivestita su una o due facce mediante: (placcatura, carte impregnate, smalti altro)
- impregnata con prodotti protettivi contro l'attacco di parassiti del legno
- impregnata con prodotti ignifughi.

Funzionalmente avranno le seguenti caratteristiche:

- assorbimento di acqua (misurato secondo la norma UNI EN 382)
- rigonfiamento dello spessore dopo immersione in acqua (misurato secondo la norma UNI EN 317)
- resistenza a trazione di (misurata secondo la norma UNI EN 319)
- resistenza a compressione di (misurata secondo la norma UNI ISO 3132 e UNI ISO 3787)
- resistenza a flessione di (misurata secondo la norma UNI EN 1058)

4.1.21.3 PANNELLI DI PARTICELLE (LASTRE DI AGGLOMERATO LIGNEO)

Pannelli di particelle pressati piani: pannelli a base di trucioli di legno tondo o legno per uso industriale legati per mezzo di resine sintetiche, l'orientamento dei trucioli sarà parallelo al piano del pannello. I pannelli potranno essere monostrato o multistrato (normalmente a 3 o a 5 strati) entrambi i tipi dovranno essere rifiniti con squadratura dei bordi e levigatura. Al fine di migliorare la resistenza alla flessione e il modulo di elasticità i pannelli dovranno contenere particelle dello strato di copertura più piatte;

Pannelli di particelle a estrusione: pannelli, legati con resine sintetiche, nei quali l'orientamento delle particelle dovrà, prevalentemente, essere verticale al piano. I pannelli potranno essere monostrato (pannelli non rivestiti) o multistrato con rivestimento costituito da sfogliati, pannelli di fibre dure, materiali multistrato o sintetici contenenti fibre di vetro;

Pannelli di particelle legate con leganti minerali: pannelli composti da miscela ad alta compressione composta per il 25% circa del peso da particelle di legno e per il 65% da leganti minerali (cemento Portland, magnesite o gesso), acqua, additivi (acceleranti di indurimento) ed eventuali materiali inerti. I pannelli potranno essere forniti grezzi non trattati o rivestiti con fogli di materiale sintetico, vernici disperdenti od intonaci di malta (UNI EN 633-634, UNI EN 1128, UNI EN 1328);

Pannelli OSB (Oriented Strand Board): pannelli a base di particelle di legno con trucioli grandi, relativamente lunghi e orientati. L'orientamento delle particelle sarà ottenuto mediante speciali dispositivi di distribuzione longitudinalmente o trasversalmente alla direzione di fabbricazione del pannello; nel caso di struttura a tre strati l'orientamento delle particelle dell'anima solitamente trasversale e delle particelle dello strato di copertura parallelo alla direzione di fabbricazione.

I pannelli di particelle dovranno essere forniti in opera conformemente alle norme UNI vigenti (in particolare UNI EN 309 e UNI EN 312). A compimento di quanto specificato nel progetto, o negli articoli relativi alla destinazione d'uso, si intenderanno forniti con le seguenti caratteristiche:

- tolleranze sulle lunghezza e larghezza: ± 5 mm;
- tolleranze sullo spessore: $\pm 0,5$ mm;
- umidità del $10\% \pm 3\%$;
- massa volumica: misurata secondo la norma UNI EN 323;
- superficie: grezza o; levigata o; rivestita;

Funzionalmente avranno le seguenti caratteristiche:

- impregnato con prodotti protettivi contro l'attacco di parassiti del legno;
- impregnato con prodotti ignifughi.

4.1.21.4 PANNELLI DI LEGNO COMPENSATO

- 1) multistrato: pannelli con struttura simmetrica composta da un numero di fogli di piallaccio (spessore da 2/10 mm a 3 mm) dispari (a partire da 3 strati), in caso di numero pari i due fogli interni dovranno essere disposti paralleli alla fibratura; le direzioni delle fibratura dovranno essere ruotate reciprocamente in modo perpendicolare. Per usi di tipo strutturale dovranno essere utilizzati pannelli di tipo bilanciato spessore minimo 22 mm, con struttura simmetrica composta da almeno 7 fogli di piallaccio. Il compensato multistrato con almeno 5 strati e spessore superiore a 12 mm è denominato multiplex. Le facce esterne dei pannelli potranno anche essere rivestite con fogli di legno pregiato, così da migliorare l'aspetto estetico del manufatto: l'accoppiamento con tali strati di finitura è detto anche impiallacciatura.

Tabella 3.8.5 Spessori pannelli compensati multistrati

Spessore nominale in mm	Numero minimo di strati
3-4-5-6	3
8-10-12-15	5
18-20-22	7
25-28-30	9

- 2) A liste e listelli "paniforti": realizzato incollando (mediante resine sintetiche) almeno uno sfogliato di copertura su ogni lato ed un foglio centrale su liste o listelli di legno massello disposti uno affianco all'altro; lo spessore varia da 10 mm a 45 mm. Gli strati saranno disposti perpendicolarmente tra loro. Sui due lati dello strato centrale dovrà essere posto uno sfogliato di copertura (pannello a 3 strati) ovvero uno strato di isolante e uno sfogliato di copertura (pannello a 5 strati). L'anima del compensato a liste sarà formata da liste di legno massiccio segate larghe da 24 mm a 30 mm; mentre quella del compensato a listelli sarà costituita da strisce di sfogliato disposte a coltello con uno spessore compreso tra 50 mm e 80 mm.

Per i compensati multistrato e per i paniforti le definizioni, le classificazioni, la composizione, le caratteristiche, i difetti, le dimensioni e gli impieghi saranno contemplati nelle norme UNI vigenti (UNI EN 313). A complemento di quanto specificato nel progetto, o negli articoli relativi alla destinazione d'uso, si intenderanno forniti con le seguenti caratteristiche:

- tolleranze sulla lunghezza e larghezza: ± 5 mm; tolleranze sullo spessore: ± 1 mm; (misurate secondo la norma UNI EN 315);
- umidità non maggiore del 12%;
- grado di incollaggio (da 1 a 10), (misurato secondo UNI EN 314-1 e UNI EN 314-2).

Funzionalmente avranno le seguenti caratteristiche:

- resistenza a trazione (misurata secondo la norma UNI 6480);
- resistenza a flessione statica (misurata secondo la norma UNI EN 1072);
- impregnazione degli sfogliati con prodotti protettivi contro l'attacco di parassiti del legno e sostanze ignifughe o;
- impregnazione degli sfogliati con prodotti ignifughi.

4.1.22 LEGNO LAMELLARE INCOLLATO

Il legno lamellare disponibile sotto forma di travi, di pannelli in multistrati o di sezioni sagomate di varia natura proveniente dalle migliori zone di accrescimento (con raccordi fra le parti mediante piccoli raggi di curvatura il raggio non può essere inferiore a 160 volte lo spessore della lamella di specie resinosa e 200 volte per lamelle di specie dure) dovrà essere fornito in opera conformemente alle norme UNI (in particolare UNI EN 386-397, UNI EN 390-392 e UNI EN 1194) e/o CNR vigenti ed in loro mancanza quelle della letteratura tecnica (in primo luogo le norme internazionali ed estere).

Ogni pezzatura dovrà essere selezionata qualitativamente e dimensionalmente, stagionata, giuntata di testa e piallata sulle quattro facce, formando le lamelle nelle misure richieste dagli elaborati di progetto. Le lamelle, (di norma spessore \leq di 5 cm, larghezza \leq di 25 cm, area massima 60 cm² per specie resinose, 40 cm² per specie dure) assemblate per incollaggio eseguito con collanti di tipo strutturale (a base di resorcina formaldeide o di urea), dovranno essere del tipo impregnato con sostanze atte a garantire l'assoluta inattaccabilità da parte di insetti, funghi, agenti atmosferici e chimici.

Le strutture portanti dovranno, grazie all'elevata coibenza termica, impedire la creazione di ponti termici ed eliminare fenomeni di condensa.

Le caratteristiche tecniche richieste al legno lamellare sono:

- categorie di legnami utilizzati: resinoso o duro di I° e II° categoria;
- giunzione longitudinale: fitta dentellatura "a pettine" o "a becco di flauto" sfalsata nell'altezza della sezione complessiva;
- colle utilizzate: colle alla resorcina-formolo (per strutture esposte agli agenti atmosferici) o all'urea-formolo;
- trattamenti antimuffa, fungicida, antiparassitario;
- resistenza al fuoco: classe 30/120;
- rapporto altezza/base: ≤ 10 .

Le tensioni ammissibili dichiarate dal produttore dovranno essere quelle riportate in tabella.

Tabella 3.8.5 Tensioni ammissibili (kg/cm²)

Tipo di sollecitazioni		Categoria I		Categoria II	
		Duro	Resinoso	Duro	Resinoso
Compressione assiale	σ'	140	135	112	107
Compressione trasversale	σ_t'	46	26	41	20
Trazione assiale	σ	168	157	101	90

Trazione trasversale	σ_t	12	8	10	6
Flessione	σ_f	152	146	129	112
Taglio	τ	20	15	15	12
Taglio longitudinale nel piano d'incollaggio	τ	12		– Con colle alla resorcina-formolo	
	τ	10		– Con colle all'urea-formolo o fenolo-formolo	
Trazione ortogonale nel piano d'incollaggio	σ_t	6		– Con colle alla resorcina-formolo	
	σ_t	5		– Con colle all'urea-formolo o fenolo-formolo	
Categoria I classe A: tutte le lamelle con tavole di I scelta; categoria I classe B: 15% di lamelle, per parte (con un minimo di due lamelle per bordo esterno) di I scelta e nucleo centrale di lamelle di II scelta.					
Categoria II tutte le lamelle con tavole di II scelta					

Per il controllo della qualità e della costanza della produzione si dovranno eseguire le seguenti prove:

- di delaminazione;
- di resistenza a taglio delle superfici di incollaggio;
- di controllo degli elementi;
- laminati verticalmente;
- controllo delle sezioni giuntate.

La determinazione della resistenza a taglio e delle proprietà meccaniche perpendicolari alla fibratura e di altre proprietà fisiche e meccaniche saranno effettuate secondo le prescrizioni di cui alle norme UNI EN 408.

PIETRE NATURALI E RICOSTRUITE

La terminologia utilizzata ha il significato di seguito riportato: le denominazioni commerciali dovranno essere riferite a campioni, atlanti ecc.; i prodotti di seguito elencati dovranno, qualora non diversamente specificato, rispondere al RD del 16 novembre 1939, nn. 2229-2232, e 3334 alle norme UNI alle norme tecniche del CNR nonché alle raccomandazioni NorMaL vigenti.

4.1.23 ARDESIA

Roccia metamorfica filiade argilloscista con elevato contenuto di quarzo, facile da dividersi in lastre sottili possiedono elevata scistosità, grana fine e tinte dal grigio al nero. In lastre per copertura dovrà essere di prima scelta e di spessore uniforme: le lastre dovranno essere sonore, di superficie piuttosto rugosa che liscia ed esenti da inclusioni e venature. Elevata resistenza a compressione con carico di rottura di 1500 kg/cm².

4.1.24 ARENARIA

Roccia sedimentaria clastica composta per cementazione naturale di una sabbia silicea o silicatica. Il cemento potrà essere di natura silicea, argilloso, argilloso-calcareo (macigno), gessoso ma, più frequente sarà quello misto. In funzione della natura di tale cemento ed al tipo di diagenesi subito, le arenarie potranno essere più o meno compatte, forti o friabili; di norma si presentano con giacitura a strati, hanno resistenza alla compressione di 600-1000 Kg/cm², peso specifico da 2,5 a 2,7, colore variabile anche all'interno di una stessa formazione: tinta predominante grigio, brunogiallastro, rossastro, grana fine non lucidabile. Generalmente di facile lavorazione, ed in rapporto alla consistenza, potranno essere impiegate come pietra da taglio, per elementi architettonici, rivestimenti ed anche per pavimentazioni stradali. Alcune varietà sono gelive.

4.1.25 CALCARE

Roccia sedimentaria o metamorfica costituita prevalentemente, da calcite, ovvero da carbonato di calcio, generalmente con associazione d'impurezze ed altre sostanze che ne modificano le caratteristiche tecniche. La loro formazione potrà

essere di due tipi: sedimentaria di deposito chimico (travertini, alabastri calcarei, tufi calcarei o calcareniti ecc.) o alterazione chimica e deposito meccanico, cioè da deposito di prodotti di disaggregazione di altre rocce ricimentatesi (conglomerati come brecce a scheletro di pezzatura spigolosa e puddinghe sempre con pezzatura grossa ma a carattere arrotondato); di tipo metamorfica con processo di ricristallizzazione (marmi). I calcari, possiedono, di norma, durezza media (3 Mohs), peso specifico da 1,7 a 2,8 ton/m³; resistenza alla compressione da buona ad ottima, non sono gelivi. I calcari teneri non risultano suscettibili di lucidatura, hanno grana fine ed omogenea; potranno essere utilizzati sia per apparecchi portanti sia per elementi decorativi. I calcari compatti sono, normalmente, lucidabili, avranno struttura microcristallina e proprietà superiore a quelle di marmi.

4.1.26 GRANITO (TERMINE COMMERCIALE)

Roccia eruttiva intrusiva composta prevalentemente da minerali di durezza Mohs da 6 a 7 (quali quarzo, feldspati, e da scarsi minerali ferrici), compatta, di difficile lavorabilità, manterrà a lungo la lucidatura se esposta all'esterno. La rottura del granito non avverrà per scorrimento dei piani reticolari, ma per reciproco distacco dei grani tra loro. I graniti potranno essere utilizzati per decorazione e per costruzione (grazie alle loro buone caratteristiche meccaniche e di resistenza all'abrasione e al gelo); di colore biancastro, grigiastro, rossastro frequentemente con macchiettature più scure (il colore dipenderà soprattutto dal contenuto di feldspato e di ferro), hanno una composizione chimica acida con abbondanza di silice in percentuale variabile tra il 70% e l'80%. La struttura tipica è granulare olocristallina con cristalli di dimensione variabile da minuti (1-2 mm) a medio grandi (10-20 mm), peso specifico relativamente modesto.

A questa categoria, appartengono:

- i graniti propriamente detti (rocce magmatiche intrusive acide fanero-cristalline, costituite da quarzo, felspati sodico potassici e miche);
- altre rocce magmatiche intrusive (dioriti, granodioriti, sieniti, gabbri ecc.);
- le corrispettive rocce magmatiche effusive, a struttura porfirica;
- alcune rocce metamorfiche di analoga composizione come gneiss e serizzi.

4.1.27 MARMO (TERMINE COMMERCIALE)

Roccia metamorfica le cui rocce originarie sono costituite da calcari di qualsiasi origine ovvero deposito meccanico, di deposito fisico-chimico ed organico. Dal punto di vista geologico per marmo sarà da intendersi un calcare (in genere organogeno) cristallino metamorfosato, di struttura compatta, lucidabile, caratterizzato da una cristallinità rilevabile ad occhio nudo. I marmi potranno essere utilizzati per decorazione e per costruzione, prevalentemente saranno costituiti da minerali di durezza Mohs da 3 a 4 (quali calcite, dolomite, serpentino). A differenza dei calcari compatti microcristallini, i marmi presentano la caratteristica di traslucità che ne determina un maggiore valore estetico. A questa categoria appartengono:

- i marmi propriamente detti (calcari metamorfici ricristallizzati), i calcefiri ed i cipollini;
- i calcari, le dolomie e le brecce calcaree lucidabili;
- gli alabastri calcarei;
- le serpentine;
- oficalciti.

I marmi dovranno essere soggetti alla lavorazione superficiale e/o le finiture indicate dal progetto, le dimensioni nominali concordate e le relative tolleranze nonché essere esenti da alcun difetto (bucce, vene, lenti, scaglie, peli, nodi, piccole cavità o taroli, macrosità, fessurazioni, inclusioni ecc.).

4.1.28 PIETRA (TERMINE COMMERCIALE)

Roccia compatta e resistente, di natura ed origine varia da impiegarsi sia nelle costruzioni sia nelle decorazioni, di norma non lucidabile. Sotto questa categoria potranno essere classificate rocce di composizione mineralogica svariata non inseribili in alcuna classificazione, comunque riconducibili ad uno dei due gruppi seguenti:

- rocce tenere e/o poco compatte, come varie rocce sedimentarie (calcareniti, arenarie a cemento calcareo ecc.), varie rocce piroclastiche (peperini, tufi ecc.);

- rocce dure e/o compatte come le pietre a spacco naturali (quarziti, micascisti, gneiss lastroidi, ardesie ecc.) e talune vulcaniti (basalti, trachiti, leucititi ecc.).

Le pietre naturali da impiegarsi nella muratura e per qualsiasi altro lavoro, dovranno essere a grana compatta, esenti da piani di sfaldamento, da screpolature, peli, venature, interclusioni di sostanze estranee; dovranno avere dimensioni adatte al particolare loro impiego, offrire una resistenza proporzionata all'entità della sollecitazione cui devono essere soggette, ed avere una efficace adesività alle malte. Dovranno essere, in assoluto, scartate le pietre marnose e quelle alterabili all'azione degli agenti atmosferici e dell'acqua corrente.

Le caratteristiche fisico-meccaniche delle pietre naturali da impiegare nella costruzione (in relazione sia alla natura della roccia prescelta sia dell'impiego) dovranno corrispondere alle norme di cui al R.D. 16 novembre 1939, nn. 2229 e 2232, nonché alle norme UNI vigenti.

4.1.29 PIETRA DA TAGLIO

Oltre a possedere i requisiti ed i caratteri generali sopra indicati, dovranno avere struttura uniforme, essere scevre da fenditure, cavità e litoclasti, sonore alla percussione, e di perfetta lavorabilità e/o lucidabilità. Le forme, le dimensioni e di sistemi di lavorazione dei pezzi, se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, verranno man mano indicati dalla D.L. Le lavorazioni da adottare per le pietre da taglio se non diversamente specificato saranno le seguenti:

- a semplice sbazzatura;
- a punta grossa; a punta mezzana; a punta fine;
- a martellina grossa; a martellina fina;
- a bocciarda grossa; a bocciarda media; a bocciarda fine;
- a gradina media; a gradina fine;
- a scalpellino medio; a scalpellino fine.

Le facce delle pietre da taglio, anche se unicamente sbazzate, dovranno venir lavorate sotto regolo, così da non perdere mai sinuosità maggiori di 1 cm; le pietre lavorate a punta grossa non dovranno presentare sinuosità maggiori di 5 mm.

Nei conci lavorati a punta mezzana ed a punta fina, i letti di posa dovranno essere ridotti a perfetto piano e le facce dovranno presentare spigoli ben vivi e ben rifilati così che le giunture celate non superino la larghezza di 8 mm e quelle in vista di 4 mm. Allorché sia comandata la lavorazione a martellina, le superfici lavorate dovranno essere a "pelle" piana e liscia, senza sinuosità e sporgenze alcuna e le attaccature non dovranno essere superiore ai 2 mm.

Per le opere a "faccia a vista" dovrà essere vietato l'impiego di materiali con venature disomogenee o, in genere, di brecce. Per questo specifico utilizzo dovranno essere utilizzate pietre caratterizzate da una buona resistenza a compressione ed a flessione, capacità di resistenza agli agenti atmosferici ed alle sostanze inquinanti, nonché presentare una buona tenacità (resistenza agli urti).

4.1.30 TRAVERTINO (TERMINE COMMERCIALE)

Roccia sedimentaria di deposito chimico con caratteristica strutturale vacuolare, da impiegare in rivestimenti esterni ed interni, in pavimenti, marcapiani, elementi architettonici in genere; alcune varietà sono lucidabili. È una roccia concrezionata, a struttura microcristallina; la sedimentazione delle concrezioni potrà risultare molto evidenziata da stratificazioni parallele a bande e zonature talvolta anche molto marcate determinate da variazioni di colore e porosità.

4.1.31 TUFO

Roccia sedimentaria piroclastica e coerente formata da lapilli. Dovrà essere di struttura litoide, compatta ed uniforme, dovrà essere escluso il tufo pomicioso e quello facilmente friabile. Modesta resistenza a compressione (30-50 kg/cm²), peso specifico di 1,3-1,5.

I prodotti di cui sopra dovranno rispondere a quanto segue:

- 1) appartenere alla denominazione commerciale e/o petrografica indicata nel progetto, oppure avere origine dal bacino di estrazione o zona geografica richiesta, essere conformi ai campioni di riferimento precedentemente selezionati. Dovranno, altresì, essere della migliore qualità, ed essere esenti di scaglie, brecce, vene, spaccature,

nodi, peli, crepe, discontinuità o altri difetti che li potrebbero rendere fragili, poco omogenei e non adattati alla specifica funzione. Non saranno tollerati: stuccature, tasselli, rotture e scheggiature;

- 2) avere lavorazione superficiale e/o finiture indicate nel progetto e/o rispondere ai campioni di riferimento; avere le dimensioni nominali concordate e le relative tolleranze;
- 3) delle seguenti caratteristiche il fornitore dichiarerà i valori medi (ed i valori minimi e/o la dispersione percentuale):
 - massa volumica reale ed apparente;
 - coefficiente di imbibizione della massa secca iniziale;
 - resistenza a compressione;
 - resistenza a flessione;
 - resistenza all'abrasione;
- 4) per le prescrizioni complementari da considerare in relazione alla destinazione d'uso (strutturale per murature, pavimentazioni, coperture ecc.) si rinvia agli appositi articoli del presente capitolato ed alle prescrizioni di progetto.

Tabella 3.9.1 Proprietà fisiche delle pietre naturali

Rocce	Massa volumica (peso sp. app.) ton/m ³	Massa volumica app. (peso in mucchio) ton/m ³	Porosità assoluta % del volume	Porosità appar. volume %	Coefficiente di imbibizione in peso %
a) intrusive					
Granito, Sienite	2,60-2,80	1,3-1,4	0,4-1,5	0,4-1,4	0,2-0,5
Diorite, Gabbro	2,80-3,00	1,4-1,5	0,5-1,6	0,5-1,5	0,2-0,4
b) effusive					
Porfido quarzifero	2,55-2,80	1,3-1,4	0,4-1,8	0,4-1,5	0,2-0,7
Porfite, Andesite					
Basalto, Melafiro	2,95-3,00	1,4-1,5	0,2-0,9	0,3-0,7	0,1-0,3
c) detritiche					
Pomice	50-1,10	0,5-0,9	30-70	25-60	30-70
Tufo vulcanico	1,80-2,00	0,6-1,0	20-30	12-30	6-15
a) clastiche					
Arenaria	2,60-2,65	1,3-1,4	0,4-0,2	0,4-1,3	0,2-0,5
b) organogene					
Calcere tenero, inclusi i conglomerati	1,70-2,60	1,3-1,4	0,5-30	0,5-25	1,0-25
Calcere compatto	2,65-2,85	1,3-1,4	0,4-2,0	0,5-1,8	2,0-4,0
c) chimica					
Dolomina	2,30-2,85	1,3-1,4	0,4-2,0	0,5-1,8	2,0-4,0
Travertino	2,40-2,50	1,1-1,2	5,0-12	4,0-10	2,0-5,0
Gneiss	2,65-3,00	1,3-1,5	0,4-2,0	0,3-1,8	0,1-0,6

Scisti (lavagna)	2,70-2,80		1,6-2,5	1,4-1,8	0,5-0,6
Marmo	2,70-2,80	1,3-1,4	0,5-3,0	0,5-2,0	0,0-1,0
Quarziti	2,60-3,65	1,3-1,4	0,4-2,0	0,2-0,6	0,2-0,6

Tabella 3.9.2 Proprietà meccaniche delle pietre naturali

Rocce	Resistenza a rottura per compressione MPa	Resistenza a rottura per flessione MPa	Modulo di elasticità MPa	Tenacità (rest. all'urto) kgcm/cm ²	Resistenza ad usura (rifer. granito uguale ad 1)
Granito, Sienite	157-235	10-20	49.000-59.000	110-120	1
Diorite, Gabbro	167-295	10-21	78.400-98.000	130-180	1-1,5
Porfido quarzifero	176-295	15-20	49.000-69.000	130-240	1-1,5
Porfirite, Andesite					
Basalto, Melafiro	245-395	12-25	88.000-118.000	160-300	1-2
Tufo vulcanico	5-20	0,7	9.800-29.500	----	----
Arenaria	120-200	4-9	30.000-40.000	150-260	
Calcare tenero	20-88	5-10	29.000-59.000	70-110	4-9
Calcare compatto	78-176	6-15	39.000-69.000	70-110	4-8
Travertino	20-60	4-10	24.500-49.000	60-100	7-12
Gneiss	157-275	----	49.000-69.000	40-100	1-2
Scisti (lavagna)	30-100	----	19.500-59.000	40-80	4-8
Marmo	100-176	6-15	39.000-69.000	70-100	4-8
Quarziti	145-295	----	49.000-69.000	110-180	1-1,5

COLORI E VERNICI – GENERALITA'

Dovrà essere fatto obbligo all'appaltatore di utilizzare colori e vernici di recente produzione, che non presentino fenomeni di sedimentazione o di addensamento, gelatinizzazioni o di qualsiasi altro difetto. Dovranno essere forniti in cantiere in recipienti sigillati recanti l'indicazione della ditta produttrice, il tipo, la qualità, le modalità d'uso e di conservazione del prodotto nonché la data di scadenza. L'appaltatore dovrà aprire i contenitori solo al momento dell'utilizzo ed in presenza della D.L. che avrà l'obbligo di controllarne il contenuto. La stessa D.L. potrà procedere anche a lavori iniziati a ulteriori controlli (anche parziali) su campioni della fornitura. I prodotti, se non diversamente richiesto da indicazioni di progetto e/o prescrizioni della D.L., dovranno essere pronti all'uso (ad eccezione delle eventuali diluizioni previste dalle ditte produttrici seguendo i rapporti indicati o le specifiche prescrizioni della D.L.); dovranno assolvere le funzioni di protezione e/o decorazione, conferire alle superfici l'aspetto previsto dal progetto e mantenere tali proprietà nel tempo.

Per quanto riguarda i prodotti per la tinteggiatura di strutture murarie saranno da utilizzarsi esclusivamente, se non diversamente specificato, prodotti non pellicolanti secondo le definizioni delle norme UNI nn. 8752-8758.

Secondo la norma UNI/EDL 8752 si intendono con i termini:

- pittura: rivestimento riportato filmogeno avente potere coprente dotato di proprietà protettive e decorative ed eventualmente di proprietà tecniche particolari;

- tinta rivestimento riportato non filmogeno avente potere coprente dotato di proprietà decorative e non necessariamente di proprietà protettive o proprietà tecniche particolari;
- vernice: rivestimento riportato filmogeno trasparente, incolore o colorato.

Tutti i prodotti dovranno essere conformi alle norme UNI e UNICHIM vigenti.

In ogni caso i prodotti da utilizzarsi dovranno avere ottima penetrabilità e compatibilità con il supporto, così da garantire una buona traspirabilità. Tali caratteristiche dovranno risultare prevalenti rispetto alla durabilità dei cromatismi.

Nel caso in cui si proceda alla tinteggiatura e/o verniciatura di fabbriche, ovvero manufatti di dichiarato interesse storico, artistico, archeologico, o documentario posti sotto tutela, o su manufatti soggetti ad interventi di conservazione e restauro, sarà obbligo procedere dietro specifica autorizzazione della D.L. e degli organi competenti. In questi casi dovrà essere assolutamente vietato utilizzare prodotti a base di resine sintetiche senza una specifica autorizzazione della D.L., ovvero degli organi preposti alla tutela del bene oggetto di intervento.

Per i prodotti di comune impiego dovranno essere osservate, salvo diverse precisazioni, le seguenti prescrizioni:

- olio di lino cotto: l'olio di lino cotto dovrà essere ben depurato, presentare un colore bruno rossastro perfettamente limpido, un odore forte ed amarissimo al gusto, essere scevro da adulterazioni con olio minerale, olio di pesce ecc. Non dovrà lasciare alcun deposito né essere rancido, e disteso sopra una lastra di vetro o di metallo dovrà essiccare completamente nell'intervallo di 24 ore. L'acidità massima ammessa dovrà essere in misura del 7%, impurità non superiore al 1% ed alla temperatura di 15°C presenterà una densità compresa fra 0,91 e 0,93;
- acquaragia (senza essenza di trementina): solvente apolare usato come diluente di altri solventi o di vernici, o come solvente per resine sintetiche. Dovrà essere limpida, incolore, di odore gradevole e molto volatile. La sua densità a 15°C dovrà essere di 0,87. È consigliabile il suo uso in ambiente aerato;
- bianco di zinco: il bianco di zinco dovrà presentarsi come polvere finissima, bianca, costituita da ossido di zinco, non dovrà contenere più del 4% di sali di piombo allo stato di solfato, né più del 1% di altre impurità; l'umidità non dovrà superare il 3%. Dovrà essere utilizzato principalmente nella preparazione di prodotti vernicianti per interni;
- bianco di titanio: biossido di titanio dovrà presentare un ottimo potere coprente e opacizzante, normalmente presente nella quasi totalità dei prodotti vernicianti in tinta bianca;
- latte di calce: il latte di calce dovrà essere ricavato dal filtraggio di una soluzione particolarmente acquosa ottenuta stemperando accuratamente grassello di calce fino ad ottenere una miscela liquida e biancastra. Vi si potrà aggiungere la quantità di nero fumo strettamente necessaria per evitare la tinta giallastra. Per tinteggi, scialbatura o velature su murature di particolare valore storico-artistico dovrà essere vietato ricavare il latte di calce stemperando calce idrata in polvere.

4.1.32 PIGMENTI

Potranno essere definiti pigmenti i materiali (di granulometria molto fine dell'ordine di millesimi di millimetro) che, già colorati di per sé, risulteranno in grado di colorarne altri, se applicati sopra, inglobati o meno in apposite matrici. La natura chimica determinerà le caratteristiche proprie del pigmento; il potere colorante dovrà essere in relazione alla capacità maggiore o minore di un pigmento di conferire colore, mentre il potere coprente dovrà essere in relazione alla capacità di un pigmento di celare il supporto sottostante e dipenderà dalle caratteristiche stesse del pigmento. I pigmenti potranno essere di struttura chimica organica od inorganica (cioè minerale) e di origine naturale o artificiale. Per le superfici architettoniche risulteranno particolarmente adatti i pigmenti inorganici in quanto stabili al contatto con la calce presente nella tinta o nel supporto. I Pigmenti di origine inorganica dovranno essere costituiti in prevalenza da composti dei metalli (ferro, manganese, rame, piombo, cromo ecc.); risulteranno più resistenti agli agenti atmosferici, più coprenti e più economici di quelli organici ma dotati di un minore potere colorante.

- Ossidi di ferro: pigmenti puri ottenuti, attualmente, per via sintetica, stabili alla luce, agli agenti atmosferici, agli acidi, agli alcali alla calce e al cemento. I più comuni sono: ossido di ferro giallo, ossido di ferro rosso, ossido di ferro nero e ossido di ferro bruno. Tali ossidi risulteranno particolarmente indicati per la preparazione di tinte per calce e cemento, per la colorazione in pasta di cementi, calcestruzzi, malte per intonaci e stucchi, per la colorazione di granulati per tegole, asfalti e bitumi. Al fine di ottenere una buona dispersione, salvo diverse

specifiche di progetto, l'ossido e gli altri materiali dovranno essere miscelati a secco, aggiungendo solo in seguito la quantità di acqua richiesta. Le percentuali d'uso potranno variare secondo l'intensità di tinta che si vorrà ottenere e al potere coprente di materiale in cui verranno miscelati, in ogni caso, salvo diverse specifiche, la percentuale non dovrà mai essere superiore al 10% in peso sulla massa.

- b) Terre naturali: pigmenti che si rintracciano in natura con qualità specifiche di terrosità e finezza tali da essere impiegati come sostanze coloranti. Le terre coloranti dovranno contenere ossidi minerali di origine naturale, in mescolanze e percentuali variabili a seconda dei tipi (mediamente 20-40%, non saranno, in ogni caso, utilizzabili i depositi minerali che contengano ossidi in percentuale inferiore al 10%); le terre dovranno comporsi di un composto del ferro, un ossido, un idrossido, un silicato idrato. Le uniche terre che non sono a base di ferro sono le terre nere. La lavorazione delle terre coloranti, dopo che sono state estratte e asciugate si diversificherà a seconda della specifica tipologia; alcune verranno sbriciolate grossolanamente, separate dall'impurità e poi nuovamente macinate più o meno finemente (terre naturali) altre invece, cotte a temperature intorno ai 200-400°C (terre bruciate): in questo modo si produrranno profonde alterazioni mineralogiche che daranno vita a differenti tonalità di colore. Le terre più comuni sono: terre gialle: idrossidi di ferro associati ad argille, il contenuto di minerali di ferro potrà variare tra il 15-20% e il 60-70%. Terre rosse il cui colore è imputabile alla presenza d'ossido rosso associato ad argille e silicati amorfi; la terra rossa si può, anche, ottenere dalla calcinazione a basse temperature (200-400°C) di terre gialle. Il colore delle terre d'ombra è dovuto, invece, alla presenza di ossidi di manganese e di ferro dispersi su base argillosa; per calcinazione si potranno ottenere tonalità più scure.

Caratteristiche chimico-fisiche medie delle terre coloranti: peso specifico assoluto 4-5 gr/ml; massa volumica apparente 400-800 gr/lt; pH 3,5-6; ottima stabilità chimica alla luce, alla calce, all'umidità; insolubili sia in acqua sia in solventi inorganici.

Tabella 3.11.1 Pigmenti più utilizzati

Colore	Tipo di pigmento
Bianco	Latte di calce, Bianco San Giovanni, Bianco Spagna, Bianco Meudon, Bianco Zinco
Nero	Terra Nera Venezia, Nero Vite, Nero Manganese, Nero Roma
Bruno	Terra d'Ombra Naturale e Bruciata, Terra Colonia, Ocra Avana, Terra di Cipro
Giallo	Terre Gialle e Ocre Gialle, Terra Siena Naturale, Ocra Gialla
Rosso	Terra Rossa, Terra Siena Bruciata, Ocra Rossa, Cinabro Naturale, Rosso Ercolano
Verde	Terra Verde Nicosia, Verde Brentonico, Ossido di Cromo, Verde Cobalto
Azzurro	Azzurro di Cobalto, Blu Oltremare

4.1.33 TINTE

4.1.33.1 TINTA ALLA CALCE

Dovranno costituirsi di un'emulsione di calce idrata in fiore o di grassello di calce in cui verranno stemperati pigmenti inorganici naturali a base di terre coloranti, carbonati ed ossidi di ferro l'indurimento e la stabilizzazione della tinta avverrà mediante reazione con anidride carbonica dell'aria che produrrà, con la simultanea cessione di acqua, un calcare similmente a quanto avviene per gli intonaci di calce area. Per ottenere un'omogenea dispersione dei colori i pigmenti (precedentemente calibrati sulla tinta voluta) dovranno essere prima miscelati a secco e poi, preventivamente, messi in bagno in una quantità d'acqua pari a circa il doppio del loro volume, lasciandoli riposare per ore. I pigmenti, prima di aggiungerli al latte di calce dovranno obbligatoriamente essere passati attraverso un setaccio, in modo da eliminare eventuali grumi. L'aderenza alle malte potrà essere migliorata con additivi quali colle artificiali, animali e vegetali o con limitate quantità di resina acrilica in emulsione acquosa (massimo 5-10%). I suddetti additivi, ovvieranno a difetti come il dilavamento e lo spolverio, aumentando la durata e la resistenza della calce in presenza di inquinamento atmosferico.

Le tinte alla calce potranno essere applicate anche su pareti intonacate di fresco; in questo caso come pigmenti dovranno essere utilizzate terre naturali passate al setaccio. Per interventi conservativi si potrà ricorrere a velature di tinte a calce fortemente stemperate in acqua in modo da affievolire il potere coprente, rendendo la tinta trasparente.

4.1.33.2 TINTE AI SILICATI

Dovranno costituirsi di un legante a base di silicato di potassio, di un silicato di sodio o da una miscela di entrambi gli elementi e da pigmenti esclusivamente inorganici (per lo più ossidi di ferro) trattati in maniera da essere stabili all'acidità ambientale. La tinta ai silicati potrà essere stesa, in linea generale, su qualunque tipo di supporto (escluso il gesso in ogni sua forma, intonaco, cartongesso ecc.), purché questo si presenti asciutto e accuratamente spolverato e a patto che si dispongano, a seconda della natura e dello stato di conservazione dello stesso, differenti ed idonei trattamenti preliminari. Per ovviare ai problemi di applicazione legati ai sistemi di coloritura ai silicati non stabilizzati sarà consigliabile l'utilizzo di tinte costituite da silicato di potassio in soluzione stabilizzato ed idrofobizzato. Queste tinte si differenzieranno da quelle tradizionali in quanto conterranno, oltre all'agente silicato di potassio legante, una dispersione sintetica resistente agli alcali, cariche, additivi reologici e antibiodeteriogeni; la quantità totale di sostanze organiche potrà raggiungere al massimo il 5 % del peso, con riferimento al peso totale del prodotto finito. La dispersione sintetica contenuta in queste tinte organosilatiche non darà vita a pellicola e perciò non sarà considerata agente legante. La dispersione sintetica avrà soltanto una funzione reologica e protettiva subito dopo l'applicazione della tinta fino a che la "silicificazione" non progredisce in modo sufficiente. Sovente in questa seconda tipologia di tinta ai silicati non si fa uso di pigmenti bianchi (con elevato potere coprente) di conseguenza risultando semitrasparenti potranno rilevarsi valide alternative alla tinta alla calce specialmente in ambienti esterni particolarmente aggressivi sia dal punto di vista climatico che atmosferico.

Nel caso in cui non si aggiungano i pigmenti queste miscele acquose (massima diluizione 50%) di silicati di potassio in soluzione stabilizzati ed idrofobizzati potranno rilevarsi buoni prodotti impregnanti con funzioni di consolidamento e protezione specialmente per intonaci e laterizi. Di norma il tempo di essiccamento superficiale o al tatto (a +20°C e 65% di UR) sarà di circa 2 ore, mentre ne occorreranno 24 per l'essiccamento in profondità.

Il legame chimico che si istituirà tra tinta ed intonaco sottostante è stabile, la tintura non risulterà soggetta a degradi di sfogliamento anzi, agirà da consolidamento del supporto. Le caratteristiche che dovranno possedere tali tinte saranno:

- ottima adesione al supporto;
- buona permeabilità al vapore;
- resistenza all'acqua;
- resistenza ai raggi ultravioletti;
- resistenza alle muffe;
- invecchieranno per progressiva erosione e dilavamento superficiale.

Le suddette tinte dovranno essere applicate a temperatura minima +8°C massima +35°C; umidità relativa dell'ambiente massima 85% e temperatura del supporto minima +5°C massima +40°C.

4.1.34 PITTURE

Le pitture dovranno di norma, costituirsi da un pigmento, un veicolo o legante, un diluente e un seccante. In taluni casi, al composto, potrà essere aggiunto un antifermentativo o degli antimuffa. Il pigmento dovrà essere, generalmente, di origine inorganica o artificiale. Il potere coprente richiesto alle pitture sarà determinato dal pigmento e dalle cariche.

4.1.34.1 PITTURE A COLLA O TEMPERA

Dovranno costituirsi di sospensioni acquose di pigmenti, cariche (calce, gesso, carbonato di calcio finemente polverizzati), e leganti a base di colle naturali (caseina, colla di pesce, latte, colla di farina ecc.) o sintetiche (colle viniliche, acriliche o di altro tipo di sintesi). Dovranno essere, preferibilmente, utilizzate su pareti interne intonacate perfettamente asciutte. In relazione alle modalità realizzativi questa pittura potrà essere suddivisa in tre tipi: quella che si ottiene "stemperando" i colori in acqua e aggiungendo in un secondo momento il legante (ovvero la colla); quella che si ottiene tinteggiando con pigmenti precedentemente stemperati in acqua e poi a soluzione asciutta vaporizzando soluzioni molto diluite di colla e quella ottenuta dalla stesura della miscela ottenuta dall'impasto unico di colla colori ed acqua.

Il prodotto utilizzato, in ogni caso, dovrà possedere buona adesività al fine di eliminare lo scrostamento al contatto, buon potere coprente permettere sia la sovrapposizione dei colori sia, gli eventuali ritocchi, buona resistenza all'azione dell'acqua e dell'umidità, soprattutto se estesa all'esterno, brillantezza di colore e resistenza nel tempo.

4.1.34.2 PITTURE AD OLIO

Potranno comporsi di oli, resine sintetiche, pigmenti e sostanze coloranti. Rispetto alla tinteggiatura a tempera, dovrà presentare una maggiore elasticità e quindi capacità di seguire le eventuali deformazioni del fondo e presentare, inoltre, notevole impermeabilità e capacità di ritocco senza che i colori si mescolino tra loro in modo incontrollabile. Dovranno possedere un alto potere coprente, risultare resistenti all'azione degradante dell'atmosfera, delle piogge acide, dei raggi ultravioletti.

4.1.34.3 PITTURE CEMENTIZIE

Si comporranno di sospensioni acquose di cementi bianchi, resine acriliche in emulsione, cariche micronizzate, pigmenti inorganici ed additivi chimici (antialga e antimuffa) in polvere. Dovranno essere preparate in piccoli quantitativi a causa del velocissimo tempo di presa. L'applicazione dovrà concludersi entro 30 minuti dalla preparazione, prima che avvenga la fase di indurimento. Terminata tale fase sarà fatto divieto diluirle in acqua per eventuali riutilizzi. Il film essiccato di queste pitture, presenterà una bassa porosità che lo renderà particolarmente indicato per il trattamento e la protezione di strutture in cemento armato, dall'azione aggressiva dell'anidride carbonica.

Inoltre il suo basso assorbimento d'acqua permette di preservare i supporti dall'azione di usura dovuta all'azione di "gelo-disgelo". Il tipo di finitura satinata permetterà di uniformare l'aspetto cromatico di getti non omogenei di calcestruzzo senza coprirne il disegno. Nel caso in cui si proceda alla tinteggiatura di fabbriche come manufatti di dichiarato interesse storico, artistico, archeologico, o documentario posti sotto tutela, ovvero su manufatti sottoposti ad interventi di conservazione e restauro, l'utilizzo di pitture cementizie dovrà essere vietato.

4.1.34.4 PITTURE EMULSIONATE

Emulsioni o dispersioni acquose che si costituiranno di pigmenti organici o inorganici, di cariche (carbonati di calcio, silicati di alluminio, polveri di quarzo ecc.) e da additivi sospesi in una resina sintetica (acrilica o acetovinilicheversatiche).

Poste in commercio come paste dense, da diluirsi in acqua al momento dell'impiego, dovranno essere in grado di realizzare sia forti spessori sia film sottilissimi. Potranno essere utilizzate su superfici interne ed esterne, in questo ultimo caso dovranno possedere una spiccata resistenza all'attacco fisico-chimico operato dagli agenti inquinanti. Queste pitture dovranno risultare impermeabili ed il loro degrado avverrà per filmazione od spogliamento spellatura.

Dovranno essere applicate con maestria e possedere colorazione uniforme. Potranno essere applicate anche su calcestruzzi, legno, cartone ed altri materiali. Non dovranno mai essere applicate su strati preesistenti di tinteggiatura, pittura o vernice non perfettamente aderenti al supporto.

4.1.34.5 IDROPITTURA (PITTURA ALL'ACQUA, PITTURE LAVABILI) A BASE DI COPOLIMERI ACRILICI

Pitture in cui il legante dovrà essere costituito da una dispersione acquosa di resine sintetiche (soprattutto copolimeri acrilici) con pigmenti che potranno essere organici ad alto potere coprente o inorganici (ad es., farina di quarzo, caolino, biossido di titanio ecc.) comunque molto coprenti con l'aggiunta di additivi reologici ed antimuffa. Questo consentirà di dare luogo a coloriture "piatte" con un effetto "cartonato". Le cariche dovranno essere costituite da materiali inerti, stabili rispetto all'acidità degli ambienti inquinanti. Le caratteristiche principali di questa pittura saranno: aspetto opacosericco, ottima adesione al supporto, insaponificabile, ottimo potere riempitivo, resistenza agli alcali ed agli agenti aggressivi dell'inquinamento, resistenza all'attacco di funghi, muffe e batteri, superlavabile (resiste ad oltre 500 cicli di spazzola), eccellente stabilità di tonalità delle tinte e non ingiallente, resistenza ai raggi ultravioletti. Questo tipo di pittura risulterà idonea su intonaco civile di malta bastarda, cementizia o equivalente, intonaco a gesso, nuovo o già rivestito con altre pitturazioni (previa preparazione con pulizia ed applicazione di idoneo fissativo uniformante e/o consolidante), elementi prefabbricati in conglomerati cementizi a superficie compatta, uniforme e piana, legno truciolare. Nel caso in cui si proceda alla tinteggiatura di manufatti di chiaro interesse storico, artistico, archeologico, o documentario acriliche.

4.1.34.6 BOIACCA PASSIVANTE

Boiacca passivante anticarbonatante, pennellabile per la protezione dell'armatura di strutture in cemento armato normalmente caratterizzata da colori vivaci (arancio, azzurro, verde ecc.). Il prodotto potrà essere monocomponente,

esente da nitrati, da miscelare con sola acqua (quantità variabile tra 0,3 e 0,5 l/kg), o bicomponente (A = miscela di cemento o leganti idraulici ad elevata resistenza, polveri silicee con idonea curva granulometrica, inibitori di corrosione, B = polimeri in dispersione acquosa; rapporto tra A e B variabile da 2:1 a 3:1); in ogni caso le caratteristiche minime della boiaccia dovranno essere: adesione all'armatura ed al cls $> 2,5 \text{ N/mm}^2$, 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, temperatura limite di applicazione tra +5°C e +35°C, classe zero di reazione al fuoco.

Lo strato minimo di protezione di tale pittura dovrà essere di almeno 1 mm.

4.1.35 VERNICI

Per vernice dovranno intendersi tutti gli impregnanti, i consolidanti e gli idrorepellenti; in genere utilizzati su legno, pietre naturali, cemento armato a vista, intonaci e su altri supporti murari quando si vorrà aumentarne la consistenza l'impermeabilità o l'idrorepellenza. I prodotti vernicianti dovranno essere classificati in rivestimenti incorporati (impregnanti superficiali: idrorepellenti, consolidanti, mordenti e primer per supporti in legno, conglomerati legati con calce e/o cemento come intonaci cementi decorativi e calcestruzzi) e rivestimenti riportati (smalti, flatting, "pitture").

4.1.35.1 VERNICI NATURALI E SINTETICHE

Le vernici dovranno creare una pellicola trasparente, lucida od opaca. Di norma si otterranno per sospensioni di pigmenti e delle cariche (talco, quarzo, caolino ecc.) in soluzioni organiche di resine naturali (coppale, colofonia, trementina benzoino, mastice ecc.) o sintetiche, (acriliche, alchidiche, oleoalchidiche, cloroviniliche, epossidiche, poliuretani, poliesteri, fenoliche, siliconiche ecc.). La percentuale di veicolo (legante + solvente) dovrà di norma essere pari al 50%, nel caso di verniciature per esterno, la composizione dovrà essere: 40% di pigmento e 60% di veicolo caratterizzato da resistenze particolari agli agenti atmosferici ed agli agenti alcalini.

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

Di norma le vernici essiccheranno con rapidità formando pellicole molto dure. Dovranno essere resistenti agli agenti atmosferici, alla luce ed agli urti; essere utilizzate dietro precise indicazioni della D.L. che dovrà verificarne lo stato di conservazione una volta aperti i recipienti originali

4.1.35.2 SMALTI

Prodotti di natura vetrosa composti da silicati alcalini: alluminio, piombo, quarzo, ossido di zinco, minio ecc.; si utilizzeranno per eliminare la porosità superficiale della ceramica e/o per decorarla. All'interno di questa categoria rientreranno anche gli smalti sintetici: miscele di resine termoindurenti sciolte in acqua insieme ai pigmenti; queste sostanze dovranno possedere forte potere coprente, avere le caratteristiche di essiccare in poche ore (intorno alle 6 ore), facilità di applicazione, luminosità e resistere agli urti per diversi anni anche all'esterno.

4.1.35.3 VERNICI ANTIRUGGINE E ANTICORROSIVE

Dovranno essere rapportate al tipo di materiale da proteggere ed alle condizioni ambientali. Il tipo di vernice da impiegare su ferro e sue leghe dovrà essere indicato dalla D.L., se non diversamente specificato si intenderà a base di resine gliceroftaliche a caucciù clorurato, plastificanti in saponificabili e pigmenti inibitori della corrosione, fosfato basico di zinco ed ossido di ferro rosso. La vernice dovrà risultare sovraverniciabile (entro sei-otto giorni dall'applicazione) con pitture a smalto oleosintetiche, sintetiche e al clorocaucciù. L'applicazione di tale vernice potrà avvenire sia a pennello (consigliata) sia a rullo, in entrambi i casi lo spessore minimo di pellicola secca per strato dovrà essere di 25 mm, ottenibile da pellicola umida di 70-80 mm mentre lo spessore massimo sarà di 40 mm, ottenibile da pellicola umida di 110-120 mm.

ADDITIVI

Gli additivi per malte e calcestruzzi dovranno essere sostanze chimiche che, aggiunte in dosi calibrate, risulteranno capaci di modificarne le proprietà (lavorabilità, impermeabilità, resistenza, durabilità, adesione ecc.). Dovranno essere forniti in recipienti sigillati con indicati il nome del produttore, la data di produzione, le modalità di impiego. Gli additivi dovranno, inoltre, possedere caratteristiche conformi a quelle prescritte dalle rispettive norme UNI (UNI 7101, UNI EN 480/2-10) e dal DM 26 marzo 1980. Gli additivi per iniezione sono classificati dalla norma UNI EN 934- 4/2001.

Gli additivi sono classificati in funzione alle loro proprietà:

- a) fluidificanti: (norma UNI 7102, 7102 FA 94-80) migliorano la lavorabilità dell'impasto, tensioattivi in grado di abbassare le forze di attrazione tra le particelle della miscela, diminuendo, in questo modo, l'attrito nella fase di miscelazione e di conseguenza la quantità d'acqua (riduzione rapporto. acqua-cemento del 5%) vengono denominati anche riduttori d'acqua. I fluidificanti potranno essere miscelati tra loro in svariati modi (ad es. fluidificanti-aeranti UNI 7106, 7106 FA 96-80, fluidificanti-ritardanti UNI 7107, 7107 FA 97-80, fluidificanti-acceleranti UNI 7108, 7108 FA 98-80);
- b) superfluidificanti: (norma UNI 8145, 8145 FA 124-83) permettono un'ulteriore diminuzione dell'acqua nell'impasto rispetto ai fluidificanti normali, rapporto di riduzione acqua-cemento fino al 20-40%. Sono, in genere, costituiti da miscele di polimeri di sintesi mischiati con altre sostanze come la formaldeide.
- c) porogeni-aeranti: (norma UNI 7103, 7106 FA 96-80) in grado di creare micro e macro bolle d'aria ad elevata stabilità all'interno della massa legante 0,30-0,60 Kg per 100 Kg di legante saranno sufficienti per ottenere un'introduzione di aria del 4-6% (limite massimo di volume di vuoto per calcestruzzi al fine di mantenere le resistenze meccaniche entro valori accettabili); per rinzaffi ed arricci di intonaci macroporosi deumidificanti la percentuale d'aria dovrà salire fino al 30-40%. Questo tipo di additivo risulterà in grado di facilitare, prima della presa, la lavorabilità nonché evitare la tendenza alla essudazione ovvero il processo di sedimentazione della malta fresca nel periodo precedente all'indurimento. Il limite di questo additivo risiede nel progressivo riempimento delle microbolle con materiali di idratazione;
- d) acceleranti: (norma UNI 7105) agiscono sull'idratazione aumentandone la velocità, si distinguono in acceleranti di presa ed acceleranti di indurimento. I più comuni sono costituiti da silicato o carbonato di sodio e/o di potassio, cloruro di calcio (additivo antigelo uni 7109);
- e) ritardanti: (norma UNI 7104, 7104 FA 95-80) loro scopo è ritardare l'idratazione quindi la presa al fine di consentire un tempo più lungo di lavorabilità, potranno essere di origine organica e inorganica;
- f) plastificanti: sostanze solide allo stato di polvere sottile di pari finezza di quella del legante, miglioreranno la viscosità, la stabilità e l'omogeneità dell'impasto aumentando la coesione tra i vari componenti e diminuendo lo spurgo dell'acqua;
- g) espansivi: (norma UNI 8146-8149) gli agenti espansivi comprendono un ampio ventaglio di prodotti preconfezionati (prevalentemente di natura organica) che, pur non essendo propriamente additivi potranno, in qualche misura rientrare ugualmente nella categoria. La caratteristica principale e quella di essere esenti da ritiro.

Per le modalità di controllo ed accettazione il Direttore dei Lavori potrà far eseguire controlli (anche parziali) su campioni di fornitura od accettare l'attestazione di conformità alle norme secondo i criteri dell'art. 3.1.

MATERIALI DIVERSI (SIGILLANTI, ADESIVI, GEO-TESSUTI, TESSUTI-NON-TESSUTI)

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

4.1.36 SIGILLANTI

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

- compatibilità chimica con il supporto sul quale verranno applicati;

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

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

4.1.37 ADESIVI

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

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

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

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

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

4.1.38 GEO-TESSUTI

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

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

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

- tolleranze sulla lunghezza e larghezza: $\pm 1\%$;
- spessore: $\pm 3\%$;

- resistenza a trazione: non tessuti UNI 8279-4;
- resistenza a lacerazione: non tessuti: UNI 8279-9; tessuti 7275;
- resistenza a perforazione con la sfera non tessuti: UNI 8279-11; tessuti: UNI 5421;
- assorbimento dei liqui: non tessuti: UNI 8279-5;
- ascensione capillare: non tessuti: UNI 8279-7;
- variazione dimensionale a caldo: non tessuti: UNI 8279-12;
- permeabilità all'aria: non tessuti: UNI 8279-3;

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

Dovrà, inoltre, essere sempre specificata la natura del polimero costituente (poliestere, polipropilene, poliammide ecc.). Per i non tessuti dovrà essere precisato:

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

4.1.39 TESSUTI-NON-TESSUTI

Prodotti composti da sottili filamenti di Polipropilene stabilizzato ai raggi U.V., saldati tra loro per termo-pressione. Si presenteranno come teli non tessuti, ma formati da una massa disordinata molto morbida e resistente, traspirante e alcuni potranno essere dotati di una buona permeabilità all'acqua. Nelle grammature medio basse (15-30 g/m²) potranno essere utilizzati per protezione a contatto di reperti mobili.

SOLVENTI

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

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

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

- Acetato di amile solvente polare aprotico, penetrante volatile a media ritenzione. Ottimo per la rimozione di resine nitrocellulosiche, resine naturali non invecchiate, resine sintetiche. Infiammabilità +25°C.
- Acetato di butile solvente polare aprotico, penetrante volatile a bassa ritenzione. Molto efficace per la rimozione di resine nitrocellulosiche, resine naturali non invecchiate, resine sintetiche. Infiammabilità +22°C.
- Acido acetico liquido incolore di odore pungente, miscelabile con acqua. In forma concentrata (a titolo superiore al 99%) e detto acido acetico glaciale (congela a temperatura ambiente) solvente a pH acido utilizzabile per la pulitura di patine carbonatiche o per la pulitura di superfici affrescate. $T_f = 16,6^\circ\text{C}$; $T_b = +118,1^\circ\text{C}$
- Acetato di etile solvente polare aprotico, penetrante volatile a bassa ritenzione di odore gradevole e caratteristico. Ottimo per la rimozione di resine nitrocellulosiche, resine naturali non invecchiate, resine sintetiche. Infiammabilità - 3°C.
- Acetone anidrite solvente polare, volatile atossico utilizzabile sia per la rimozione di olii, cere, grassi, resine naturali e sintetiche, inchiostri e per diluizione di vernici e prodotti a base di resine sintetiche protettive e/o

consolidanti. Presenta un ottimo potere solvente, miscibile con molti liquidi può essere impiegato come solvente intermedio. $T_f = -94^\circ\text{C}$; $T_b = +56,5^\circ\text{C}$; V_e (relativa all'etere) = 1,9; $d_s = 10,0$

- Acqua regia minerale solvente apolare utilizzato come diluente di altri solventi o di vernici ovvero come solvente per resine. La versione dearomatizzata presenterà una tossicità inferiore; sarà, comunque, consigliabile utilizzarlo in ambiente areato.
- Alcool benzilico solvente a moderata tossicità, attivo per la rimozione di resine naturali e sintetiche, nonché per alcune sostanze di natura proteica. Valida alternativa alla dimetilformammide.
- Alcool butilico solvente polare protico, non molto volatile, a media ritenzione e media penetrazione. Buon potere solvente verso grassi, olii, resine naturali, comprese coppali e gommalacca.
- Alcool etilico denaturato 99% (Etanolo) solvente polare protico atossico risulta infiammabile, volatile e miscibile con acqua, acetone, etere usato efficace per la rimozione di resine naturali, comprese coppali e gommalacca. $T_f = -117^\circ\text{C}$; $T_b = +78,3^\circ\text{C}$; V_e (relativa all'etere) = 7; $d_s = 12,7$
- Alcool isopropilico solvente polare protico atossico impiegabile per la diluizione di reattivi, protettivi e consolidanti.
- Benzina rettificata 100/140 solvente idrocarburico apolare mediamente volatile utilizzato per la rimozione di cere, paraffina, bitumi e grassi. Per benzina si intende miscele di idrocarburi saturi o limitatamente insaturi, più o meno ramificati, che si raccolgono nelle frazioni basso bollenti del petrolio (da 30 a 200 °C).
- Cloroformio liquido limpido, incolore, volatile di odore etereo, tossico. Ottimo solvente per oli, resine e grassi. Come tutti i solventi clorurati deve essere protetto dalla luce del sole. Data la sua tossicità se ne consiglia un uso limitato e controllato. $T_b = +61,3^\circ\text{C}$; V_e (relativa all'etere) = 2,2; $d_s = 9,3$
- Cloruro di metilene solvente apolare volatile presenta una forte azione su materiali grassi, media azione su resine naturali. Al fine di diminuire la volatilità può essere impiegato in miscela con materiali addensanti.
- Diacetone alcool solvente incolore, inodore, mediamente polare tossico miscibile con acqua, presenta un punto di ebollizione elevato ed un buon potere solvente nei confronti di resine e alcune sostanze proteiche e polisaccaridiche. Data la sua tossicità se ne consiglia un uso limitato e controllato.
- Diluente nitro antinebbia miscela di vari solventi (toluene, acetone, dicloropropano, alcool isopropilico) alcuni tossici a polarità media a rapida evaporazione, possiede un buon potere solvente per vernici nitro e sintetiche in generale, olii ed alcuni materiali proteici.
- Dimetilformammide solvente polare aprotico altamente tossica, di odore sgradevole, miscibile con acqua, esteri, alcoli, etere, chetoni, idrocarburi aromatici e clorurati. Solvente indicato per moltissimi polimeri fra cui, resine epossidiche, poliuretaniche, e viniliche. Data la sua alta tossicità se ne consiglia un uso limitato e controllato adottando le massime precauzioni di manipolazione ed aerazione.
- Esano denaturato idrocarburo alifatico di odore leggero, volatile. Ottimo solvente per cere, grassi, vernici. $T_f = -95^\circ\text{C}$; $T_b = +69^\circ\text{C}$.
- Essenza di petrolio solvente apolare usato come diluente di altri solventi o di vernici, come solvente per resine o per saturare, temporaneamente, un colore. Non lascia residui evaporando. La versione dearomatizzata presenterà una tossicità inferiore; sarà, comunque, consigliabile utilizzarlo in ambiente areato.
- Essenza di trementina solvente apolare, incolore la versione rettificata debolmente giallo la versione pura, di odore caratteristico, efficace sia come diluente per colori ad olio sia per la rimozione di vernici, grassi e parzialmente cere e paraffine.
- Etere etilico composto organico ottenuto per disidratazione dell'alcool etilico con acido solforico. Liquido incolore, di odore pungente, pochissimo miscelabile con acqua miscibile con solventi organici molto volatile e molto infiammabile. Utilizzabile come solvente per grassi, resine, cere e gomme. $T_f = -116^\circ\text{C}$; $T_b = +34,6^\circ\text{C}$
- Etil laccato solvente ottimo per la diluizione e la rimozione di colori e vernici. Utilizzabile come ottima alternativa al più tossico xilolo nella pulitura di superfici policrome.
- Limonane solvente polare atossico con elevato potere sgrassante, utilizzabile in percentuale opportuna insieme ad altri così da ottenere miscele di polarità calcolata, ad es. come alternativa al diluente nitro o la clorotene.

- Ligroina solvente idrocarburico apolare impiegato tal quale o come diluente per altri solventi e per la pulitura di manufatti policromi. Valida alternativa all'essenza di petrolio.
- Meilpirrolidone solvente ammidico penetrante, mediamente polare, nocivo, solvente molto forte per vernici, polimeri acrilici e resine; miscibile con essenza di petrolio, white spirit, alcool etilico. Solubile in acqua si rileva un ottimo sostituto della dimetilformammide.
- Metiletilchetone solvente polare aprotico penetrante, incolore con odore caratteristico (simile all'acetone). Omologo superiore all'acetone presenta, rispetto a quest'ultimo, una minore volatilità. Impiegabile per la rimozione o la diluizione di olii, cere, resine naturali e sintetiche (epossidiche, fenoliche, acriliche ecc.), inchiostri. $ds = 9,3$
- Toluene, Toluolo solvente apolare, di odore caratteristico (simile al benzene) ottimo per la rimozione di resine naturali fresche, resine sintetiche, olii, grassi, cere e paraffine. Esente da benzene, contiene il 10% di dicloropropano. $Teb = +110,6^{\circ}C$; Ve (relativa all'etere) = 4,5; $ds = 8,9$.
- Tributilsolfato liquido leggero, incolore, inodore, stabile. Impiegato come agente bagnante prima dell'iniezione delle malte per affreschi ed intonaci murali, può essere impiegato anche come coadiuvante per la macinazione dei pigmenti e per facilitare la dispersione degli stessi in acqua. Miscibile con la maggior parte dei solventi e diluenti si rileva un buon solvente per lacche, resine viniliche ed inchiostri. È inoltre un sequestratore per solfati. 1 ml si scioglie in circa 165 ml di acqua.
- Tricloroetano liquido limpido, incolore, di odore etereo caratteristico. Solvente non infiammabile ottimo per oli, grassi, cere e resine sia naturali che artificiali. È moderatamente volatile e offre scarsi fenomeni di ritenzione.
- Tricloroetilene (trielina) liquido limpido, di odore caratteristico che ricorda il cloroformio. Buon solvente per olii, grassi, cere, bitumi. Impiegato per la pulitura e grassaggio di metalli e tessuti. Presenta, inoltre, un effetto insetticida.
- Xilene, Xilolo solvente apolare aprotico, di odore caratteristico ottimo per la rimozione di resine naturali fresche, resine sintetiche, olii, grassi, cere e paraffine. Esente da benzene, contiene il 10% di dicloro propano. $ds = 8,8$
- White spirit (ragia dearomatizzato) miscela di idrocarburi, liquido limpido di odore caratteristico. Insolubile in acqua ma miscibile con la maggior parte dei solventi organici. Le miscele più utilizzate saranno le cosiddette miscela 2A formata da acqua, ammoniaca (al 6%); miscela 3A formata da acqua, acetone, alcool etilico puro (di norma in rapporto 1:1:1), miscela 4A formata da acqua, acetone, alcool etilico puro, ammoniaca al 6% (in rapporto 1:1:1:1). Tutti i rapporti indicati sono da considerarsi orientativi e potranno essere modificati ribilanciando i componenti.

5. ACCERTAMENTI ANALITICI E DIAGNOSTICI

ACCERTAMENTI ANALITICI E DIAGNOSTICI – GENERALITA'

Il progetto di restauro dovrà, obbligatoriamente, essere redatto in stretta relazione con la campagna d'indagini diagnostiche eseguita sul manufatto oggetto d'intervento preliminarmente all'inizio dei lavori. Non dovrà esistere, perciò, la distinzione tra il progetto di restauro e il progetto di indagine diagnostica (questo ultimo non dovrà essere riservato soltanto ai monumenti di riconosciuto valore storico, ma anche a quei manufatti, cosiddetti minori, che partecipano a comporre il tessuto dei centri storici). La redazione di un pre-progetto, in grado di leggere e "svelare" il manufatto, garantirà una diagnosi corretta ed accurata dei meccanismi innescanti il deperimento così da poter intervenire su di essi con soluzioni più efficienti. Il progetto di indagine diagnostica non dovrà essere circoscritto alle sole indagini preliminari, ma dovrà essere concepito come parte integrante del progetto seguendo per questo, di volta in volta, le procedure previste, controllandone l'efficacia (collaudi in corso d'opera), ispirando, casomai, nuove soluzioni.

Per ulteriori criteri generali inerenti l'applicazione delle prove non distruttive si rimanda a quanto enunciato nel documento NorMaL 42/93.

Solo comparando, sovrapponendo e mettendo in relazione i dati assimilati, mediante idonee competenze e professionalità, sarà possibile redigere documenti e relazioni determinanti per progettare e programmare un valido progetto di restauro. Il progetto diagnostico dovrà essere preparato per tempo (legge 109/1994 prevede il progetto di diagnostica all'interno del progetto definitivo; art. 16, par. 4), così da fornire un'anamnesi appropriata del manufatto analizzato, e di conseguenza governare il progetto esecutivo d'intervento.

Nel caso in cui le indagini diagnostiche siano previste negli elaborati di progetto ovvero, espressamente richieste dalla D.L. sarà cura dell'appaltatore provvedere ad eseguirle così da garantire, il sistematico quanto scientifico, rilevamento di informazioni concernenti lo stato di conservazione e/o i processi di degrado. Ogni tipo di indagine dovrà essere, obbligatoriamente, concordata ed esaminata con la D.L. in relazione al tipo di procedura da mettersi in opera e all'eventuale zona del prelievo. Una qualsiasi analisi dovrà, necessariamente, essere affidata a personale, istituto, ditta, laboratorio riconosciuti e autorizzati dagli organi di tutela del bene in pieno accordo con le indicazioni della D.L.

Nei casi in cui le indagini richiedessero l'esecuzione di minimi prelievi di materiale questi, potranno essere eseguiti solo dietro specifica autorizzazione e se, a parere della D.L. non fosse possibile apprendere i dati in oggetto in maniera differente. In ogni modo non dovrà essere tollerato il ricorso sistematico a tecniche distruttive. In presenza di manufatti di particolare valore storico, architettonico, archeologico o documentario i suddetti campioni di materiale dovranno essere prelevati seguendo le prescrizioni indicate nel documento NorMaL 3/80 così riassunte:

- il campione dovrà essere eseguito solo dietro autorizzazione scritta dell'organo di tutela del manufatto;
- il campione dovrà essere eseguito sotto la responsabilità di chi effettuerà l'analisi;
- il numero e la quantità dei prelievi, compatibilmente con le analisi prescritte, dovranno essere minimi; le zone di prelievo dovranno, in linea generale, essere scelte tenendo conto della necessità di non danneggiare in alcun modo l'estetica del manufatto.

Durante la fase di prelievo sarà cura dell'appaltatore non arrecare alcun danno al manufatto, inoltre, laddove l'area del prelievo e/o di indagine non fosse raggiungibile dall'operatore dovrà essere compito dell'Appaltatore mettere in opera tutte le strutture accessorie ossia strutture fisse come ponteggi, trabattelli, ponti di servizio, castelli di carico ecc. in modo da garantire il prelievo dei campioni e la periodica possibilità di accesso per la lettura dei dati. L'Appaltatore dovrà, inoltre, anche se non espressamente specificato nell'intervento che coinvolge le superfici, fornire l'energia elettrica, se richiesta dalla specifica indagine, e provvedere al ripristino delle zone relative ai prelievi dei campioni.

Le indagini conoscitive si divideranno in due categorie:

- indagini distruttive: le indagini di tipo invasivo o "distruttivo", si basano sull'esigenza di operare un'ispezione diretta e necessitano di veri e propri campioni da sottoporre ad analisi chimico-fisiche di laboratorio. La necessità di reperire un campione comporta, seppure in maniera limitata e circoscritta, la compromissione ulteriore dello stato di degrado del manufatto oggetto di studio. Quando l'indagine si prefigge lo scopo di immagazzinare una grande quantità di dati dovrà essere prelevato, e successivamente esaminato, un consistente numero di campioni; tale operazione causerà inevitabilmente un'alterazione dello stato conservativo nonché un disagio a chi, eventualmente, risiede nel manufatto. L'individuazione puntuale di deterioramenti e di fattori degenerativi non consente una facile composizione del quadro globale il quale dovrà essere rappresentato per interpolazione tra

situazioni campione e per deduzioni. Il vantaggio di questo metodo risiede nel fatto che su un campione sarà possibile compiere numerose prove di laboratorio e, quindi, ricavare un numero elevato d'informazioni;

- indagini non distruttive: si possono definire indagini non distruttive tutte quelle tecniche la cui applicazione non compromette l'integrità funzionale della struttura e, allo stesso tempo, non implica il danneggiamento o l'alterazione dell'aspetto di parti di essa. Dovrà, necessariamente, esistere una correlazione dimensionale tra la grandezza dell'oggetto indagato e la traccia lasciata dall'indagine. Le tecniche di indagine non distruttive non eliminano del tutto le prove "distruttive", in quanto spesso si rende necessario accostarle anche a prove in laboratorio su provini prelevati in situ; in questi casi però, non si rischia di prelevare campioni non caratterizzanti in quanto, la scelta viene guidata dai dati ricavati dalle indagini precedenti. Questo tipo d'indagine presenta due qualità importanti: non compromette lo stato di fatto dell'edificio neanche a livello statico e limita molto le intromissioni con le attività interne dell'edificio. In linea di massima le indagini non distruttive potranno essere ulteriormente suddivise in passive (o non invasive) e in immagini attive (o invasive): le prime annoteranno e quantificheranno i fenomeni fisici rilevabili senza interventi artificiali di stimolazione; quelle attive, invece, richiederanno, anche se in minima misura, sollecitazioni artificiali di natura diversa in relazione dai fenomeni fisici che la strumentazione in oggetto sarà in grado di rilevare.

INDAGINI IN SITU ATTE AD APPROFONDIRE LA CONOSCENZA SULLE STRATIFICAZIONI DELL'EDIFICIO E SULLE CARATTERISTICHE STRUTTURALI E COSTRUTTIVE

Per quanto concerne l'esecuzione e l'eventuale interpretazione delle immagini riprese, dei dati e di tutte le informazioni raccolte durante la campagna diagnostica sarà indispensabile che l'appaltatore si affidi ad operatori esperti e qualificati che abbiano piena coscienza specifica degli strumenti da utilizzare, dei materiali e delle strutture da indagare. Questo, fondamentalmente, sarà legato al fatto che sovente le immagini viste e/o trasmesse dagli strumenti si rileveranno alquanto falsate e non sempre di facile interpretazione per gli "non addetti" ai lavori.

5.1.1 INDAGINE TERMOGRAFICA (O TERMOVISIONE)

L'indagine termografica è un'analisi di tipo qualitativo, rigorosamente "non distruttiva", a carattere estensivo (fornirà tutti i dati che rientreranno all'interno del quadro dell'obiettivo rilevatore), di rapida esecuzione che consente, in tempo reale, di acquisire informazioni globali e/o parziali a seconda del contesto e dello scopo dello studio. Questa analisi si basa sul principio della termodinamica per il quale ogni corpo è caratterizzato da una propria emissione termica in relazione della sua temperatura superficiale, che a sua volta sarà condizionata dalla conducibilità termica e dal calore specifico di ogni materiale; questi due ultimi parametri interpretano, rispettivamente, la tendenza del materiale a trasmettere o a trattenere il calore. Le diversità riscontrate nell'emissione, dovute alla conducibilità termica e al calore specifico, saranno riferite ai diversi materiali (laterizio, pietra, malta, legno ecc.) che compongono la struttura e/o la superficie indagata.

La termografia opererà nella banda delle radiazioni infrarosse (I.R.) e permetterà la visualizzazione di immagini non comprese nel campo del visibile (ovvero nella banda di radiazioni elettromagnetiche comprese tra 0,4 e 0,75 micron) ma estese in quello dell'infrarosso ed in particolare alla regione spettrale compresa tra 2 e 5,6 micron per la short wave (infrarosso corto) e tra 8 e 12 micron per la long wave (infrarosso lungo). Se non diversamente specificato sarà consigliabile utilizzare strumentazioni sensibili nel lontano infrarosso in quanto sarà il più lontano possibile dallo spettro della luce visibile e quindi si rileverà il meno "disturbato". Per ottenere la sensibilità termica ottimale e quindi, un'immagine esente da disturbi, sarà necessario che il raffreddamento dei rilevatori sia a temperatura più bassa possibile, stabile ed indipendente dalla temperatura ambientale; i sistemi di raffreddamento dei sensori in uso sono sistemi criogenici che impiegheranno azoto liquido (-196°C) od argon (-186°C), sistemi a circuito chiuso Stirling (-150°C) o sistemi termoelettrici (-70°C). Se non diversamente specificato da prescrizioni della D.L. sarà sconsigliabile eseguire l'indagine in presenza di pioggia, vento e soleggiamento diretto in quanto, in tali condizioni, è probabile che la differenza di temperatura non sia dovuta ad una disomogeneità di materiali, ma piuttosto alle diversità di esposizione superficiali.

5.1.1.1 APPARECCHIATURA

La strumentazione termografica (la cui sensibilità varierà da -30° a +1000°C), è costituita da una telecamera ad infrarossi con sistema ottico composta da un obiettivo frontale con focali di diversa lunghezza (grandangolo o teleobiettivo) ed unico blocco di scansione a prismi rotanti. Le lenti dovranno essere predisposte per eseguire una prima selezione del campo elettromagnetico. Un semiconduttore convertirà, in seguito, le radiazioni infrarosse in un segnale video che dopo essere preamplificato verrà, inviato all'unità di rilevazione.

La registrazione delle immagini termografiche potrà essere eseguita, a seconda delle prescrizioni di progetto, con un sistema fotografico convenzionale, su nastro magnetico o digitale. L'apparecchiatura potrà essere utilizzata sia sistemata su idoneo carrello o cavalletto sia spostata direttamente dall'operatore, la stessa dovrà essere alimentata mediante batteria o, qualora sarà possibile, dalla rete di distribuzione elettrica. L'immagine si effettuerà riprendendo con la telecamera la superficie oggetto di esame, essa sarà, immediatamente, visualizzata sul monitor dell'unità di rilevazione e, se non diversamente specificato dalla D.L., saranno registrate (con prese fotografiche o in videotape) solo le immagini termografiche più significative.

Le radiazioni termiche (I.R.) emesse dalla superficie saranno raccolte con l'ausilio della strumentazione termografica, che avrà il compito di trasformarle prima, in segnali elettrici e dopo in immagini in bianco e nero che utilizzeranno una scala di tonalità di grigio (in linea generale le tonalità scure indicheranno le zone fredde e quelle chiare le zone calde) tali immagini (il termogramma) potranno, inoltre, ove prescritto dagli elaborati di progetto essere trasportate, attraverso un'interfaccia, su monitor a "falsi colori" con una scala di riferimento che riporterà sia il campo di temperatura inquadrato per ogni colore sia le rispettive temperature assolute. Secondo le prescrizioni di progetto o specifiche indicazioni della D.L. sarà cura dell'appaltatore produrre il numero richiesto di stampe fotografiche delle immagini ottenute in video ovvero, realizzare la digitalizzazione delle stesse mediante specifiche elaborazioni al computer. Se non diversamente specificato, le immagini riprese per singoli termogrammi dovranno, altresì, essere rimontate in sequenza di accostamento così da realizzare, mediante mosaicatura, un'immagine continua; le singole termoeffimmagini dovranno, necessariamente, essere rese a quadro verticale utilizzando, per questo comuni software di gestione immagine (sistemi di raddrizzamento, collimazione e referenziazione grafica).

5.1.1.2 APPLICAZIONI

Questo tipo di indagine potrà essere eseguita su ogni tipo di superficie ed apparecchio murario; andrà, in ogni caso, tenuto presente che, a seconda del tipo di rivestimento, si potranno ottenere risposte differenti relative a problematiche diverse; ad esempio, per una superficie intonacata, la temperatura dipenderà contemporaneamente da una serie di fattori, quali la disomogeneità del materiale al di sotto dell'intonaco, eventuali distacchi e rigonfiamenti, la presenza di umidità, differenti esposizioni all'irraggiamento diretto, diversa temperatura di riscaldamento degli ambienti interni, fenomeni di irraggiamento indiretto da parte di eventuali edifici limitrofi, vortici e correnti d'aria. Un secondo fattore da non sottovalutare che potrà essere causa di letture falsate sarà l'influenza delle caratteristiche fisico-ambientali limitrofe al manufatto oggetto di studio (ad es., valori di umidità relativa dell'aria); di conseguenza sarà necessario che il manufatto sia "forzato" termicamente con una quantità di calore tale da garantire una differenza termica tra la superficie e l'ambiente circostante di almeno 10°C. Sarà specifica cura dell'appaltatore porre particolare attenzione qualora si dovessero svolgere indagini su superfici dipinte per le quali la sollecitazione termica dovrà, necessariamente, essere effettuata nell'assoluto rispetto delle superfici pittoriche, molto sensibili agli stress termici. In questo caso sarà fondamentale ricorrere a batterie di lampade a bassa potenza non focalizzate sulla parete da riscaldare e, comunque, localizzate a distanza di sicurezza dalle zone dipinte.

In alcuni casi, laddove la superficie da indagare non sia riscaldata per irraggiamento solare diretto (ad es., superfici esterne esposte a nord, superfici in ombra, ambienti chiusi) e dietro specifiche della D.L. l'appaltatore dovrà, necessariamente, al fine del rilevamento, utilizzare corpi scaldanti (eccitazione termico-molecolare artificiale). Il riscaldamento dovrà, preferibilmente, utilizzare termoconvettori, in grado di diffondere uniformemente il calore sulla superficie; l'uso di lampade ad infrarosso dovrà, dove sarà possibile, essere evitato in quanto comporterebbe un riscaldamento meno omogeneo e, di conseguenza, una lettura meno efficiente. Secondo le prescrizioni di progetto o di particolari problematiche di cantiere potranno essere messe in opera tre differenti procedure:

- per riflessione: ovvero il corpo scaldante e la telecamera saranno allocate sullo stesso lato del manufatto: la telecamera rileverà le differenti intensità di luce riflesse dalla superficie;
- per assorbimento: il manufatto sarà precedentemente sottoposto a riscaldamento e successivamente avverrà la lettura termografica;
- per trasmissione: l'oggetto verrà interposto tra la sorgente scaldante e la strumentazione termografica così da poter memorizzare sia le radiazioni trasmesse sia quelle emesse.

L'indagine termografica potrà essere richiesta all'Appaltatore al fine di ricavare preziose informazioni nello studio del degrado dei rivestimenti (intonaci, lastre di pietra, pellicole pittoriche, piastrelle di ceramica ecc.) e delle strutture murarie evidenziando l'eventuale discontinuità dei distacchi, la stratificazione delle fasi costruttive (con conseguente lettura dei corpi di fabbrica aggiunti) individuando al di sotto della superficie intonacata sia elementi architettonici e/o strutturali

(quali ad es. ammorsature tra le tessiture murarie, architravi, piattabande, colonne o pilastri, inserti in legno, catene in ferro, archi di scarico ecc.), sia i differenti materiali componenti le murature (ad es. corsi di malta, pietra, mattoni, zanche ecc.); inoltre potrà essere richiesto di rilevare la presenza di eventuali tamponature di porte e finestre, la presenza di fodere e “rimpalli” murari, la tipologia dell’apparecchio murario, orditura dei solai o centinature di coperture volate celate da controsoffitti, le cavità, le discontinuità murarie e/o strutturali, le buche pontae occluse, le canne fumarie in uso o in disuso, i distacchi i vuoti, le sbollature sotto lo strato corticale (tutti indagati sfruttando le 83 proprietà coibenti dell’aria a riposo), nonché l’analisi dell’impiantistica mirata alla individuazione dei tracciati e delle canalizzazioni di impianti idrico-sanitari e termici in fase di esercizio, l’andamento delle dispersioni termiche (per le quali sarà conveniente operare il rilievo nella stagione invernale, quando nei locali interni sarà in funzione il riscaldamento), la distribuzione dell’umidità (una muratura bagnata sarà sempre più fredda di una asciutta in quanto le zone asciutte e quelle umide danno luogo a differenti flussi di emissione termica) e l’identificazione dei ponti termici.

L’appaltatore dovrà, ove sarà richiesto, accertare, altresì, la presenza sulle superfici intonacate e sulle pietre calcaree, di zone solfatate, riconoscibili dalla temperatura puntuale che sarà dissimile rispetto a quella di zone carbonatiche.

Oltre che in fase preliminare l’indagine termografica potrà essere prescritta dagli elaborati di progetto nella fase di controllo-collauda ad esempio, per visualizzare i percorsi preferenziali del materiale iniettato come consolidante e l’immediata segnalazione del formarsi di eventuali sacche e/o distacchi.

5.1.1.3 SPECIFICHE

L’indagine termografica permetterà di arricchire il rilievo con carte tematiche specifiche quali la carta delle “fughe termiche” (ponti termici e zone di condensa), la carta delle discontinuità strutturali, la carta dell’umidità (con particolare attenzione verso le concentrazioni “anomale”), il quadro fessurativo ecc. Al termine dell’indagine, sarà cura dell’appaltatore restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto (dovrà obbligatoriamente, in ogni caso, essere presente la relazione di interpretazione dati); nell’eseguire la suddetta indagine l’appaltatore dovrà attenersi alle raccomandazioni NorMaL 42/93.

5.1.2 INDAGINE ENDOSCOPICA

L’indagine endoscopica è un’analisi analitica di tipo puntuale, di norma “non distruttiva”, che permette l’esplorazione di cunicoli e cavità comunicanti con l’esterno ma non raggiungibili dalla visione diretta. Gli endoscopi, utilizzati in edilizia, sono strumenti ottici, elettronici o a fibre ottiche progettati per raggiungere cavità inaccessibili all’osservazione diretta e possono avere diametri molto ridotti che variano da pochi centimetri a qualche millimetro. Oltre al sistema ottico per l’ispezione, l’endoscopio dovrà essere dotato di una testina luminosa (in modo da consentire l’illuminazione dell’interno del foro o dell’intercapedine indagata) e di un sistema di riferimento (posto o sull’oculare o sull’obiettivo) per la stima dimensionale dell’immagine nonché, di idonei sistemi fotografici (preferibilmente fotocamera digitale ad alta risoluzione minimo 5,0 megapixel) o di registrazione (videocamera digitale) applicati all’oculare.

5.1.2.1 APPARECCHIATURA

Gli endoscopi potranno essere classificati in tre tipi base con caratteristiche differenti e con diverse possibilità operative:

- rigido (boroscopio): si ricollega ai sistemi ottici tradizionali (essenzialmente simile al periscopio) è costituito da una sonda rigida dotata di un obiettivo unito ad uno o più prismi ed a più gruppi ottici che trasportano l’immagine al piano focale di un oculare esterno. Di norma questo strumento potrà essere prolungato fino ad arrivare ad alcuni metri di lunghezza (circa 8 m), tale misura sarà intrinsecamente legata al suo diametro dato che il potere risolutivo dell’immagine all’oculare sarà notevolmente influenzata dalla luminosità stessa. L’illuminazione (che potrà essere a luce calda o a luce fredda) sarà garantita da una lampadina montata di norma accanto alla testa della sonda. Il sistema a luce calda presenterà sia il vantaggio di non alterare i colori dei materiali indagati, sia di garantire una buona visione, al contempo però potrebbe presentare l’inconveniente di surriscaldare determinati materiali (ad es. il legno) e di denunciare una “zona d’ombra” della sonda nel punto dove è alloggiata la lampadina. La luce fredda non avrà nessuna zona d’ombra e non apporterà calore ai materiali ma presenterà lo svantaggio di una resa luminosa minore nonché una notevole alterazione dei colori.
- flessibile (fibroscopio): le immagini e l’illuminazione saranno trasmesse con fasci di fibre ottiche (il fascio centrale avrà il compito di trasferire l’immagine mentre quello radiale servirà ad illuminare l’area oggetto di studio); questi tipi non saranno, di norma, prolungabili, ma presenteranno il notevole vantaggio di avere delle dimensioni

estremamente ridotte (\varnothing 6-8 mm) e di adattarsi alla variazione di linearità del foro; questo tipo si rileverà utile qualora si dovrà indagare cavità preesistenti sfruttando fori irregolari o fessure già formate;

- videoscopio: variante-evoluzione dell'endoscopio flessibile è costituito oltre che da una sonda endoscopica flessibile da un videoprocessore (che ha lo scopo di elaborare i segnali luminosi trasmessi dalla sonda) e da un monitor. Le immagini ricostruite sul video possono essere registrate su supporti magnetici o essere sottoposte a tecniche image processing. Così come nell'endoscopio flessibile la testa della sonda è comandata dall'esterno.

5.1.2.2 APPLICAZIONI

L'uso di questo strumento si rileverà utile all'appaltatore per eseguire una serie d'indagini di tipo non distruttivo come, ad esempio: la verifica dello spessore delle lastre di rivestimento, la natura e lo stato di conservazione della muratura e del suo allettamento, il controllo degli appoggi dei solai (ispezionando la geometria celata da controsoffitti), l'ispezione delle condutture d'impianti, intercapedini, canne fumarie ecc. Questa tecnica si rileverà molto valida se combinata ad altre tecniche diagnostiche, come ad esempio la termografia. Se non diversamente specificato da prescrizioni di progetto, le immagini memorizzate dovranno essere trasportate, o direttamente registrate, anche su supporto informatico e rielaborate mediante l'impiego di un computer. Questo tipo di archiviazione garantirà sia l'acquisizione di dati fissi e fruibili per successive analisi e/o confronti, sia di ridefinire, anche in un secondo momento, il processo analitico; queste immagini potranno, infine, essere, sottoposte a tecniche di trattamento di immagine digitale in modo che, grazie a sistemi di selezione cromatica, risulteranno in grado di mostrare l'eventuale esistenza di dettagli morfologici e strutturali indistinguibili all'esame macroscopico diretto.

5.1.2.3 SPECIFICHE

Al fine di favorire l'uso di endoscopi l'appaltatore, dietro specifica autorizzazione della D.L., potrà eseguire dei fori (con trapano ad esclusiva rotazione) o dei micro-carotaggi (generalmente di dimensioni comprese tra 8 e 16 mm). Al termine dell'indagine, sarà cura dell'appaltatore fornire una soddisfacente documentazione fotografica o filmata sull'analisi nonché, restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto (dovrà obbligatoriamente, in ogni caso, essere presente la relazione di interpretazione dati).

5.1.3 INDAGINE MAGNETOTERMICA (O MAGNETOSCOPICA)

Tecnica analitica "non distruttiva" consente il rilevamento di materiali ferromagnetici e non nascosti all'interno di materiali inerti, quali le murature e i conglomerati. Il principio su cui si basa è quello dell'induzione elettromagnetica, ovvero della capacità di un campo magnetico di indurre una corrente elettrica e viceversa. L'indagine potrà essere eseguita secondo le prescrizioni di progetto tramite un magnetometro o un metal-detector ovvero uno strumento composto da un oscillatore che genererà corrente ad alta frequenza attraverso una bobina; in presenza di metalli si avrà un forte assorbimento di corrente, proporzionale al quadrato della distanza. Dietro indicazioni della D.L. potrà essere utilizzato un apparecchio portatile leggermente più complesso, alimentato con batterie interne, composto da una sonda collegata via cavo con la centralina di misura; la sonda sarà costituita da una bobina che emetterà una frequenza di valore opportuna e di una seconda bobina normale a questa. Il magnetometro a doppia bobina sarà in grado di indagare più in profondità rispetto al metal detector monobobina. L'indagine avverrà passando, meticolosamente, con movimento lento e regolare la sonda sulla superficie da investigare (sarà, pertanto, necessario un continuo contatto con la superficie da indagare); l'eventuale presenza di metalli nell'area d'influenza farà mutare il voltaggio della bobina secondo un rapporto diametro/copertura dell'oggetto metallico; vale a dire: il segnale elettrico emesso sarà in funzione della dimensione e della profondità dell'elemento; tali variazioni verranno visualizzate sull'unità di rilevamento attraverso un indicatore di tipo analogico. L'indagine magnetometrica sarà a carattere puntuale cioè, il dato ottenuto si riferirà a ciò che sarà investito dal campo elettromagnetico, che coincide con la dimensione della sonda e non permetterà, pertanto, di valutare lo stato di degrado o di corrosione dell'elemento metallico.

5.1.3.1 APPLICAZIONI

Negli edifici storici, l'appaltatore potrà essere chiamato ad utilizzare tale tecnica al fine di rilevare le tubature (in ghisa grigia, piombo, rame, ferro ecc.) all'interno delle murature, verificare l'esistenza di zanche, chiodature, staffature od elementi metallici di ancoraggio tra lastre di rivestimento e la struttura portante od ancora per precise localizzazioni (con relativi dimensionamenti) di rinforzi di natura metallica come tiranti, catene o capochiavi annegati nella muratura od ancora spallette metalliche di sostegno di nuove aperture. All'appaltatore potrà, anche, essere richiesta di eseguire l'indagine, mediante un particolare magnetometro detto "pacometro", al fine di individuare le gabbie di armatura nelle

strutture di cemento armato (il pacometro sarà, infatti, in grado di rilevare numero e diametro dei ferri e lo spessore del copriferro, anche se, in caso di più barre ravvicinate, l'operazione dovrà essere eseguita con particolare attenzione in quanto, i segnali di localizzazione potranno influenzare la stima del copriferro).

Il rilievo con magnetometro eseguibile su manufatti con fregi decorativi e/o pittorici dovrà, necessariamente, essere governato dall'uso di apparecchi contraddistinti da emissioni di onde elettromagnetiche a bassissima frequenza e ridotta potenza.

5.1.3.2 SPECIFICHE

Questo tipo d'indagine da utilizzare preferibilmente come completamento ad altre (ad es. termografia) presenterà i limiti di essere fortemente sensibile ai forti sbalzi di temperatura e ai forti campi elettromagnetici nonché sarà praticamente inutilizzabile per indagare oltre i 10-12 cm di profondità. Qualsiasi sia la natura dello strumento l'appaltatore dovrà rispettare le istruzioni d'uso fornite dal produttore nonché segnalare i ritrovamenti su apposita carta tematica. Al termine dell'indagine, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto (dovrà obbligatoriamente, in ogni caso, essere presente la relazione d'interpretazione dati).

5.1.4 INDAGINE GEORADAR

5.1.4.1 APPARECCHIATURA

Il dispositivo trasmittente-ricevente (antenna) collegato, per mezzo di un cavo in fibre ottiche, ad un'unità centrale (registratore magnetico e restitutore grafico) invierà una serie ininterrotta di impulsi elettromagnetici all'interno del manufatto ovvero del terreno. In presenza di superfici di discontinuità una prima quota di energia verrà riflessa e raccolta dalla sezione ricevente dell'antenna contemporaneamente, la porzione rimanente entrerà più a fondo per essere "specchiata" da un piano sottostante. Simultaneamente ai movimenti-rivelatori dell'antenna il registratore magnetico registrerà il segnale che verrà riprodotto da quello grafico il quale darà vita ad una sezione continua spazio-tempo, nella quale saranno osservabili le "impronte" delle diverse riflessioni o, in ogni caso, delle anomalie delle risposte. Ogni singola sezione riporterà sull'asse delle ascisse i valori della lunghezza mentre su quello delle ordinate la profondità; le intensità di riflessioni saranno ben riconoscibili con scale di colore o con differenti tonalità di grigio. Ove richiesto dalle prescrizioni di progetto sarà cura dell'appaltatore rielaborare le informazioni acquisite con idonee ricostruzioni 3D.

Le antenne che l'appaltatore dovrà, necessariamente, utilizzare dovranno essere diverse in rapporto alla profondità d'analisi e al tipo di obiettivo richiesto dalle prescrizioni di progetto; le frequenze andranno da 100 a 1500 MHz (per indagini di tipo archeologico se non diversamente specificato si utilizzeranno antenne con frequenza compresa tra i 100 e i 400 MHz con profondità di indagine variabile da pochi metri a qualche decina di metri; per rilievi su manufatti architettonici le frequenze di esercizio saranno comprese tra i 500 e i 1500 MHz con profondità non superiori, di norma, a 1,5 m) tenendo presente, però, che più bassa sarà la frequenza più aumenterà il grado di penetrazione del segnale, ma, contemporaneamente, diminuirà in proporzione, il grado di definizione e la sensibilità di rilevazione.

5.1.4.2 APPLICAZIONE

La procedura esecutiva del rilievo radar conterà nell'esecuzione di una sequenza di sezioni radarstratigrafiche da spostare lungo percorsi di rilievo prestabiliti dagli elaborati di progetto al fine di produrre profili delle superfici indagate. L'antenna ricetrasmittente dovrà scorrere su un'area sufficientemente piana e liscia seguendo movimenti continui e abbastanza lenti. I fattori principali che l'appaltatore dovrà valutare per operare una rilevazione georadar sono: spessore del mezzo da indagare, la dimensione dell'obiettivo da ricercare e relative caratteristiche elettromagnetiche.

All'appaltatore potrà essere fatta richiesta di utilizzare l'indagine georadar nei seguenti campi:

- archeologia con l'individuazione di siti archeologici sepolti (in concomitanza di altri tipi di indagini quali l'interpretazione aereofotogrammetrica) e il rilievo di preesistenze inaccessibili;
- ambiente al fine di accertare la presenza di cavità, camminamenti, localizzazione di ordigni bellici inesplosi, presenza di elementi che potrebbero essere di intralcio a procedure di interrimento cavi;
- architettura/restauro al fine di accertare nelle sezioni verticali la presenza di cavedi, canne fumarie, impianti sotto traccia, stratigrafia e classificazione delle murature con identificazione delle superfici di separazione dei differenti materiali, rilievo di elementi di continuità quali fessurazioni, fratture e lesioni, l'eventuale presenza di zone umide, nonché per il controllo dell'ancoraggio di lastre di rivestimento ovvero rinforzi di natura metallica come tiranti,

catene o capochiavi. In fase di controllo-collauda potrà essere prescritta per visualizzare i percorsi preferenziali del materiale iniettato come consolidante. Nelle strutture orizzontali, invece, potrà essere richiesta al fine di determinare locali interrati, antiche fondazioni, stratigrafie di pavimenti e di solai con l'individuazione delle strutture primarie e secondarie, inoltre, nelle strutture voltate potrà, essere richiesta per stimare lo spessore del riempimento e della struttura portante.

5.1.4.3 SPECIFICHE

Questo tipo di indagine dovrà essere, preferibilmente, utilizzata come completamento di indagini storiche ed archivistiche dalle quali sarà possibile, sia ricavare informazioni per indirizzare la scansione nonché minimizzare eventuali operazioni di scavo, sia trarre giustificazioni di quanto rilevato dal georadar. Qualsiasi sia la natura dello strumento l'appaltatore dovrà rispettare le istruzioni d'uso fornite dal produttore. Al termine dell'indagine, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto (dovrà obbligatoriamente, in ogni caso, essere presente la relazione di interpretazione dati).

5.1.5 INDAGINE TOMOGRAFICA SONICA

L'indagine tomografia sonica è una tecnica rigorosamente "non distruttiva" che si basa sulla trasmissione e successiva ricezione d'onde elastiche con frequenza inferiore ai 5 kHz passanti nell'oggetto da studiare.

La tomografia sonica indagherà il manufatto con una rete molto fitta di misure soniche che attraverseranno la medesima sezione con diverse angolazioni.

La strumentazione sarà quella utilizzata per le normali indagini soniche; al fine di ridurre i tempi di acquisizione dati potrà essere indicato utilizzare un sistema di registrazione multicanale che raccolga simultaneamente i segnali. Il risultato finale si concretizzerà nella rappresentazione delle velocità per sezioni indagate (ricostruibili in 3D) secondo una scala cromatica prefissata (che potrà variare dal magenta al blu indicando il primo basse velocità e il secondo alte velocità).

Valori bassi della velocità mostreranno la variazione negativa delle caratteristiche elastiche e meccaniche indicando un possibile deterioramento della struttura.

Per assicurare un risultato attendibile sarà cura dell'appaltatore indagare la sezione con un'appropriata, quanto sufficiente, copertura angolare; questo sarà facilmente ottenibile quando si opererà in sezioni orizzontali di elementi raggiungibili da ogni lato; nel caso di murature o comunque di sezioni verticali dove l'accesso sarà possibile solo su due lati della sezione si avrà un'abbassamento di affidabilità specialmente nelle zone della sezione adiacente ai lati non accessibili.

5.1.5.1 SPECIFICHE

Qualsiasi sia la natura dello strumento l'appaltatore dovrà rispettare le istruzioni d'uso fornite dal produttore. Al termine dell'indagine, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto (dovrà obbligatoriamente, in ogni caso, essere presente la relazione di interpretazione dati).

5.1.6 INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA

La tomografia elettrica di superficie (ERT Earth Resistance Tomography) è una metodologia geofisica non distruttiva che consente di determinare la distribuzione della resistività (resistenza opposta dal terreno o dalle murature al passaggio di corrente elettrica) nelle tre direzioni spaziali; questa tecnica sarà, preferibilmente, indirizzata verso indagini di tipo archeologico (esplorazione indiretta del sottosuolo), tuttavia, ove richiesto da specifiche di progetto, potrà essere applicata anche per indagare le murature in elevazione.

Questa specifica metodologia di indagine, messa a punto per consentire un'acquisizione automatica sul campo e per un'interpretazione dei dati in termini bi-tridimensionali, si attua mediante l'utilizzo di un numero abbastanza elevato di elettrodi (16, 24, 32, 64 ed oltre a placca da applicare sulla superficie muraria o a picchetti in rame da inserire nel terreno) in relazione alla risoluzione e alla profondità d'indagine richiesta negli elaborati di progetto. I suddetti elettrodi potranno essere disposti, secondo le prescrizioni della D.L., in pozzetto (Tomografia Elettrica in Pozzo) e/o in superficie (Profili Topografici di Superficie).

Gli elettrodi dovranno essere messi in opera distanziati tra loro in ugual misura e collegati ad una apparecchiatura computerizzata allo scopo di agevolare il reperimento di una gran quantità di dati particolareggiati sull'evoluzione laterale

e verticale della resistività elettrica; la corrente verrà applicata ad una prima coppia di elettrodi (identificati come A e B) così da poterne misurare la differenza di potenziale con un'altra coppia (C e D). L'operazione dovrà essere ripetuta con una seconda coppia di trasmissione fino a raggiungere il numero massimo di misure indipendenti in relazione alla quantità di elettrodi disponibili. La suddetta sequenza dovrà, necessariamente, essere pre-programmata e interamente automatica. Sarà cura dell'appaltatore elaborare, mediante idonei software avanzati, i dati reperiti così da ottenere immagini 2D o 3D.

L'evoluzione sia verticale che laterale della resistività apparente dovrà essere rappresentata con un grafico (pseudosezione) dove tutti i punti di uguale resistività dovranno essere collegati da una curva detta iso-resistiva. Il rilevato dovrà essere letto in modo da poter sostituire alle resistività apparenti la distribuzione delle resistività reali.

5.1.6.1 SPECIFICHE

Qualsiasi sia la natura dello strumento l'appaltatore dovrà rispettare le istruzioni d'uso fornite dal produttore. Al termine dell'indagine, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto (dovrà obbligatoriamente, in ogni caso, essere presente la relazione di interpretazione dati).

5.1.7 INDAGINE COLORIMETRICA

L'indagine colorimetrica è una tecnica analitica che si basa sulla caratterizzazione colorimetrica dei materiali da costruzione, in funzione di tre parametri base (tinta, luminosità e saturazione). Sarà cura dell'appaltatore utilizzare in parte la fotografia parametrizzata e/o il rilievo diretto, in parte il rilievo strumentale ed infine in ultima battuta le indagini effettuate in laboratorio. Mediante la fotografia parametrizzata (ovvero riprese fotografiche dei singoli campioni effettuate con l'ausilio di un campione di riferimento come la banda Kodak Color Control così da poter controllare le eventuali variazioni della temperatura del colore¹), il rilievo diretto (ovvero il confronto diretto del colore, mediante il corredo di colorimetri standardizzati secondo la scala Munsell^{#2}, fino a trovare il colore più simile; colore e campione dovranno essere osservati contemporaneamente sotto luce naturale diurna preferibilmente dal medesimo operatore) ed il rilievo strumentale basato sulla misurazione della riflettanza diffusa dalla superficie dell'area-campione in esame che potrà essere eseguita secondo le prescrizioni di progetto, mediante colorimetri tristimolo (con i quali sarà possibile ottenere esclusivamente le coordinate cromatiche della tinta), mediante spettrofotometri (che daranno, in aggiunta anche la curva di riflettanza diffusa in relazione alla lunghezza d'onda) o mediante telefotometri (i quali presenteranno il vantaggio, rispetto ai precedenti, di poter operare anche a distanze rilevanti dal campione) l'appaltatore dovrà rilevare l'insieme delle tonalità cromatiche che caratterizzeranno il manufatto oggetto di studio. Le prove di laboratorio (che dovranno, necessariamente, essere precedute da attenti prelievi di limitati campioni) permetteranno, invece, di fissare le caratterizzazioni chimiche delle cariche e dei pigmenti contenuti nel rivestimento.

5.1.7.1 SPECIFICHE

Al termine dell'indagine, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto (dovrà obbligatoriamente, in ogni caso, essere presente la relazione di interpretazione dati nonché la legenda di rilievo con riportata la lettura Munsell); nell'eseguire la suddetta indagine l'appaltatore dovrà attenersi alle raccomandazioni NorMaL 1/93.

5.1.8 INDAGINE SONICA (AUSCULTAZIONE SONICA)

L'indagine sonica è una tecnica analitica di natura fisica di norma "non distruttiva" di tipo puntuale che consente di interpretare le caratteristiche qualitative dei materiali (consistenza fisica e stato di conservazione) misurando ed analizzando le modalità di propagazione di onde elastiche entro un corpo solido. La propagazione di onde elastiche dipenderà strettamente dall'omogeneità del materiale e dal suo modulo elastico.

5.1.8.1 APPARECCHIATURE

La strumentazione che dovrà essere utilizzata dall'appaltatore dovrà essere costituita in linea generale, da una sorgente di emissione di onde elastiche (martello, vibratore elettromagnetico od ad aria compressa), da un captatore dell'energia sonica (velocimetro, accelerometro, microfono) e da un apparecchio di rilevazione dei segnali, composto da un amplificatore, un analizzatore di segnali, un oscilloscopio ed un registratore.

5.1.8.2 APPLICAZIONI

Con tale apparecchiatura l'appaltatore rileverà la deformazione delle onde elastiche (onde sonore a bassa frequenza da pochi Hz ad un massimo di 16 kHz e ad ampia lunghezza d'onda) in un corpo sollecitato a compressione e a taglio (rispettivamente onde longitudinali o primarie P e trasversali o secondarie S): nel suo propagarsi, l'onda elastica perderà naturalmente energia, principalmente per la riduzione dell'intensità iniziale legata alla legge di propagazione, la diminuzione sarà maggiore se vi sarà una diminuzione dell'omogeneità del mezzo. Le frequenze registrate saranno, pertanto, in relazione alle caratteristiche e alle condizioni di integrità della muratura. In presenza di non omogeneità del materiale (anche minime tre elemento ed elemento) la velocità sonica di propagazione diminuirà pertanto, in caso di apparecchio murario (pietra o laterizio) composto da elementi che presentino più o meno le stesse caratteristiche elastiche la variazione di velocità potrà indicare una migliore o peggiore condizione della malta di allettamento. Le lesioni e le condizioni di degrado tagliano le frequenze più alte del segnale acustico disperdendo in modo "anomalo" l'energia.

Le indagini più ricorrenti che potranno essere richieste all'appaltatore, saranno quelle per stabilire la misurazione della profondità di piano di posa delle fondazioni di muratura portante (metodo del carotaggio sonico³, del cross-hole⁴ o del down-hole⁵ sonico, tutti e tre i metodi prevedranno l'inserimento perfettamente verticale di una o più sonde nel terreno), la continuità, lo stato di conservazione e la funzionalità (intesa come tensionamento) di catene metalliche inglobate nella muratura per individuarne lesioni o discontinuità murarie, la presenza di riempimenti "a sacco" nelle murature, la presenza di cavità all'interno di un apparecchio murario e la caratterizzazione degli apparecchi murari in funzione dello strato d'aggregazione malta/laterizio.

Oltre che in fase preliminare l'indagine sonica potrà essere prescritta, dagli elaborati di progetto, nella fase di controllo collaudo al fine di verificare la validità di un consolidamento murario: l'indagine consentirà di valutare l'eventuale incremento di densità della struttura muraria.

Al fine di ottenere dati statisticamente rappresentativi e una più corretta lettura sarà cura dell'appaltatore eseguire, se non diversamente specificato dalla D.L. o da caratteristiche proprie del cantiere (ad es., murature superiori a 80-100 cm di spessore), misurazioni per trasparenza⁶ secondo una maglia regolare (che coprirà alcuni m²) preventivamente predisposta sulla superficie nonché elaborare una mappa della velocità che dovrà dare informazioni sui mutamenti delle peculiarità elastiche di quella data muratura nonché segnalare l'eventuale esistenza di lesioni o soluzioni di continuità (ad es., fessurazioni dovute a cattivi ammorsamenti, rinforzi ecc.).

Per migliorare ulteriormente la lettura, ove richiesto da specifiche della D.L., l'appaltatore si dovrà munire di un sistema di riferimento (ad es. misurazioni prima e dopo eventuali interventi, paragone dei risultati ottenuti in materiali ben conservati con quelli ritenuti degradati).

5.1.8.3 SPECIFICHE

Qualsiasi sia la natura dello strumento l'appaltatore dovrà rispettare le istruzioni d'uso fornite dal produttore. Al termine dell'indagine, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto (dovrà obbligatoriamente, in ogni caso, essere presente la relazione di interpretazione dati).

5.1.9 INDAGINE ULTRASONICA

L'indagine ultrasonica, è una tecnica analitica di natura fisica rigorosamente "non distruttiva" di carattere puntuale in grado di fornire risposte di tipo quantitativo e qualificativo; le prove potranno essere svolte in situ o in laboratorio.

Questa indagine permetterà di conoscere, con accettabile precisione, la qualità e le difformità dei materiali da costruzione (pietre e legno) analizzando il comportamento e le regole di diffusione, al loro interno, di particolari onde elastiche contraddistinte da frequenze superiori ai 20 kHz. Il sistema si baserà sulla determinazione della velocità di propagazione delle onde sonore attraverso il mezzo studiato e sulla registrazione del segnale ricevuto.

5.1.9.1 APPARECCHIATURE

La strumentazione elettronica utilizzata dall'appaltatore dovrà essere composta, in linea generale, da una centralina elettronica di rilevazione dotata di un cronometro ad altissima precisione (al decimo di milionesimo di secondo) a cui saranno collegate due sonde una emittente ed una ricevente (identiche ed interscambiabili) a frequenza fissa di tipo piezoelettrico, e da un'unità oscilloscopica (collegata alla centralina di rivelazione) che visualizzerà il segnale acustico che avrà attraversato il corpo solido.

5.1.9.2 APPLICAZIONI

Gli schemi che l'appaltatore potrà utilizzare per posizionare le sonde saranno: per trasmissione diretta (le due sonde saranno posizionate in due punti speculari su due facce parallele, metodo più attendibile); per trasmissione semi-diretta (le sonde saranno posizionate su due facce ortogonali), per trasmissione indiretta (le sonde saranno posizionate entrambe su di una faccia, metodo meno sensibile sarà obbligo, pertanto, eseguire più serie di misurazioni a varie distanze).

Se non diversamente specificato le frequenze di lavoro, potranno oscillare dai 50 ai 200 kHz, la scelta della frequenza e, di conseguenza, della sonda sarà legata alla singola problematica, in particolare si utilizzeranno onde ultrasoniche a bassa frequenza maggiori di 40 kHz ma inferiori a 200 kHz per indagare materiale sufficientemente compatto come pietra, laterizio e legno; onde ad alta frequenza comprese tra i 500 kHz e i 1,5 MHz per indagare la difettosità di materiali ad alta densità, molto compatti quali ceramiche e metalli.

Al fine di garantire una lettura dei dati la più esatta possibile sarà cura dell'appaltatore eseguire più serie di misurazioni nonché assicurare il miglior contatto possibile tra le sonde ed il manufatto da indagare; se non diversamente specificato da indicazioni della D.L. il contatto dovrà essere garantito interponendo, tra la superficie sensibile delle sonde e quella da analizzare, uno strato di materiale viscoso quale olio, grasso, gel, plastilina o simili. All'appaltatore potranno essere richieste tre tipologie di misure: le misure della velocità del suono in superficie, le misure radiate e le misure in trasparenza. Le prime dovranno essere svolte in modo da garantire l'identificazione delle degenerazioni superficiali del materiale; le seconde dovranno consentire di verificare l'omogeneità del materiale a differente distanza dall'area e saranno ottenibili allorché sia la superficie interna sia quella esterna saranno praticabili; infine, le misure in trasparenza dovranno essere eseguite in modo da poter analizzare il materiale in tutto il suo spessore.

Le indagini più ricorrenti (da eseguirsi in situ o su campioni in laboratorio) che potranno essere richieste all'appaltatore, sono:

- per gli elementi litoidi: presenza di microfessurazioni od altre imperfezioni, spessore degrado superficiale, differenti caratteristiche meccaniche secondo i tre assi cartesiani, caratteristiche meccaniche in relazione agli standard;
- per gli elementi in legno: spessore della degradazione superficiale, caratteristiche meccaniche rilevate nelle due direzioni, parallelamente ed ortogonalmente alle fibre, presenza di irregolarità quali nodi, microfessurazioni ecc., densità relativa;
- per gli elementi in calcestruzzo: omogeneità delle miscele, presenza di microfessurazioni od altre imperfezioni, caratteristiche meccaniche.

5.1.9.3 SPECIFICHE

Qualsiasi sia la natura dello strumento l'appaltatore dovrà rispettare le istruzioni d'uso fornite dal produttore. Al termine dell'indagine, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto (dovrà obbligatoriamente, in ogni caso, essere presente la relazione di interpretazione dati).

MONITORAGGIO RILIEVO DINAMICO

Con il termine monitoraggio o rilievo dinamico dovrà essere inteso un sistema di registrazione temporaneo di dati la cui conseguente interpretazione determinerà una casistica comportamentale del fenomeno. In tali procedure di "rilievo" (riproposte in maniera ciclica più o meno regolare) la frequente memorizzazione dei dati richiederà, di metodi di rilevazione da attuarsi in tempi relativamente ridotti e possibilmente a costi contenuti. Controlli ripetuti nel tempo serviranno a limitare i rischi che si manifesteranno negli intervalli di transizione (ovvero nel lasso di tempo in cui i manufatti non saranno "protetti") durante i quali i deterioramenti potrebbero progredire in maniera incontrollata.

Tutti i sistemi di monitoraggio necessiteranno obbligatoriamente di una accurata manutenzione da parte dell'appaltatore, così da poter verificare periodicamente il corretto funzionamento del sistema e dell'eventuale taratura degli strumenti..

5.1.10 TELERILEVAMENTO

Al fine di documentare l'evoluzione delle patologie del degrado e lo stato di conservazione degli apparecchi murari o delle strutture in genere nel periodo durante il quale esse rimarranno non protette ovvero durante periodi di stasi dei lavori, sarà cura dell'appaltatore, ove prescritto dagli elaborati di progetto, eseguire alcuni monitoraggi-campione (nel numero e della dimensione indicata dalla D.L.) lungo tutte le strutture, nelle diverse esposizioni e su differenti materiali.

Tali rilevamenti-campione saranno eseguiti mediante telerilevamento (indagine non distruttiva, passiva, indiretta) ossia fotografie ripetute ad intervalli di tempo regolari "commentate" in apposite schede pre-progettate e/o aggiornate in corso d'opera (v. specifiche in calce a questo articolo). Il telerilevamento dovrà, necessariamente, essere eseguito in un lasso di tempo pre-programmato secondo le esigenze del progetto e della tipologia di indagine (variabile da poche settimane a diversi mesi). In questa particolare "indagine-rilievo" l'appaltatore dovrà porre particolare cura sia nell'eseguire le riprese fotografiche (ripresa a quadro verticale ossia conservando il parallelismo tra superficie in analisi e piano focale), seguendo le indicazioni dettate dalla D.L., sia nel compilare per ogni singolo fotogramma significativo utilizzato per il monitoraggio i campi presenti nella specifica scheda tipo di rilievo.

5.1.10.1 APPLICAZIONI E APPARECCHIATURE

Al fine di eseguire la procedura di rilievo dinamico (monitoraggio) l'appaltatore potrà utilizzare il telerilevamento avvalendosi secondo le prescrizioni di progetto di fotografie in b/n, a colori o all'infrarosso (I.R.).

La fotografia sia in b/n sia a colori eseguita mediante fotocamere 35 mm reflex (ovvero in formati maggiori opportunamente equipaggiati) o digitali (risoluzione minima 5,0 Megapixel) costituirà non solo un mezzo ausiliario alle operazioni di rilevamento ma anche una vera e propria tecnica di indagine sussidiaria al rilevamento in quanto essa sarà rivolta a verificare ed integrare le informazioni della rappresentazione grafica segnalando aspetti difficilmente documentabili attraverso il disegno (quali ad es. le patologie degenerative o lo stato fessurativo) al contempo si rileverà un utile strumento di monitoraggio e/o di controllo delle trasformazioni subite dal manufatto nel corso dell'intervento di restauro o, più in generale della sua vita.

La fotografia in b/n e a colori potrà essere richiesta, all'appaltatore, oltre, naturalmente come mezzo documentario (foto di servizio periodiche che dovranno documentare il progredire delle operazioni di restauro nel numero e dimensioni che saranno volta per volta indicati dalla D.L. in ogni caso non meno di 2 copie per un minimo di 50 scatti con dimensioni minime 13x18 cm), sia come strumento di interpretazione del manufatto (verifica ed integrazione rilievo), sia come strumento per realizzare il rilievo dinamico (monitoraggio) a patto, però, che le fotografie scattate offrano la possibilità di essere "misurate". Al fine che la misurazione di un oggetto fotografato sia possibile dovrà essere cura dell'appaltatore introdurre degli elementi come aste o reticoli quadrati (suddivisi all'interno in quadri di 10 x10 cm), basi di misurazione dirette ecc. capaci di segnalare le dimensioni dell'oggetto rappresentato. La fotografia dovrà essere, inoltre, priva di "effetti"; nella fattispecie: linee cadenti, ombre proprie, ombre portate molto scure e, soprattutto, occorrerà evitare, ricorrendo a vari tipi d'accorgimenti fotografici, distorsioni prospettiche. Le immagini dovranno essere scattate a quadro rigorosamente verticale e parallelo alla superficie stessa, comprendendo l'intero prospetto ovvero transetti verticali e/o orizzontali, (indicati dagli elaborati di progetto o specifiche della D.L.) con ampie zone di sovrapposizione (almeno per 1/3). Allo scopo di facilitare la corretta sovrapposizione delle fotografie sarà cura dell'appaltatore spostarsi parallelamente alla facciata seguendo intervalli costanti in precedenza segnalati a terra (mediante sagole tese).

Se non diversamente specificato dalla D.L., al fine di garantire un'immediata lettura del manufatto sarà cura dell'appaltatore utilizzare pellicole a colori (a grana fine e bassa-media sensibilità 50-100-200 ISO a seconda delle condizioni di luminosità ambientale) grazie alle quali sarà possibile riconoscere, sia la diversità dei materiali presenti, sia eventuali alterazioni cromatiche generate da diversi fattori di degrado. Al fine di migliorare la qualità dell'immagine potranno essere utilizzati filtri correttivi quali grigi neutri (aiutano a diminuire la quantità di luce senza alterarne la qualità, potranno essere utilizzati sia per il b/n sia per il colore), di contrasto per accentuare particolari significativi (nel b/n il filtro arancio amplificherà il contrasto generale, quello blu diminuirà il tono delle murature, quello verde farà emergere le tonalità delle ocre e delle terre bruciate e naturali), di selezione (i filtri ultravioletti circoscriveranno gli effetti della foschia nonché le dominanti bluastre nelle foto a colori), infine, i filtri polarizzatori aumenteranno la saturazione dei colori annullando eventuali riflessi non voluti.

In linea generale dovranno essere evitate, se non direttamente specificato, riprese eseguite con luce solare diretta (così da eludere le ombre che potrebbero rendere non chiara l'immagine), sarà, inoltre, preferibile utilizzare sempre il cavalletto ed eventualmente, dove sarà necessario, un sistema d'illuminazione artificiale continuo di tipo cinematografico (provvisto di mascherine laterali così da permettere di regolare la direzione della luce) anche per riprese diurne (allo scopo di eliminare eccessivi contrasti o schiarire le ombre) in luogo del flash. Questo sistema di illuminazione continua dovrà essere preferito anche in condizioni particolari come quelli di scarsa illuminazione (ambienti ipogei, scantinati, sottotetti ecc.) o riprese seminotturne al fine di esaltare le condizioni di illuminazione artificiale così da valorizzare porzioni del manufatto oppure per esaltarne i risalti e le scabrosità della superficie (ad es., segni di lavorazione, scagliature, distacchi ecc.) ricorrendo a luci radenti ovvero con sorgente luminosa quanto più possibile parallela al piano della superficie da indagare.

Utilizzando due fonti di illuminazione artificiale, opportunamente posizionate, si potranno pertanto, ottenere due diversi tipi di ripresa: una “morbida” (ottenuta con luce perpendicolare ovvero diffusa) e una “radente” (ottenuta posizionando la fonte di luce a lato del punto di ripresa con un’angolazione compresa tra i 5° e i 20° rispetto al piano della superficie).

Il primo tipo di fotogrammi consentirà di ottenere viste omogenee, ottime basi per l’eventuale elaborazione di ulteriori rappresentazioni grafiche, mentre il secondo tipo garantirà una lettura più specifica di alcuni fattori macroscopici come appunto la scabrosità della superficie, eventuali incisioni del supporto, micro soluzioni di continuità ecc.

La fotografia all’infrarosso (IR) utilizzerà pellicole fotografiche sensibili ai raggi infrarossi (lunghezza d’onda compresa tra i 0,7 e 1 micrometri), ossia a radiazioni termiche spontanee emesse da qualunque corpo esistente in natura; queste pellicole saranno in grado di trasporre il dato elettromagnetico in dato visivo. Mediante le riprese con le suddette pellicole, l’appaltatore sarà in grado di evidenziare discontinuità costruttive, distacchi d’intonaco, vegetazione annidata negli interstizi dell’apparecchio murario e non ancora apparsa in superficie. la fotografia da infrarosso permetterà, inoltre, di rilevare lesioni passanti, allorché sia presente, tra le due facce della parete, una significativa differenza di temperatura (che potrà essere riportata anche artificialmente). Al fine di avere un’immagine nitida sarà consigliabile seguire gli scatti dopo aver sottoposto, preventivamente, le parti a riscaldamento uniforme (artificiale o solare).

5.1.10.2 SPECIFICHE

A termine dell’indagine ovvero a scadenze prestabilite sarà cura dell’appaltatore restituire le immagini nel numero e dimensioni che saranno prescritti dagli elaborati di progetto. In ogni caso, i fotogrammi, dovranno essere muniti sia di un numero di riferimento progressivo del rullino e dello scatto con relativa data, sia di indici subordinati relativi a particolari seriazioni indicate dagli elaborati di progetto; inoltre per ciascuna immagine fotografica sarà indicato, su di un grafico in scala convenientemente ridotta, la localizzazione (determinata anche in altezza) del relativo punto di presa e sarà redatta una scheda del tipo A se si tratterà di foto non metrica, del tipo B se si tratterà di foto metrica (in entrambi i tipi di scheda dovranno essere riportati la distanza tra il punto di presa e l’oggetto, la macchina con cui è stato eseguito il rilievo, il tipo di obiettivo, la sensibilità della pellicola utilizzata e le condizioni ambientali) e del tipo C se si tratterà di foto di monitoraggio. Per ciascuna fotografia scattata con fotocamera reflex dovranno essere presentati il negativo e due copie (compresa quella schedata) su carta semilucida (dimensioni minime 13x18 cm). Resta inteso che tale campagna fotografica dovrà essere eseguita da esperto professionista del ramo con relativa attrezzatura.

5.1.11 MONITORAGGIO DEL QUADRO FESSURATIVO

La presenza di un quadro fessurativo richiede che l’appaltatore disponga, secondo le prescrizioni di progetto e/o le indicazioni della D.L., di un sistema di monitoraggio che consenta di rilevare il comportamento delle fessurazioni nel tempo; lo studio potrà avvenire in modo differente in funzione dell’importanza della fabbrica, delle lesioni, deformazioni od alterazioni presenti. È necessario, prima di tutto, comprendere se il quadro fessurativo al momento del rilevamento sia di tipo attivo o passivo ovvero in evoluzione oppure in stasi; nel caso sia riscontrata la prima ipotesi dovrà, essere individuata la causa che genera tali spostamenti e in che misura essi avvengono. La struttura muraria è, infatti, in grado sia di deformarsi plasticamente senza incorrere nell’immediato collasso, sia di definire un nuovo stato di equilibrio, dissimile dall’originale ma in grado, comunque, di assicurare, se pur ridotta, una stabilità. La verifica di tale contingenza dovrà, necessariamente, essere attuata poiché rappresenta un parametro necessario per definire gli interventi di consolidamento.

Gli strumenti attualmente disponibili capaci di eseguire il monitoraggio di fessurazioni sono diversi e si contraddistinguono per i diversi gradi di precisione che hanno; i più impiegati sono le biffe, i fessurimetri, i deformometri o gli estensimetri. La lettura e i controlli dei punti fissi predisposti inizialmente, potranno avvenire saltuariamente (mensilmente, bisettimanale, settimanale quanto più grave risulterà il fenomeno di dissesto) o di continuo sotto la forma della registrazione automatica. Per un corretto studio dei cinematismi delle lesioni si rileverà, opportuno, misurare anche l’andamento delle temperature così da compensare eventuali effetti connessi alla dilatazione termica dei materiali.

5.1.11.1 SPECIFICHE

Qualsiasi sia la natura dello strumento l’appaltatore dovrà rispettare le istruzioni d’uso fornite dal produttore. A scadenze pre-programmate, sarà cura dell’appaltatore restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto (dovrà obbligatoriamente, in ogni caso, essere presente la relazione di interpretazione dati).

5.1.11.2 BIFFE DI MALTA

Le biffe, a forma di doppia coda di rondine con la sezione minima in corrispondenza della fessurazione, dovranno essere applicate trasversalmente alla lesione, in corrispondenza del ventre di questa. La biffa dovrà essere posizionata sul vivo della muratura, in caso di fessurazione passante, sarà opportuno introdurre della malta inserita quanto più è possibile dentro la fessurazione in modo da impedire possibili cavillature nella parte mediana della spia causate da un ritiro accelerato. La malta da usare per la costruzione di biffe potrà variare in relazione a dove dovrà essere posizionata.

Nel caso in cui la zona sia interna o non esposta agli agenti atmosferici ed a fenomeni d'umidità, sarà preferibile usare una malta a base di gesso; questo tipo di biffa oltre a non manifestare l'inconveniente di fessurazioni da ritiro, possiede una resistenza inferiore a quella dell'intonaco risultando così più appropriata per la segnalazione di fessure in movimento. Per una biffa posizionata all'esterno, sarà, invece, consigliabile utilizzare una malta magra a base idraulica o bastarda (in ogni caso esente da legante cementizio o eminentemente idraulico). Le dimensioni di una biffa di malta, se non diversamente specificato da indicazioni della D.L., saranno di circa 16-20 cm di lunghezza per uno spessore non superiore ad 1 cm.

In corrispondenza d'ogni biffa dovrà essere segnato sul muro un numero di riferimento e la data di posizionamento, questi dati dovranno essere trascritti in un registro al fine di ricostruire, graficizzandoli, gli eventuali movimenti subiti dalla struttura nel tempo. Le estremità delle diramazioni della lesione (cuspidi) ed il ventre della stessa dovranno essere siglati e datati. Il controllo della biffa andrà eseguito, da parte dell'appaltatore, ad intervalli di tempo preferibilmente costanti e tanto più assidui quanto più grave risulterà il quadro fessurativo. La rottura della biffa potrà segnalare la presenza di dissesti in atto ma non potrà indicarne la loro natura. Al termine delle rilevazioni, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni nella forma prescritta dagli elaborati di progetto.

5.1.11.3 VETRINI

Spia dal comportamento simile alla biffa in malta ma di materiale diverso; questi elementi atti al monitoraggio delle lesioni si concretizzano in rettangoli di vetro a basso spessore (inferiore a 2 mm) posti a ridosso della fessura e fermati con colle, stucchi o malte posati esternamente ai lembi della lesione stessa. Questo metodo risulta poco attendibile in quanto il vetrino potrà presentare l'inconveniente di rompersi per effetto dell'escursione termica dei materiali oppure rimanere integro in presenza di dissesti strutturali perché scivolato sulla malta di fissaggio.

5.1.11.4 FESSURIMETRI MILLIMETRATI

Questa strumentazione è costituita da due placchette in materiale plastico (in genere materiale acrilico o PVC) assemblate sovrapposte e apposte a cavallo della lesione mediante sistemi previsti dall'azienda produttrice (tasselli, stucchi epossidici, mastici, resine ecc.). La piastrina superiore sarà incisa con un reticolo mentre quella inferiore sarà calibrata in millimetri. La misura del movimento della fessura, rilevabile anche in frazioni di millimetro, sarà segnalata dallo spostamento del reticolo rispetto alla placca millimetrata sottostante, a partire dal valore zero. Di norma la rilevazione massima consentita da questo strumento sarà di 20-25 mm. Questo tipo di strumento risulterà particolarmente adatto per:

- rilievo su superfici piane di movimenti verticali od orizzontali anche simultanei;
- rilievo lesioni d'angolo soggette a movimenti bi-direzionali anche simultanei;
- rilievo di cedimenti od assestamenti di pavimentazioni rispetto a murature o pilastri;
- misura della differenza di planarità di qualsiasi superficie lesionata.

Ogni strumento dovrà essere munito di propria scheda di registrazione così da segnalare ogni movimento delle lesioni.

Al termine delle rilevazioni, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni nella forma prescritta dagli elaborati di progetto.

5.1.11.5 DEFORMOMETRI

Un controllo più attento del quadro fessurativo potrà essere effettuato utilizzando un deformometro: strumento removibile di minimo ingombro, in grado di misurare il progredire delle lesioni, su basi fisse, nell'ordine del micron (millesimo di millimetro). L'appaltatore applicherà, fissandole al muro con resina biconponente, da ambo i lati della fessura due "pasticche" in acciaio inox (prismetti esagonali concavi) di circa 20 mm per 5 mm di spessore, dette "basi", munite di foro al centro. La distanza reciproca dei "capisaldi" sarà stabilita da una dima di fissaggio avente la lunghezza corrispondente alla posizione iniziale del comparatore millesimale (pari a 100, 150 o 200 mm). La verifica verrà eseguita

mediante una barra d'acciaio "invar" munita di un comparatore millesimale e, ai lati, di due punte una fissa e l'altra mobile. La lettura verrà concretizzata sovrapponendo alle piastrine (le sole parti fisse in sede) dei punti di misura assicurati alla barra con il comparatore (deformometro); qualora si verificasse diversità dell'intervallo tra i due punti fissi a cavallo della fessura, lo spostamento sarà determinato dal movimento della punta mobile collegata al comparatore, consentendo così di appurare nonché misurare il movimento avvenuto. Se non diversamente specificato da indicazioni di progetto o specifiche della D.L., sarà sufficiente eseguire le letture una volta al mese salvo nei casi di quadri fessurativi rilevanti, in questo caso le letture dovranno essere eseguite ogni due settimane od ancora più frequentemente. Applicando tre piastrine, ed eseguendo ciclicamente le misure di trilaterazioni, potranno essere valutate le traslazioni relative tra i blocchi separati dalla lesione stessa. Una quarta base permetterebbe, infine, di ottenere anche le rotazioni tra i due maschi murari nonché la localizzazione del centro di rotazione: così facendo sarà possibile rappresentare in modo completo i movimenti relativi. Al termine delle rilevazioni, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni nella forma prescritta dagli elaborati di progetto.

5.1.11.6 ESTENSIMETRI

Il principio di funzionamento sarà analogo a quello del deformometro, essendo il rilevamento dello spostamento misurato per variazione della distanza relativa tra due punti iniziali a cavallo della lesione da monitorare. Qualora sia possibile porre lo strumento in ambienti non frequentati (ossia in ambienti non accessibili se non agli addetti ai lavori) è consigliabile utilizzare estensimetri autoregistranti: apparecchi simili al precedente ma con il vantaggio di avere incorporata una penna che graficizza gli spostamenti disegnandoli su di un rullo mosso da un sistema ad orologeria.

Questo sistema documenterà, in ogni momento, l'eventuale spostamento della struttura sotto monitoraggio così da permettere di controllare quei movimenti "alternativi" dovuti alle variazioni termiche o igronometriche d'ambiente. Per risalire al moto, come nel caso dei deformometri, sarà cura dell'appaltatore, installare trasversalmente alla lesione due estensimetri con le rispettive barre normali tra loro. Al termine delle rilevazioni, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni nella forma prescritta dagli elaborati di progetto.

5.1.12 MONITORAGGIO AMBIENTALE (RILEVAZIONE DELLE CONDIZIONI TERMOIGROMETRICHE E MICROCLIMATICHE)

Il monitoraggio ambientale si verificherà utile al fine di poter apprendere le reali condizioni dello specifico contesto ambientale che interagisce con le aree archeologiche (dove risulterà indubbio che le condizioni ambientali saranno il principale fattore delle cause di degrado), i fabbricati e con gli spazi interni così da poter stabilire, le eventuali concause legate ai fenomeni di alterazione quali l'invecchiamento dei materiali e/o delle strutture del fabbricato. Si tratterà di una serie di indagini puntuali, non distruttive o solo parzialmente distruttive (al fine di estrapolare un campione), da realizzare in situ e/o in laboratorio, che dovranno garantire di raggiungere risultati fondamentalmente di carattere quantitativo oltre che qualitativo.

Di norma il monitoraggio ambientale dovrà essere eseguito per almeno un anno o comunque per il tempo stabilito in accordo con la D.L., se non diversamente specificato l'appaltatore dovrà prevedere di eseguire almeno due campagne di rilievo in un'ottica bi-stagionale (ad es. inverno-primavera o estate-autunno) della durata minima di 30 giorni ciascuna. Le informazioni inerenti il rilevamento microclimatico potranno, eventualmente, essere integrate con dati e medie di periodi più ampi, forniti da enti e istituzioni preposte quali ASL, uffici provinciali e regionali, uffici meteorologici, università ecc. L'esame di dati pregressi consentirà all'appaltatore di individuare le serie storiche, informatizzando i dati potrà, inoltre, ricavare gli andamenti caratteristici così da individuare i periodi dell'anno favorevoli per l'impostazione delle campagne di rilevamento.

Tramite la lettura e la conseguente interpretazione dei dati termoigronometrici sarà possibile acquistare informazioni sull'evoluzione dell'umidità e delle temperature così da valutarne l'eventuale tendenza alla formazione di condensa, quadri fessurativi causati da spostamenti "stimolati" dal calore, alterazioni causate dalle differenti intensità degli attacchi ambientali ecc. I parametri legati a questo specifico monitoraggio che dovranno, necessariamente, essere acquisiti dall'appaltatore sono:

- temperatura dell'aria interna ed esterna;
- umidità relativa interna ed esterna;
- temperature delle pareti;
- qualità, frequenza ed intensità delle precipitazioni meteoriche;

- velocità e direzioni venti dominanti;
- illuminazione naturale;
- irraggiamento solare;
- presenza di agenti inquinanti (anidride carbonica, anidride solforosa e solfatica, ossido di azoto, ozono ed ossidanti, acido cloridrico, acido fluoridrico ecc.);
- emissioni provenienti da impianti industriali e dalla produzione di energia;
- vibrazioni dovute a presenza di traffico veicolare.

Il sistema di monitoraggio ambientale potrà essere realizzato in riferimento alle disposizioni di progetto, con due differenti metodologie e strumentazioni:

- a) stazioni rilevatrici computerizzate possono gestire una grande quantità di dati consentendo un rilevamento diretto in relazione degli obiettivi dell'analisi. Mediante l'uso di idonei software sarà possibile gestire simultaneamente diversi sensori e ricavare i dati secondo condizioni specifiche (ad es., ogni mezz'ora o attivando la registrazione ogni qualvolta si presentino determinate condizioni prestabilite);
- b) data loggers ovvero sistemi autonomi miniaturizzati autoalimentati per la memorizzazione (di norma più di 10.000 dati per ogni parametro) ed il controllo dei parametri ambientali che causano i maggiori danni al patrimonio storicoartistico; i più semplici rileveranno soltanto la temperatura ed umidità relativa quelli leggermente più complessi anche i raggi ultravioletti e le radiazioni visibili. Gli ultravioletti saranno misurati come proporzione degli U.V. presenti (mW/lumen) o come totale (mW/m²), la misura della radiazione visibile come Lux o candele. La temperatura potrà, invece, essere misurata in scala °C o °F e l'umidità come UR% o come punto di rugiada. Offrono la possibilità di impostare la durata del test, l'intervallo della lettura, anche con avvio ritardato, il salvataggio dei dati su disco così da poterli esportare e lavorare su fogli elettronici ovvero rendere i dati in forma tabellare o in grafico di altra forma. Queste apparecchiature offriranno, inoltre, la possibilità di scaricare i dati parziali senza fermare la registrazione. Se non diversamente specificato le rate di acquisizione potranno essere 10 sec (30h)/1 min (7gg) – 10 min (75gg)/60min (454 gg).
- c) di ridotte dimensioni in grado di amministrare uno o due sensori capaci di registrare i valori ciclicamente.

5.1.12.1 SPECIFICHE

Questo tipo di indagine si potrà rilevare molto utile anche in fase preventiva ad una campagna di scavo archeologico come controllo ottimale per tutti quei fenomeni di deterioramento che la vestigia potrà subire durante e dopo il ritrovamento. Pertanto se non diversamente specificato dovrà essere fatto obbligo di provvedere al monitoraggio ambientale prima durante e dopo la campagna di scavo.

A scadenze pre-programmate, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto (dovrà obbligatoriamente, in ogni caso, essere presente la relazione di interpretazione dati).

Nell'eseguire il suddetto studio-studio-monitoraggio dei parametri ambientali l'appaltatore dovrà attenersi alle raccomandazioni NorMaL vigenti.

INDAGINI MECCANICHE IN SITU AL FINE DI DETERMINARE LE CARATTERISTICHE TENSIONALI DEI MATERIALI E DELLE STRUTTURE

La conoscenza delle condizioni d'equilibrio e della resistenza ai carichi, nonché la stima delle peculiarità meccaniche e tensionali di una muratura si rileverà operazione fondamentale per procedere alla redazione di un progetto di restauro.

Senza queste informazioni non sarà, infatti, possibile stabilire il grado di sicurezza e le potenzialità in caso di nuove condizioni d'utilizzo, stimare gli eventuali sovraccarichi spinti nelle murature, programmare appropriate procedure esecutive di consolidamento.

5.1.13 CAROTAGGIO

Operazione manuale o meccanica che prevede l'esecuzione di prelievi di "carote" (campioni anche di piccolo diametro circa 28 mm) di materiale da strutture in pietra, legno, calcestruzzo e terreni da sottoporre a successive analisi di laboratorio (al fine di determinare la resistenza a compressione, a flessione, a trazione e a taglio). Questa operazione potrà, inoltre, essere anticipatrice di indagini con endoscopi. L'estrazione del campione cilindrico dovrà essere eseguita obbligatoriamente mediante carotatrici a sola rotazione di diametro indicato dalla D.L. (in ogni caso non superiore ai 100-150 mm) così come sarà indicato dalla D.L. l'eventuale uso o l'assenza di acqua, così da non provocare eventuali danni alle strutture. Sarà cura dell'appaltatore compilare per ogni carota un'appropriata scheda pre-impostata dove dovranno essere riportati i dati del carotaggio (data, durata, verso, diametro, inclinazione di perforazione, lunghezza totale spessore murario) e l'immagine fotografica della carota distinta nella lunghezza per materiali e relativi leganti, per tipi di muratura nei rispettivi rapporti dimensionali.

Al termine dell'indagine, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto.

5.1.14 INDAGINI CON MARTINETTO PIATTO SINGOLO O DOPPIO (FLAT-JACK TEST)

Le indagini esecutive con i martinetti piatti sono indirizzate alla definizione dello stato di sollecitazione di una porzione di muratura (prova con un solo martinetto) ed alla determinazione di parametri meccanici della stessa (prova con doppio martinetto) ovvero determinazione delle caratteristiche di deformabilità (modulo elastico), di resistenza a compressione e di resistenza al taglio lungo i corsi di malta. Questa prova si porrà, pertanto, come alternativa alle prove di laboratorio condotte su campioni prelevati in situ.

Dal momento che l'indagine avrà carattere puntuale e, di conseguenza, i dati avranno valore in specifiche porzioni di muratura, per ottenere valori rappresentativi di un'intera parete si rileverà utile scegliere un campione d'indagine dove si presumerà che esista uno stato tensionale medio. Da quanto detto è facilmente intuibile che i risultati ottenuti in zone caratterizzate da anomalie dimensionali o di carico (quali ad esempio aperture, appoggi di travi, variazioni di spessori) si rileveranno poco indicativi; una soluzione a questo problema potrà essere quella di eseguire, dove sarà possibile, una misurazione su entrambi i lati della muratura in modo da individuare la tensione media.

Il numero e la localizzazione del campione da indagare dovranno obbligatoriamente essere accuratamente stabiliti dalla D.L.

5.1.14.1 APPARECCHIATURA

La strumentazione consisterà in un martinetto piatto che potrà essere schematizzato in una doppia "membrana" di metallo (o altro materiale flessibile) molto sottile saldato lungo i bordi collegato attraverso un tubo ad una pompa idraulica tra questa ed il martinetto sarà montato un manometro ad alta precisione per il controllo della pressione; il martinetto sarà alimentato da un circuito oliodinamico. Le dimensioni e il tipo dei martinetti saranno diversificate e stabilite dalla D.L. in relazione all'elemento strutturale oggetto di studio (apparecchiature di piccole dimensioni saranno utilizzate per strutture puntuali quali colonne, pilastri, archi, volte ecc., dimensioni maggiori saranno, invece, utilizzate per sezioni di muratura continua) nonché al tipo di muratura esistente, saranno, in ogni caso, comprese tra dimensioni pari a 12 x 12 cm, 24 x 12 cm, 40 x 20-25 cm, con uno spessore variabile da 0,8 a 1 cm. Per le strutture murarie sarà, inoltre, necessario che le dimensioni siano stabilite in modo da impegnare la maggior parte dello spessore della muratura o quantomeno uno spessore minimo di 15 cm (ottimale sarà impegnare almeno due teste di mattoni).

5.1.14.2 APPLICAZIONE

Misura dello stato tensionale

La prova realizzata dall'appaltatore prevedrà l'applicazione, lungo la linea selezionata, di un numero n di coppie di riscontro (ad es., pastiche metalliche) sui quali verrà applicato un deformometro lineare o altro dispositivo di misurazione scelto comunque dalla D.L. al fine di rilevare le letture delle distanze d0 tra i singoli punti precedentemente al taglio.

In seguito si eseguirà il taglio (mediante seghe tagliamuro o mediante carotiere, praticando più fori ravvicinati ed eseguendo una successiva finitura a mano secondo le prescrizioni della D.L.) ovvero i tagli in relazione al tipo di prova.

I tagli che, se non diversamente specificato, dovranno avvenire in corrispondenza dei giunti di malta, potranno interessare l'intera sezione della muratura o solo una porzione di essa a seconda dei sistemi messi in opera. Dopo il taglio sarà cura

dell'appaltatore eseguire una nuova lettura della base a cavallo del taglio rilevando un valore d minore del d_0 precedente dato che la fessura provocherà, localmente, un rilascio delle tensioni con il conseguente avvicinamento dei bordi.

Dopo tale misurazione l'appaltatore dovrà inserire, nella fessura, un martinetto piatto che, verrà gradualmente messo in pressione (scalini di 1 Kgf/cm²) con il conseguente rilevamento delle letture mediante deformometro. La prova prevedrà cicli di carico e scarico a livelli crescenti (di norma saranno eseguiti, se non diversamente specificato dalla D.L., almeno due cicli di carico e scarico, misurando le deformazioni sotto carico costante) fino a riportare la struttura nelle condizioni di partenza annullando la convergenza delle basi di misura. Dalla lettura (sul manometro) della pressione, correlata da opportune formule⁷, sarà possibile ottenere il valore della sollecitazione locale della muratura (tensione di esercizio) a meno di una costante dovuta alla taratura dello strumento e di una costante che terrà conto del rapporto tra superficie del martinetto e quella del taglio.

A fine prova dovrà essere cura dell'appaltatore provvedere alla risarcitura della fessura con idonea malta.

Determinazione delle caratteristiche di deformabilità e resistenza (stima del modulo elastico)

La prova prevedrà la messa in opera (seguendo le indicazioni prescritte per la misura dello stato tensionale) di due martinetti piatti, posti parallelamente, così da delimitare un campione di muratura di altezza 50 cm (se non diversamente specificato) e di base pari alle dimensioni dei martinetti. Sarà cura dell'appaltatore posizionare i due martinetti in modo tale che questi possano applicare al campione di muratura, una volta immessa la pressione, uno stato di sollecitazione monoassiale. Gli strumenti di misurazione (deformometri od estensimetri elettrici) pre istallati sul campione dovranno permettere di rilevare la misurazione delle deformazioni sia in senso verticale sia in senso orizzontale del campione preso in esame. Il modulo elastico E verrà valutato, per ogni intervallo di sforzo D_s con la formula $E = D_s/D_e$ dove D_e sarà la deformazione (corrispondente a D_s) misurata in corrispondenza della base centrale di misura.

Determinazione delle caratteristiche di resistenza a compressione

La prova con i doppi martinetti potrà essere messa in opera anche per l'individuazione delle caratteristiche di resistenza alla compressione. In tal caso le pressioni applicate ai martinetti saranno incrementate fino allo stato prossimo alle condizioni di rottura, sarà, pertanto, necessario che l'appaltatore tenga sotto stretto controllo la muratura in quanto la prova potrebbe determinare localizzati stati fessurativi circoscritti al campione analizzato. Le tensioni di rottura della muratura saranno calcolate con la seguente formula: d_r (tensione di rottura della muratura) = P (pressione fornita ai martinetti al collasso della muratura) x SK_m (somma dei coefficienti di taratura dei due martinetti) x A_m (area del martinetto)/ SA_t (somma delle aree di taglio).

Determinazione delle caratteristiche di resistenza al taglio lungo i corsi di malta

Dopo aver inserito (come precedentemente descritto) la coppia di martinetti parallelamente sulla muratura sarà cura dell'appaltatore estrarre un mattone, un concio lapideo o altro elemento componente la muratura, immettendo al suo posto un martinetto idraulico, di adeguate dimensioni, al fine di applicare una sollecitazione di taglio all'elemento adiacente. Mediante una serie di trasduttori elettrici sarà possibile individuare gli spostamenti relativi all'elemento sottoposto alla prova rispetto a quelli limitrofi e le deformazioni in direzione normale ai corsi di malta. A prova terminata sarà cura dell'appaltatore riposizionare il mattone.

5.1.14.3 SPECIFICHE

Tali prove troveranno soddisfacenti applicazioni in murature regolari ben apparecchiate (ad es. cortine in laterizio o apparecchi in pietra concia), mentre, nel caso di murature costituite da elementi eterogenei (quali ad esempio murature miste o a sacco) e in murature connesse irregolarmente l'analisi non troverà valida applicazione in quanto non esistendo una regolare distribuzione degli elementi la lettura risulterà più arbitraria e meno rappresentativa dell'insieme; comunque sarà consigliabile utilizzare martinetti di grande dimensione e, in ogni caso, maggiori delle dimensioni medie degli elementi utilizzati per la realizzazione della muratura. La suddetta prova, se non diversamente prescritto dagli elaborati di progetto, non dovrà essere eseguita su murature affrescate, decorate o, in ogni modo, alla presenza d'intonaco "di pregio", in quanto la realizzazione dell'alloggiamento del martinetto, inevitabilmente, implicherebbe la perdita di una porzione dello strato di finitura.

La prova con i martinetti piatti sarà particolarmente interessante se effettuata pre e post intervento di consolidamento così da registrare l'effettiva resistenza raggiunta dalla muratura.

Qualsiasi sia la natura dello strumento l'appaltatore dovrà rispettare le istruzioni d'uso fornite dal produttore. Al termine dell'indagine, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto (dovrà obbligatoriamente, in ogni caso, essere presente la relazione di interpretazione dati).

5.1.15 PROVE SCLEROMETRICHE

Indagine qualitativa, indiretta atta a definire la resistenza a rottura per compressione di materiale lapideo, intonaco o calcestruzzo. L'indagine prevedrà di percuotere con una massa ed una forza note, la superficie oggetto di studio e di misurarne l'indice di rimbalzo. Più il materiale sarà compatto e rigido maggiore risulterà il rimbalzo della massa battente (sclerometro). Se non diversamente specificato per l'esecuzione della prova dovranno essere eseguite da 5 a 10 battute, da cui verrà, in seguito, ricavato un valore medio.

Le battute, qualora dovessero interessare apparecchi intonacati, dovranno essere eseguite, previa rimozione dello stesso nelle zone sottoposte a verifica.

Al termine dell'indagine, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto (dovrà obbligatoriamente, in ogni caso, essere presente la relazione di interpretazione dati).

6. PROCEDURE OPERATIVE DI RESTAURO E CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE

PROCEDURE OPERATIVE DI RESTAURO

6.1.1 OPERAZIONI DI SCAVI E RINTERRI

6.1.1.1 GENERALITA'

I riferimenti normativi applicabili a questa specifica categoria di lavori saranno DPR n.547/55 e DPR n.164/56. Gli scavi in genere, 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 Circolare Ministeriale LL.PP. 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 scoscendimenti, 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 fermapiiede minima di 20 cm luce tra tavola superiore e fermapiiede massimo 60 cm; nel caso in cui il parapetto sia ad una distanza di almeno 70-80 cm dal bordo dello scavo, la tavola fermapiiede potrà essere omessa) disposti lungo i bordi della stessa; negli scavi di sbancamento sarà necessario, quando questo dovesse superare i 200 cm mentre, nelle trincee, sarà appropriato predisporre la protezione appena lo scavo supererà i 50 cm di profondità.

Le materie provenienti dagli scavi, ove non siano utilizzabili o non ritenute adatte (a giudizio insindacabile della D.L.) ad altro impiego nei lavori, dovranno essere trasportate fuori dalla sede del cantiere alle pubbliche discariche, o su altre aree altrettanto idonee e disponibili. Qualora le materie provenienti dagli scavi debbano essere successivamente utilizzate, esse dovranno essere depositate in area idonea (previo assenso della D.L.) per essere, in seguito riutilizzate a tempo opportuno. In ogni caso le materie depositate non dovranno costituire un danno ai lavori, alle proprietà pubbliche o private ed al libero deflusso delle acque 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 necessarie puntellature che dovranno presentare un sovrizzo minimo oltre la quota del terreno pari a 30 cm..

6.1.1.2 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 il 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 franamenti.

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 STABILITA'		
	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°

6.1.1.3 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 provvisorie 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) od in presenza ovvero vicinanza di terreni precedentemente scavati e, pertanto, meno compatti od, infine, in presenza di vibrazioni causate dal traffico di autoveicoli, ovvero sia in tutti quei casi dove la consistenza del terreno non fornirà sufficiente garanzia di stabilità e compattezza, anche in funzione della 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.

PROFONDITA'	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 dello scavo 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).

6.1.1.4 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 differiti (ad es. per riempimenti) saranno depositate nell'ambito del cantiere, in luogo che non provochi intralci o danni.

6.1.1.5 SCAVI ARCHEOLOGICI

I lavori di scavo archeologico dovranno essere eseguiti conformemente alle norme scientifiche tenendo conto anche delle vigenti raccomandazioni dell'UNESCO. Con l'operazione di scavo (operazione irripetibile, irreversibile e solo molto limitatamente prevedibile) si rimuoverà il riempimento ammassatosi per strati sopra le vestigia antiche, togliendo questi strati nell'ordine inverso a quello in cui si sono sedimentati. Da qui la "necessità" di scavare con la massima consapevolezza, obiettività e rigore possibile, dato che ciò che sarà distrutto potrà essere "ricostruito" solo per mezzo della documentazione che sarà lasciata.

Lo scavo dovrà essere eseguito solo dopo aver accuratamente delimitato tutta l'area di cantiere, avere ottenuto tutte le autorizzazioni da parte dei competenti organi di tutela dei beni oggetto di scavo (Soprintendenza Archeologica) e solo dietro sorveglianza e guida del personale preposto ovvero del Direttore di Scavo. Dopo aver eventualmente ripulito dalla vegetazione e da eventuali riempimenti superficiali di cui si sia verificato la non utilità ai fini scientifici, anche nel caso in cui emergano dal suolo strutture murarie ben precise, potrà essere opportuno (tranne nei casi di trincee ovvero saggi di limitata estensione o ancora di scavi entro ambienti chiusi di modeste dimensioni quali cripte, tombe a camera ecc.) utilizzare una delimitazione artificiale dell'area da scavare mediante un reticolo di maglie quadrate (quadratura del terreno) di dimensioni variabili a seconda dei casi. Nel caso in cui il sito lo permetta e se non diversamente specificato dalla D.L. o dal funzionario addetto alla tutela del bene, sarà preferibile eseguire uno scavo estensivo a scacchiera dei quadrati, piuttosto che piccoli interventi parziali, con i quali si potrà rischiare di perdere parte delle informazioni.

Gli scavi dovranno essere eseguiti, se non diversamente specificato dalla D.L. e/o dagli organi di tutela, rigorosamente a mano, con la massima cura ed attenzione, da personale specializzato (presente negli appositi elenchi degli addetti di opere specialistiche) ed opportunamente attrezzato.

Le tecniche di scavo si dovranno differenziare in base al tipo di terreno, al tipo di ambiente circostante, alla tipologia e alla posizione delle strutture emergenti ovvero sepolte, alla variabilità delle sezioni di scavo, alle caratteristiche dei manufatti e dei reperti così che non si verifichino inconvenienti ovvero danneggiamenti alle vestigia archeologiche o agli operatori allo scavo. Dietro specifica indicazione della D.L. si potranno eseguire operazioni con differente grado di

accuratezza nella vagliatura delle terre e nella cernita e selezione dei materiali, nella pulitura, allocazione e cartellinatura di quanto trovato in appositi contenitori e/o cassette. A seconda della dimensione e consistenza dello strato asportato il taglio della parete dovrà essere eseguito con il piccone o con la trowel; se conci lapidei, tegole, o altri materiali ovvero reperti (frammenti di ceramica, di vasellame metallico, utensili di vetro, ma anche ossa, resti vegetali ecc.) dovessero fuoriuscire dalla parete, dovranno obbligatoriamente essere lasciati al loro posto “tagliando” il terreno attorno ad essi al fine di evitare crolli. Le eventuali pareti in argilla non andranno levigate per poterne leggere la struttura, ma lavorate con la punta della trowel.

All'interno dell'area di pertinenza dello scavo dovrà, necessariamente, essere previsto un deposito (facilmente raggiungibile con le carriere) per la terra di risulta raccolta dallo scavo archeologico.

Avvertenze da seguire in ogni scavo

A prescindere dalle problematiche riscontrate in qualsivoglia scavo archeologico le linee guida che dovranno, in ogni caso, essere seguite al fine di evitare la dispersione di elementi utili o l'insufficienza della documentazione saranno:

- identificazione dei singoli elementi della stratigrafia del terreno (unità stratigrafiche US), con conseguente asportazione, di ogni singolo strato, in senso cronologico inverso ovvero rimuovendo per primi i livelli che si sono depositati per ultimi, identificando ogni elemento estraneo, come buche, fossati, terrapieni ecc. i quali andranno scavati a parte;
- relazione cronologica tra le varie US e con le strutture edilizie;
- scrupoloso prelievo di tutti gli eventuali reperti contenuti nello strato e dei campioni per le analisi (utilizzando operazioni quali la setacciatura della terra e la flottazione) utili per la ricostruzione della storia; operazione da eseguire con l'accortezza di non mescolarli con quelli degli altri strati. I singoli elementi (strati, reperti, strutture ecc.) dovranno essere registrati su apposite schede via via che verranno messi in luce; contemporaneamente, sarà necessario, annotare sul giornale di scavo le osservazioni generali, l'insieme delle operazioni seguite, eventuali ipotesi da verificare ecc.;
- accurata documentazione grafica (aggiornamenti giornalieri dello scavo) e fotografica del lavoro compiuto ovvero la documentazione di ogni singolo piano e di tutte le strutture murarie emergenti, così da garantire alla comunità la conoscenza e la verifica dei risultati.

Specifiche: nel compiere lo scavo di strutture murarie (sia nel caso di scavo archeologico programmato sia rinvenimenti occasionali) dovrà essere cura dell'appaltatore porre particolare attenzione ai rischi di danneggiamento delle strutture rinvenute; tra le classi di dissesto più ricorrenti potrà verificarsi:

- perdita di verticalità delle strutture murarie dovute alle differenze di materiale e di legante, all'apparecchio, al rovesciamento di cresta, allo slittamento al piede, alla spinta mediana, al cedimento di base;
- perdita di orizzontalità delle strutture murarie dovute a smembramento di muri con elementi di apparecchio di piccola taglia, cedimento di elementi di grande taglia;
- spostamento degli elementi lapidei per calpestio o lavorazione;
- erosione della terra;
- differenza di materiali lapidei;
- perdita di allineamento o giacitura delle strutture murarie;
- differenze di comportamento dei muri, sollecitazioni esterne;
- presenza di acque.

A carico dell'Appaltatore saranno tutte le assistenze quali la preventiva quadrettatura dell'area di scavo, l'apposizione dei riferimenti topografici, la cartellinatura, il ricovero e la custodia dei materiali in locali attrezzati.

6.1.1.6 SCAVI SUBACQUEI E PROSCIUGAMENTI

Se l'Appaltatore, malgrado l'osservanza delle prescrizioni di cui agli articoli precedenti non potesse, in caso di acque sorgive o filtrazioni, far defluire l'acqua naturalmente dagli scavi in genere e da quelli di fondazione, sarà facoltà della D.L. ordinare, secondo i casi e quando lo riterrà opportuno, l'esecuzione degli scavi subacquei, oppure il prosciugamento.

Sono considerati come scavi subacquei soltanto quelli eseguiti in acqua a profondità maggiore di 20 cm sotto il livello costante a cui si stabiliscono le acque sorgive nei cavi, sia naturalmente, sia dopo un parziale prosciugamento ottenuto con macchine o con l'apertura di canali di drenaggio.

Il volume di scavo eseguito in acqua, sino ad una profondità non maggiore di 20 cm dal suo livello costante, verrà perciò considerato come scavo in presenza d'acqua, ma non come scavo subacqueo. Quando la direzione dei lavori ordinasse il mantenimento degli scavi in asciutto, sia durante l'escavazione, sia durante l'esecuzione delle murature o di altre opere di fondazione, gli esaurimenti relativi verranno eseguiti in economia, e l'Appaltatore, se richiesto, avrà l'obbligo di fornire le macchine e gli operai necessari.

Per i prosciugamenti praticati durante l'esecuzione delle murature, l'Appaltatore dovrà adottare tutti quegli accorgimenti atti ad evitare il dilavamento delle malte.

6.1.1.7 ARMATURA DEGLI SCAVI – OPERE DI SBATACCHIAMENTO

Le tipologie di armature saranno scelte in funzione della 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:

- a) con tavole verticali;
- b) con tavole orizzontali;
- c) con marciavanti;
- d) 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 superiori 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 pistoncini 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.

6.1.1.8 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 impiegati, 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 m³ 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 (ovverossia 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.

6.1.2 OPERAZIONI DI ASPORTAZIONI, DEMOLIZIONI E SMONTAGGI

6.1.2.1 GENERALITA'

Le operazioni di demolizioni e smontaggi dovranno essere conformi a quanto prescritto nel DPR 07 gennaio 1956, n.164 (in modo particolare art. 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 provvisorie) delle parti di manufatto ancora integro o pericolanti per le quali non saranno previste opere di rimozione. Sarà, inoltre, necessario delimitare ed impedire l'accesso alla zona sottostante la demolizione (mediante tavolato ligneo o d'altro idoneo materiale) ed allestire, in corrispondenza 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, piastrelle, tegole, travi, travicelli ecc.) dovranno essere opportunamente calati a terra, "scalcinati", puliti (utilizzando tecniche indicate dalla D.L.), ordinati e custoditi, nei luoghi di deposito che saranno segnati negli elaborati di progetto (in ogni caso dovrà essere un luogo pulito, asciutto, coperto eventualmente con teli di PVC, e ben ventilato sarà, inoltre, consigliabile non far appoggiare i materiali di recupero direttamente al contatto con il terreno interponendovi apposite pedane lignee o cavalletti metallici), usando cautele per non danneggiarli, sia nelle operazioni di pulitura, sia in quelle di trasporto e deposito. Detti materiali, se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, resteranno tutti di proprietà della stazione appaltante, la quale potrà ordinare all'appaltatore di impiegarli in tutto od in parte nei lavori appaltati.

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

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

6.1.2.2 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. Per maggiori dettagli e specifiche inerenti gli accertamenti diagnostici si rimanda a quanto detto al capitolo 5 del presente documento.

6.1.2.3 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 sbatracchiature al fine di eludere eventuali frane. Le suddette sbatracchiature 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 costituisca contrasto con il terreno, che non sia contemporaneamente o anteriormente rimosso. Precedentemente alla demolizione si renderà necessario costituire un presidio d'opere provvisorie 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.

6.1.2.4 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.

6.1.2.5 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.

6.1.2.6 TRAMEZZATURE

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

6.1.2.7 DEMOLIZIONI DI STRUTTURE A TELAIO IN C.A.

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

6.1.2.8 SMONTAGGIO DI STRUTTURE ORIZZONTALI

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

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

6.1.2.9 SOLAI PIANI

Lo smontaggio dei solai piani avverrà seguendo in senso inverso le fasi esecutive del montaggio; demoliti o smontati pertanto i pavimenti (si rimanda all'articolo specifico) si procederà a rimuovere il sottofondo e l'eventuale caldana, avanzando di seguito con lo scempiato che potrà essere costituito da mezzane, tavelloni, tavolato di legno o da voltine in mattoni (forati o pieni) od ancora pignatte o volterrane previa dislocazione di idonei tavolati in legno (spessore minimo 3-4 cm, larghezza minima 40-50 cm) od altro materiale atto al sostegno degli operatori. La carpenteria lignea (travi, travetti

e travicelli) dovrà essere sfilata dagli appoggi evitando di fare leva sulle murature mediante opportune disposizioni quali: puntellamenti, sospensioni (mediante utilizzo di idonei apparecchi di sollevamento o montacarichi) od eventuale taglio a filo muro in corrispondenza dell'appoggio, lasciando le teste all'interno della muratura (successivamente si dovrà provvedere alla loro rimozione). Particolare attenzione dovrà essere fatta nel caso di smontaggio di solai precedentemente consolidati come, ad esempio, travi munite di staffe metalliche di ancoraggio alla muratura perimetrale; in questo caso la trave, essendosi trasformata in catena, contribuisce direttamente alla stabilità dei setti murari; andrà, pertanto, evitato il semplice "sfilamento" delle travi dalle loro sedi al fine di evitare eventuali degradi irreparabili o dissesti imprevisti alle murature (si vedano gli articoli specifici sugli ancoraggi dei solai alle murature e sul collegamento fra solai complanari e contigui).

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

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

6.1.2.10 STRUTTURE VOLTATE

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

6.1.2.11 STRUTTURE IN AGGETTO

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

6.1.2.12 COLLEGAMENTI VERTICALI

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

6.1.2.13 MANTI E STRUTTURE DI COPERTURA

Lo smontaggio della copertura procederà, quando sarà possibile, dall'intradosso: contrariamente gli addetti dovranno lavorare su appositi tavolati di ripartizione posti sull'orditura principale, mai su quella secondaria. Allorché l'altezza di possibili cadute sul piano sottostante superi i 2 m si dovrà, necessariamente, predisporre un sotto piano di lavoro; qualora non sia possibile mettere in opera detto soppalco sarà obbligo munirsi d'apposite cinture di sicurezza. Lo smontaggio e la scomposizione della carpenteria principale (arcarecci, terzere, puntoni, capriate ecc.) qualunque sia il materiale legno, ferro o c.a., seguirà la procedura inversa a quella della messa in opera, ovverosia prima si smonteranno a mano le canne

fumarie ed i comignoli, poi il manto di copertura (le tegole saranno asportate a sezione, simmetricamente da una parte e, dall'altra procedendo dal colmo verso le gronde avendo cura di non rompere o danneggiare i singoli pezzi), il sottofondo e lo scempiato di mezzane od il tavolato ligneo, in seguito si passerà a sfilare l'orditura minuta e/o media (travicelli, correnti, morali, palombelli, mezzanelle ecc.) e, per ultimo, quella principale che dovrà essere imbracata e calata a terra mediante idonei dispositivi (gru, paranchi, montacarichi ecc.). Particolare attenzione si dovrà avere in presenza di eventuali connessioni (chiodature, cavicchi, gattelli lignei, piastrine metalliche di ancoraggio ecc.) presenti tra le varie orditure o tra gli elementi della medesima orditura od ancora tra l'orditura principale e la muratura d'imposta. Il loro smontaggio richiederà, infatti, particolari cautele e l'adozione d'idonei strumenti al fine di evitare ulteriori degradi alle strutture lignee od alle murature (ad es. per sfilare i chiodi dalle assi di un tavolato si potrà tranciare le loro teste e segare i loro gambi o, in alternativa, esercitare una trazione sull'elemento da rimuovere, in corrispondenza della giunzione, sfruttando il principio della leva ed utilizzando a tale scopo strumenti quali tenaglie, scalpelli ecc. avendo cura di non danneggiare, né la tavola dell'assito da rimuovere, né il travicello cui sarà ancorata).

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

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

6.1.2.14 ASPORTAZIONE DI INTONACI

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

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

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

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

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

6.1.2.15 RIMOZIONE E SMONTAGGIO DI PAVIMENTI

La rimozione dei pavimenti dovrà essere eseguita, preferibilmente, con mezzi manuali (mazzetta e scalpello) o, in presenza di battuti (di cemento o di graniglia) o pastelloni alla veneziana particolarmente tenaci, con l'ausilio di martelli da taglio o, in alternativa e solo sotto esplicita richiesta della D.L. modesti mezzi meccanici. In ogni caso l'operazione dovrà essere limitata al solo pavimento ed alla malta di allettamento. Il restante sottofondo dovrà essere pulito e spianato

accuratamente eliminando qualsiasi irregolarità. Bisognerà, inoltre, prestare molta attenzione agli impianti posti sotto il pavimento dei quali si dovrà, necessariamente, curarne il ripristino nel caso di rottura causata durante le demolizioni.

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

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

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

6.1.2.16 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 torelo o nella giuntura d'angolo di due pannelli, facendo attenzione di 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 facendo 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.

PROCEDURE OPERATIVE DI CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE

6.1.3 OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO FONDAZIONI

6.1.3.1 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 provvisorie 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 sottomurature, 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).

6.1.3.2 CONSOLIDAMENTO MEDIANTE AMPLIAMENTO DELLA BASE FONDALE

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

Le procedure operative di consolidamento non dovranno in alcun modo alterare la stabilità del sistema murario da consolidare né quella degli edifici limitrofi; sarà, pertanto, necessario adottare tutti quei provvedimenti e quelle cautele utili alla messa in sicurezza del manufatto nel rispetto della normativa vigente.

Prima esecuzione, se necessario, delle opere di presidio temporaneo delle strutture in elevazione s'individuano le aree d'intervento dividendole "per cantieri"; successivamente s'inizierà lo scavo da un solo lato della muratura o da entrambi i lati in presenza di murature di forte spessore (>150 cm) o dietro specifica indicazione della D.L. Gli scavi (profondi se non diversamente specificato fino alla quota del piano di posa della vecchia fondazione) saranno dimensionati secondo le necessità, in ogni caso dovranno essere strettamente relazionati all'esecuzione del tipo di lavoro, così da garantire una buona realizzazione del rinforzo di fondazione.

Qualsiasi operazione di consolidamento in cls armato o in muratura dovrà poggiare su un getto di spianamento in magrone di conglomerato cementizio R 325 (dosato 200-250 Kg/m³) non armato dello spessore minimo di 10-15 cm posato su di un piano orizzontale ripulito dai detriti e regolarizzato mediante pietrisco di spessore minimo 15-20 cm.

Per le opere di fondazioni da realizzarsi con c.a. sarà necessario provvedere alla posa in opera delle carpenterie in legno di cassature, che dovranno essere di adeguata resistenza, impermeabili, ben ancorate e contrastate (al fine di resistere alla pressione idraulica dell'impasto fluido) e sigillate (con materiali collanti o con la stessa malta a consistenza plastica) per evitare perdite di boiaccia; inoltre, le cassature in legno, dovranno essere saturate (specialmente con climi caldi e asciutti) con acqua per evitare la sottrazione, per assorbimento, del liquido dall'impasto; prima del getto sarà, infine, necessario applicare il disarmante così da facilitare l'operazione di disarmo del cassero.

6.1.3.2.1 *Ampliamento della fondazione mediante travi longitudinali in c.a. cerchianti l'elemento fondale e placcaggio dello spiccato delle murature*

La procedura avrà lo scopo di allargare la sezione fondale permettendo la distribuzione del carico su una superficie più ampia, allo stesso tempo si otterrà una riduzione della pressione di contatto suolo-struttura.

La procedura prevedrà, previa predisposizione dello scavo da entrambi i lati del tratto di muratura interessata, l'esecuzione di varchi nella muratura al fine di creare degli elementi di collegamento, una sorta di cordoli trasversali tra le due travi laterali. Questi elementi di collegamento dovranno essere predisposti, ed armati, secondo le disposizioni di progetto, in assenza di queste si potranno mettere in opere dei cordoli di dimensione minima 30x30 cm intervallati ogni 150-200 cm ed armati con ferri ad aderenza migliorata Fe B 44 K \varnothing minimo 16 mm, staffe di \varnothing 8/200 mm e 2+2 staffoni \varnothing 16 mm. In alternativa al cordolo trasversale le travi laterali potranno essere collegate con barre in acciaio inossidabile Fe B 44 K \varnothing minimo 18-20 mm inghisate con malta di calce idraulica reoplativa antiritiro attraverso perforazioni orizzontali od inclinate \varnothing minimo 32 mm (precedentemente eseguite con strumenti a sola rotazione) di lunghezza tale da poter essere collegate alla gabbia di armatura delle due travi; in questo caso la cadenza dei collegamenti sarà più serrata (circa 80-120 cm) (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto all'articolo sulle iniezioni di miscele leganti armate).

Le travi dovranno correre, parallelamente ed essere aderenti alla fondazione preesistente, inoltre dovranno avere, in corrispondenza dei collegamenti trasversali richiesti dal progetto, dei ferri di chiamata verticali così da poter essere collegati al cordolo trasversale. Le dimensioni e le armature dovranno seguire le indicazioni di progetto, in assenza di queste potranno essere di altezza pari a quella della fondazione preesistente e di larghezza minima di 40 cm; per quanto riguarda le armature potranno essere costituite da ferri ad aderenza migliorata Fe B 44 K ad es. 10-12 \varnothing 16 mm, con staffe \varnothing 8-10/200 mm; la gabbia di armatura dovrà essere munita di distanziatori di spessore pari allo spessore del prescritto copriferro, ed in ogni caso non inferiore a 20 mm anche per le staffe.

Nel caso in cui lo spiccato delle murature si dovesse presentare in uno stato di conservazione pessimo, sarà opportuno affiancare alla procedura di ampliamento delle fondazioni quella di placcaggio preventivo eseguita con paretine di c.a. (oppure con materiale a base di legante idraulico) di spessore 6-8 cm opportunamente armate con rete in acciaio inossidabile elettrosaldato Fe B 44 K (in alternativa si potrà utilizzare rete zincata a caldo) \varnothing 8-10 mm a maglia 100x100 o 150x150 mm ancorata alla parete con chiodatura a quinconce con barre filettate \varnothing 12 mm ogni 40-60 cm (per maggiori dettagli sul placcaggio si rimanda a quanto detto all'articolo specifico).

Al fine di garantire un'adeguata aderenza del getto alle murature esistenti si potrà ricorrere all'applicazione di un promotore d'adesione con funzione di ripresa di getto dello spessore continuo di almeno 1 mm.

Specifiche sul getto: il getto dovrà avvenire in modo tale da ottenere un composto omogeneo e compatto, senza discontinuità o segregazione. Il conglomerato cementizio impiegato dovrà risultare esente da porosità od altri difetti, inoltre dovrà, obbligatoriamente, essere di tipo strutturale, utilizzando come leganti solo ed esclusivamente cementi (ad es. R 325 o R 425) con Attestato di Conformità (DM 12/7/99 n. 314) ed aggregati silicei (impasto tipo: cemento R425 2,5-3 q, sabbia 0,40 m³ pietrisco o ghiaietto 0,80 m³); resistenza media a compressione di 30 N/mm² (in ogni caso non inferiore a 25 N/mm²), classe di lavorabilità (slump) S3 (semifluido) rapporto acqua-cemento \leq 0,65. In caso di temperature diurne prossime a zero gradi o che possano far presumere una temperatura notturna inferiore a 2-3°C, sarà necessario attuare tutti gli accorgimenti al fine di evitare che i getti gelino, come ad esempio coprirli con teli in polietilene qualora il fenomeno sarà di poca entità, oppure utilizzando degli additivi antigelivi da aggiungere al conglomerato nella fase di impasto. In caso, invece, di forte evaporazione durante la stagione calda, onde evitare la formazione di fessure, i getti dovranno, necessariamente, essere tenuti bagnati (ad es. con acqua a pioggia), per almeno due giorni.

Durante la fase del getto il calcestruzzo messo in opera dovrà essere convenientemente vibrato, preferibilmente, con vibratore ad immersione, o prese le necessarie cautele, usando vibratore a parete, così da raggiungere la compattazione prescritta nelle specifiche di progetto; dovrà essere evitata l'aggiunta di acqua all'impasto al fine di ottenere una maggiore fluidità. Qualora la vibratura dell'impasto potesse risultare nociva al manufatto preesistente, occorrerà provvedere con un calcestruzzo reodinamico (in grado cioè di costiparsi da solo) secondo le prescrizioni progettuali, o quelle che la D.L. impartirà sul posto.

6.1.3.2.2 *Ampliamento della fondazione mediante cordolo in c.a. cerchiato le fondazioni con ammorsamento puntuale a coda di rondine o a dado*

La procedura sarà molto simile a quella delle travi longitudinali ma si differenzierà da questa per la messa in opera di soli cordoli cerchiati al posto delle travi. I cordoli dovranno essere dimensionati, ed armati, secondo gli elaborati di progetto, in ogni caso non dovranno essere inferiori ai 40 cm di lato ed armati con ferri ad aderenza migliorata Fe B 44 K ad es. 4 \varnothing 16-18 mm, con staffe \varnothing 8-10/200 mm. Nel caso di messa in opera di doppio cordolo il collegamento sarà simile a quello proposto per la trave longitudinale, se invece sarà ritenuto sufficiente posizionare il cordolo solo da un lato della fondazione, questo potrà essere ancorato o con un "dente" a coda di rondine intervallato ogni 200 cm o con un "dente" a dado intervallato ogni 150 cm, in ogni caso profondo per almeno 2/3 della sezione del muro. Le procedure di messa in

opera di questi ancoraggi puntuali, nonché il dimensionamento della loro armatura seguiranno quelle descritte per il collegamento discontinuo dei solai lignei ad eccezione delle dimensioni che in questo caso potranno essere leggermente maggiore (40-60 cm contro i 25-40 cm dell'ancoraggio dei solai).

6.1.3.3 CONSOLIDAMENTO DI FONDAZIONI CON PALI

L'intervento sarà conforme al punto 10, dell'Allegato 3 della Circolare Ministeriale LLPP 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 tonnellate ciascuno sospendendolo di volta in volta così da permettere distinte letture negli strumenti.

6.1.3.3.1 Sottofondazione con micropali

La procedura utilizzerà pali di sezione ridotta, con un \varnothing 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 micropali, 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 ne 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 dal 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.

6.1.3.3.2 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 bentonite rapporto bentonite-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. \varnothing 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 \varnothing 16-18 mm con staffa \varnothing 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/m³, con un rapporto acqua-cemento < di 0,5 ed una resistenza di 35 N/mm², gli inerti saranno costituiti da sabbie fine e lavate) che, risalendo, estrometteranno il fluido di perforazione avente un peso specifico minore del cls.

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.

6.1.3.3.3 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/mm² crescenti con la profondità e volumi di sbulbature tali da conferire al micropalo un diametro utile di 30-80 cm.

6.1.3.4 CONSOLIDAMENTO DI FONDAZIONI CON INIEZIONI DI MISCELE LEGANTI

La procedura riguarderà il consolidamento in profondità del terreno di fondazione mediante l'iniezione di boiacca di calce pozzolanica, priva di cemento a granulometria finissima (inferiore a 12 μ m) ad elevata fluidità ed eccellente mantenimento della lavorabilità; espansiva in fase plastica, per garantire il riempimento dei vuoti più piccoli.

Resistenza a compressione > 10 MPa classificabile come malta da muratura di tipo M 10 secondo la normativa europea UNI EN 998/2.

Questa tecnica di consolidamento potrà essere utilizzata sia per migliorare la capacità portante del terreno a causa di cedimenti manifestatisi nelle strutture di fondazione, sia per conseguire un preventivo ampliamento della capacità portante in vista di un aumento dei carichi.

Le perforazioni, intervallate, generalmente di 100-200 cm, dovranno essere eseguite, necessariamente, tramite strumento a rotazione munito di idonee punte (\varnothing 12-15 mm) di lunghezza notevole tali da raggiungere le profondità (massimo 6 m dal piano di lavoro) prescritte dal progetto.

La procedura vera e propria di iniezione conterà di due fasi:

- iniezione nella zona immediatamente sottostante alle fondazioni così da annullare gli eventuali vuoti macroscopici presenti e ripristinare una più vantaggiosa continuità tra fondazione e terreno; inoltre si miglioreranno le caratteristiche geomeccaniche del terreno di fondazione più superficiale aumentandone la resistenza a rottura per sforzi di taglio;
- iniezione in profondità nella zona del bulbo di pressione. L'inizio delle iniezioni sarà eseguito dai lati dell'area da consolidare in modo da creare uno sbarramento alla successiva espansione laterale della resina. In un secondo tempo la resina si espanderà verso l'alto determinando il sollevamento della struttura. La valutazione della zona da trattare, le modalità e le pressioni di iniezione, nonché la maglia e le profondità delle stesse dovranno, accuratamente, essere conformi al progetto, in attinenza al volume murario da consolidare e alla compressibilità e natura del terreno sottostante.

6.1.4 CONSOLIDAMENTO MURATURE

6.1.4.1 PREMESSA METODOLOGICA

Le tecniche d'intervento per il consolidamento delle strutture in muratura devono essere prescelte in riferimento a delle riflessioni operate sulla prioritaria necessità di salvaguardare testimonianze della tradizione edile rappresentative non solo per se stesse ma anche di un insieme accomunato dagli stessi aspetti caratterizzanti; quindi, pur tenendo conto delle necessità imposte dalle normative vigenti riguardo agli adeguamenti strutturali e, soprattutto, sismici dovrà essere fatta particolare attenzione al fine di non stravolgere la struttura al punto di perdere la sua originale conformazione. La richiesta e la necessità di ridare "sicurezza" ed efficienza alla costruzione, non dovrebbe comportare necessariamente il mutamento, in alcuni casi, radicale degli aspetti costruttivi dell'apparato murario, così come erroneamente accade sovente, dove i setti portanti vengono privati dell'originale funzione strutturale e trasformati in tamponature di "rassicuranti" aggiunte strutturali in cemento armato. L'intervento di consolidamento non deve tradursi nell'introduzione di strutture che pur garantendo una elevata resistenza meccanica risultano corpi estranei per la muratura; l'incompatibilità materica genera un ibrido strutturale che difficilmente può mantenere un comportamento solidale in presenza di sollecitazioni. Questo dato comprovato in riferimento ad interventi passati decisamente intrusivi ha fatto riflettere su come sia sconsigliabile attuare a priori un consolidamento prescindendo dalla conoscenza dei materiali e della rispettiva tecnica costruttiva di messa in opera.

L'intervento dovrà, infatti, essere redatto in riferimento a delle indagini preventive indirizzate all'effettiva conoscenza della struttura, gli approfondimenti dovranno essere di tipo storico indispensabili sia al fine di capire a fondo la tecnica costruttiva sia per poter delineare la panoramica dei vari avvicendamenti subiti nel corso degli anni come, ad esempio, interventi precedenti relazionati a problemi congeniti o legati ad eventi sismici mentre, quelli di natura diagnostica saranno finalizzati alla conoscenza del reale stato conservativo dei materiali. Delle diverse tipologie di indagini diagnostiche sarà preferibile ricorrere a quelle non distruttive onde evitare asportazioni, anche se ridotte, di materiale che in alcuni casi potrebbero implicare l'aggravarsi del precario equilibrio strutturale. La fase conoscitiva della struttura dovrà essere in grado di rilevare i punti critici, quelli più delicati, la presenza di cavità, discontinuità materiche, vuoti ecc. al fine di poter modificare l'intervento adattandolo secondo le necessità dettate dalla struttura. Capire, inoltre, le eventuali sollecitazioni che potranno colpire la struttura in tempi futuri, aiuterà a definire interventi puntuali e, soprattutto, cautelativi in modo da rendere meno vulnerabile l'organismo nei confronti di futuri stati tensionali. Notizie utili potranno essere ricavate anche, dalla lettura stratigrafica delle murature poiché i dati ricavati potranno svelarci il susseguirsi delle attività antropiche avvallando o smentendo quanto desunto dalle notizie storiche.

Tenendo presente che le diverse tecniche costruttive cambiano, in base al periodo di costruzione, da luogo a luogo relazionandosi, alla tipologia di materiale locale disponibile, al reperimento dello stesso e soprattutto in diretta connessione con l'abilità delle maestranze nell'eseguirle per cui, non è da escludere rilevare di ogni tecnica varianti sostanziali per cui nonostante le numerose analisi e ricerche preventive operate, considerata la concomitanza di questi fattori, la messa a punto dell'intervento potrà concretamente essere operata solo a cantiere aperto interagendo materialmente con la struttura. Il consolidamento, dovrà tenere conto dei fattori principali che hanno caratterizzato la resistenza e il comportamento statico della muratura tra i quali: la natura dei materiali, la caratteristica delle malte di allettamento, la tipologia di messa in opera e la sezione della muratura.

A parità di tipologia di dissesto, tra le varie risoluzioni disponibili, il tecnico dovrà scegliere quella più confacente la specifica tipologia di apparecchio murario da consolidare; le eventuali sostituzioni di porzioni eccessivamente ammalorate o l'introduzioni di elementi di irrigidimento dovranno essere operate non solo nel pieno rispetto della struttura ma soprattutto tenendo conto dei limiti imposti dalla sua intrinseca conformazione e comunque, laddove l'irrigidimento strutturale, per ovvie ragioni pratiche relazionate al caso specifico, non potrà essere realizzato in piena rispondenza di quanto sino ad ora esposto potrà risultare consona al caso garantirsi, almeno in parte, la possibilità di rendere l'intervento reversibile.

6.1.4.2 OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO APPARECCHI MURARI

6.1.4.2.1 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 Circolari Ministeriali 10 luglio 1981, n. 21745 e 19 luglio 1981, n. 27690, DM 27 luglio 1985, DM 20 novembre 1987, Circolare Ministeriale LLPP 4 gennaio 1989 n.30787, DM 16 gennaio 1996, Circolare Ministeriale LLPP 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG.

6.1.4.2.2 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 rilievo accurato della porzione di muratura da sostituire al fine di circoscrivere puntualmente la zona da ripristinare dopodiché, dove si renderà necessario, si procederà alla messa in opera di opportuni puntellamenti così da evitare crolli o deformazioni indesiderate.

La porzione di muratura da sanare verrà divisa in cantieri (dimensionalmente rapportati alla grandezza dell'area interessata dall'intervento di norma non più alti di 1,5 m e larghi 1 m) dopodiché, si procederà (dall'alto verso il basso) alternando le demolizioni e le successive ricostruzioni, in modo da non danneggiare le parti di murature limitrofe che dovranno continuare ad assolvere la funzione statica della struttura. La demolizione potrà essere eseguita ricorrendo a mezzi manuali (martelli, punte e leve) facendo cura di non sollecitare troppo la struttura evitando di provocare ulteriori danni; ad asportazione avvenuta la cavità dovrà essere pulita con l'ausilio di spazzole, raschietti o aspiratori, in modo da rimuovere i detriti polverulenti e grossolani (nel caso sia necessario ricorrere ad un tipo di pulitura che preveda l'uso di acqua l'intervento dovrà attenersi alle indicazioni specificate 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-Z 5) 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.

6.1.4.2.3 Consolidamento mediante iniezioni di miscele leganti

(fare riferimento al consolidamento delle fondazioni)

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 conterà nell'iniettare una miscela entro fori convenientemente predisposti, e presenterà due varianti:

- realizzazione di perforazioni regolarmente distribuite sull'apparecchio murario ed estrusione, ad una pressione variabile, di boiaccia idraulica che riempiendo le fratture e gli eventuali vuoti (sostituendosi e/o integrando la malta originaria) consoliderà la struttura muraria così da ripristinare la continuità della struttura anche in caso di muratura a sacco;
- realizzazione di perforazioni localizzate solo in zone limitate dell'apparecchio murario (ad es. le ammorsature tra muri d'angolo e di spina, o le strutture voltate ed arcate), con l'aggiunta dell'introduzione di barre in acciaio,

seguido una disposizione configurate 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 tale 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.

6.1.4.2.4 Consolidamento mediante iniezioni non armate

L'intervento (conforme al punto 3, lettera a), dell'Allegato 3 della Circolare Ministeriale LLPP 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 boiaccia 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 conterà delle seguenti fasi esecutive.

6.1.4.2.4.1 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).

6.1.4.2.4.2 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 m²); detti fori, di diametro opportuno (mediamente sarà sufficiente un \varnothing 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 diametro di circa 20 mm) verranno introdotti, per almeno 10-12 cm ed in seguito, sigillati con la stessa malta di iniezione a consistenza più densa (diminuendo cioè il quantitativo d'acqua nell'impasto). Durante questa operazione sarà necessario evitare che le eventuali sbavature vadano a degradare in modo irreversibile l'integrità degli strati di rivestimento limitrofi; nel caso di fuoriuscite di colature queste dovranno essere celermente pulite mediante spugnette assorbenti (tipo Blitz-fix) imbevute di acqua deionizzata. Al fine di garantire una corretta diffusione della miscela, sarà consigliabile praticare dei fori profondi almeno quanto la metà dello spessore dei muri.

In presenza di spessori inferiori ai 60-70 cm le iniezioni verranno effettuate su una sola faccia della struttura; oltre i 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 3/4 dello spessore del muro e mai di valore inferiore ai 10 cm. In presenza di cortine murarie in laterizio pieno sarà utile prevedere perforazioni inclinate di almeno 40-45 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 boiaccia e per rendere partecipi i diversi strati di malta.

Precedentemente all'iniezione (almeno 24 ore prima) dovrà essere iniettata acqua nel circuito chiuso d'iniezione al fine di saturare la massa muraria e di mantenere la densità della miscela. L'operazione di prelavaggio (eseguita con acqua pura, eventualmente deionizzata) sarà, inoltre, conveniente sia per confermare le porzioni delle zone oggetto d'intervento, (corrispondenti alle zone umide), sia per segnalare l'esistenza d'eventuali lesioni non visibili. Durante la suddetta fase di pulitura-lavaggio si dovranno effettuare, se necessarie, le eventuali operazioni supplementari di rinzafo, stilatura dei giunti e sigillatura delle lesioni.

6.1.4.2.4.3 Iniezione della boiaccia legante

L'iniezione delle miscele (che, di norma dovranno essere omogenee, ben amalgamate ed esenti da grumi ed impurità) all'interno dei fori dovrà essere eseguita, preferibilmente, a bassa pressione (indicativamente tra 0,5 e 1,5 atm in ogni caso non superiore alle 2 atm) così da evitare la formazione di pressioni all'interno della massa muraria con le conseguenti coazioni con le cortine esterne; inoltre andrà effettuata tramite idonea pompa a mano o automatica provvista di un manometro. Nel caso in cui il dissesto risulterà circoscritto ad una zona limitata sarà opportuno dare precedenza alle parti più danneggiate (utilizzando una pressione non troppo elevata e, se sarà necessario eseguire un preconsolidamento con boiaccia molto fluida colata mediante imbuto, prima delle perforazioni, in tutti gli elementi di discontinuità presenti nella muratura), per poi passare alle rimanenti, utilizzando una pressione maggiore. Le iniezioni procederanno per file parallele, dal basso verso l'alto dai lati esterni e, simmetricamente, verso il centro al fine di evitare squilibri di peso ed impreviste alterazioni nella statica della struttura. Il volume di miscela iniettata non dovrà superare i 100-120 l per m³.

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 boiaccia non fuoriuscirà dai tubicini adiacenti, a questo punto si chiuderà il tubicino e si proseguirà con il foro limitrofo seguendo il piano di lavoro. L'iniezione ad un livello superiore sarà eseguita, se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, solo quando tutti i tubi di iniezione, posti alla medesima quota, risulteranno intasati. Sarà, inoltre, opportuno aumentare la pressione d'immissione in relazione alla quota del piano di posa delle attrezzature. L'aumento potrà essere di 1-2 atmosfera ogni 3-3,5 m di dislivello in modo da bilanciare la pressione idrostatica. In edifici a più piani le iniezioni dovranno essere praticate a partire dal livello più basso.

In alternativa, e solo dietro specifica indicazione di progetto, si potrà iniettare la boiaccia per gravità; 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 "aiutate" 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 boiaccia per iniezioni potrà essere composta, se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, da una miscela di sola calce idraulica NHL 3,5 o NHL-Z 3,5 (esente da sali solubili, con 85% dei granuli di dimensione < a 25 m, 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 boiaccia additivi fluidificanti (in misura dell'1-2% rispetto al peso del legante) ed agenti espansivi antiritiro (ad es. polvere di alluminio da 0,2% a 0,3% del totale in peso) al fine di controllare anche gli eventuali fenomeni naturali di ritiro di assestamento in fase plastica (ovverosia nelle prime ore che seguiranno la messa in opera) e di ritiro igrometrico (ritiro che si manifesterà nel materiale indurito, dopo circa 28 giorni, e si protrarrà per periodi molto lunghi, di norma sarà ritenuto completato dopo circa 2 anni dalla messa in opera).

In alternativa, potrà essere utilizzata una miscela binaria (da utilizzare in presenza di vere e proprie cavità, specie nei muri a sacco) composta da calce idraulica naturale NHL 2, (o da una calce idraulica pozzolanica ottenuta miscelando calce idrata cotta a bassa temperatura e, completamente idrata, con metacaolino anch'esso cotto a bassa temperatura, la calce idrata potrà essere sostituita anche da grassello di calce stagionato minimo 24 mesi) sabbia ed acqua (rapporto legante-acqua 1:3 fino ad 1:5 nel caso di iniezioni per gravità) con l'aggiunta di gluconato di sodio (con funzione fluidificante) e polvere di alluminio (come agente espansivo). La sabbia dovrà essere sempre di granulometria molto fine (< al 35-40% della minima larghezza delle fessure) e, preferibilmente, con granuli arrotondati; in alternativa, potrà essere impiegato carbonato di calcio scelto e micronizzato o perlite superventilata (se si ricercherà una boiaccia a basso peso specifico) od ancora, metacaolino ad alta reattività pozzolanica (o polvere di coccio pesto vagliata e lavata) per migliorare le proprietà

idrauliche della boiaccia (nel caso di utilizzo di grassello di calce o calce idrata, la carica con caolino, cocci 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 boiaccia, 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 boiaccia determinerebbe, in seguito alla successiva evaporazione, la presenza di vuoti all'interno della massa del nucleo,
- tempo di presa compatibile con quello della lavorazione,
- alto scorrimento,
- sviluppo calore in fase di presa temperatura massima < +30°C,
- dilatazione termica compatibile con quella della muratura originale,
- resistenza caratteristica a rottura per compressione > 12 N/mm² dopo 28 giorni,
- peso specifico modesto < 1,8 kg/l,
- resistenza ai sali comunemente presenti nella muratura (solfati, ammine),
- modulo elastico allo stato secco comparabile con quello della muratura (3000-6000 N/mm²),
- non presentare fenomeni di ritiro che ridurrebbero l'efficacia del contatto.

Avvertenze: non sarà assolutamente consentita, salva diversa prescrizione della D.L., la demolizione d'intonaci e stucchi; sarà anzi necessario provvedere al loro preventivo consolidamento e/o ancoraggio al paramento murario, prima di procedere all'esecuzione della suddetta procedura (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto agli articoli specifici). Il collaudo del consolidamento andrà eseguito dopo 90 giorni dall'esecuzione delle iniezioni.

6.1.4.2.5 Consolidamento mediante iniezioni armate

L'intervento (conforme al punto 3, lettera c), dell'Allegato 3 della Circolare Ministeriale LLPP 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 perfori (Øvariabile 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 Ø12 mm massimo 20 mm), o barre filettate di acciaio AISI 316L, (minimo Ø14 mm) munite di distanziatori perimetrali al fine di evitare il contatto diretto con la muratura; lo schema distributivo, l'inclinazione il calibro e la lunghezza delle barre dovranno essere relazionati: alle disposizioni di progetto o indicazioni della D.L., ai dissesti riscontrati dall'esame del quadro fessurativo del manufatto o 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 boiaccia anticarbonatante, reoplastica-pennellabile 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 boiaccia (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'inghisaggio ed il ferro. Affinché questo trasferimento avvenga sarà necessario che la barra presenti una lunghezza minima di 40 ϕ , 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).

6.1.4.2.6 Consolidamento mediante placcaggio di superficie (betoncino armato)

L'intervento (conforme al punto 4 dell'Allegato 3 della Circolare Ministeriale LLPP 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG. riguardante le norme tecniche per le costruzioni in zona sismica) si realizzerà con l'apposizione, su una o possibilmente entrambe le facce del muro, di lastre verticali di materiale a base idraulica realizzate in cantiere opportunamente armate da rete metallica elettrosaldata e, rese solidali alla muratura originale con ferri trasversali passanti nel muro.

6.1.4.2.6.1 Lesioni diffuse

Questa procedura consentirà di migliorare le caratteristiche di resistenza del maschio murario, grazie all'incremento della sezione resistente apportato dalle paretine e dall'effetto di confinamento esercitato sulla muratura degradata.

Questa tecnica potrà risultare adatta unicamente su murature particolarmente dissestate (e comunque non caratterizzate da particolari valenze storico-architettoniche) con quadri fessurativi estesi e complessi, e quindi non più in grado di eseguire a pieno la loro funzione statica, ma che in ogni modo dovranno essere mantenute parzialmente o integralmente.

Questo sistema di consolidamento, pertanto, dovrà essere utilizzato con le dovute cautele, mai in maniera generalizzata, dietro specifiche prescrizioni di progetto o indicazioni della D.L. e, con il benessere degli organi preposti alla tutela del bene oggetto d'intervento. La procedura operativa conterà delle seguenti fasi esecutive.

6.1.4.2.6.1.1 Preparazione del supporto

Dietro specifica autorizzazione della D.L., si procederà alla rimozione dell'eventuale intonaco, dei rivestimenti parietali, delle parti incoerenti ed in fase di distacco, e della malta dei giunti tra gli elementi lapidei o laterizi per una profondità minima di 2-3 cm, fino a raggiungere la parte sana della struttura (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto agli articoli specifici). Le, eventuali, lesioni andranno ripulite, allargate e spolverate con l'ausilio di aria compressa e strumento aspiratore, nonché stuccate con idonea malta a presa rapida (sarà sufficiente utilizzare un impasto a base di calce idraulica naturale e pozzolana simile a quello utilizzato nelle procedure di stuccature dei materiali lapidei diminuendo però il quantitativo d'acqua nell'impasto). Successivamente la parete dovrà essere spazzolata e lavata con acqua pulita al fine di rimuovere polveri e depositi incoerenti.

6.1.4.2.6.1.2 Armatura parete

Al fine di inserire i connettori trasversali si dovranno eseguire perforazioni, (con strumento a sola rotazione) passanti in senso obliquo se l'intervento riguarderà entrambe le facce, per 3/4 dello spessore del muro qualora la muratura venga trattata su una sola superficie (esterna o interna); il numero dei tiranti potrà variare in relazione alle disposizioni di progetto, tuttavia sarà opportuno non scendere al di sotto dei 2 tiranti al m² di parete (di norma si utilizzeranno 4-6 spillature al m²). All'interno di queste perforazioni si collocheranno i tondini di acciaio, lasciandoli sporgere dalla struttura per almeno cm 10 da ogni lato. Le barre saranno del tipo e, del diametro indicato dagli elaborati di progetto ovvero ordinato dalla D.L. con ϕ minimo di 4-8 mm, in assenza di specifiche potranno essere utilizzate barre di acciaio inossidabile ad aderenza migliorata Fe B 44 K (in alternativa si potrà utilizzare acciaio zincato o acciaio precedentemente trattato con boiaccia passivante anticarbonatante per uno spessore minimo di 1 mm). In corrispondenza delle aperture potrà essere omessa la formazione della lastra al fine di non ridurre la luce delle medesime, avendo cura, però, di raddoppiare le legature perpendicolari al piano del muro, disponendole a quinconce.

Una volta stuccate l'eventuali lesioni, fessure o parti di struttura situate sotto i fori con la malta prescritta, si potranno posizionare reti metalliche elettrosaldate (preferibilmente in acciaio inossidabile) su entrambi i lati del muro. Le reti

avranno diametro e maglia come specificato negli elaborati di progetto o comandati dalla D.L., diversamente potranno essere formate da tondini di $\varnothing 6-8$ mm con maglie 100x100 o 150x150 mm risvoltate per almeno 50-100 cm in corrispondenza degli spigoli laterali così da collegare ortogonalmente le nuove paretine armate con le altre strutture portanti. Le eventuali sovrapposizioni di reti dovranno interessare almeno 20 cm ed in ogni caso non meno di due maglie. Una volta posizionata la rete, e fissata con chiodi in acciaio ad "U" o a "J" ($\varnothing 4$ mm per una lunghezza minima di 18 cm), le barre saranno ripiegate ad uncino di 90° al fine di connetterle alle maglie della rete e realizzare in tal modo il collegamento tra le paretine ed il nucleo della muratura. In alternativa alla rete metallica si potrà posizionare, dietro specifica indicazione di progetto, una rete in polipropilene (PP) bi-orientata a maglia quadrangolare prodotta per estrusione e sottoposta a processo di stiro a temperatura controllata nelle due direzioni (caratteristiche medie: totale inerzia chimica, maglia 40x30 mm, peso unitario 650 g/m², resistenza a trazione nelle due direzioni 40 kN/m, allungamento > 10%).

L'accurata sistemazione dell'armatura dell'intonaco risulterà, per la buona riuscita della procedura, un elemento di particolare importanza, essa, infatti, dovrà essere tenuta separata dal supporto murario per almeno 2 cm, ricorrendo ad idonei distanziatori, in modo da evitare la manifestazione di fenomeni d'instabilità flessionale; per questo motivo sarà necessario disporre la rete in modo che possa trasmettere correttamente gli sforzi alle spillature praticate nel pannello murario.

6.1.4.2.6.1.3 Messa in opera intonaco

Sul setto murario, preventivamente, bagnato abbondantemente con acqua pulita fino a saturazione, così da evitare ogni possibile sottrazione d'acqua al nuovo materiale, verrà applicato uno strato di malta anche in più riprese, (fino a raggiungimento della quota prevista) del tipo prescritto dal progetto o indicato dalla D.L. avendo cura di riempire, eventuali, vuoti emersi dietro l'armatura metallica, e battendo con frattazzo la superficie trattata prima del tiraggio a liscio con la staggia.

In ogni caso, salve diverse indicazioni di progetto, si dovrà tenere presente che:

- per realizzare spessori inferiori ai 3 cm sarà consigliabile mettere in opera la malta a spruzzo, armata con rete metallica $\varnothing 4-6$ mm con maglia 100x100 mm;
- per realizzare spessori intorno ai 3-5 cm si potrà applicare la malta manualmente, armata con rete metallica $\varnothing 6-8$ mm con maglie 100x100 o 150x150 mm;
- per realizzare spessori superiori ai 5 cm fino ad un massimo di 8-10 cm si dovrà, necessariamente, ricorrere al getto in casseforme armate con rete metallica $\varnothing 8-10$ mm con maglia 100x100 o 200x200 mm.

Lo spessore e, la metodologia di posa in opera dovranno essere comparati e pensati in base al degrado della struttura ed al tipo di sollecitazioni cui è stata, e sarà sottoposta la struttura, in ogni caso, potrà essere opportuno eseguire intonaci per uno spessore di circa 4-5 cm.

Al fine di evitare la formazione di fessure e cavillature dovute alla troppo rapida evaporazione dell'acqua d'impasto le paretine dovranno essere tenute umide per almeno 48 ore e protette da vento e/o irraggiamento solare diretto.

Specifiche sulle malte: la malta o betoncino da utilizzare dovrà presentare un modulo elastico basso così da limitare eventuali inconvenienti legati all'instabilizzazione per carico di punta. A tal fine si potranno utilizzare malte a base di calce idraulica naturale NHL 3,5 (o, calce naturale eminentemente idraulica NHL 5) caricata con inerti a comportamento pozzolanico (ad es. pozzolana, metacaolino, cocci pesto ecc.), sabbie silicee naturali (granulometria 0,1-2 mm) con l'eventuale aggiunta d'additivi aeranti naturali, fibre minerali inorganiche atossiche (così da ridurre le tensioni generate dall'evaporazione dell'acqua e limitare le fessurazioni da ritiro plastico) e espansivi minerali (così da controllare il ritiro igrometrico). Le malte (rapporto legante-inerte 1:3) ed i betoncini (rapporto legante-inerte 1:4) a ritiro compensato da utilizzare dovranno in ogni caso presentare le seguenti caratteristiche:

- resistenza a compressione a 28 giorni > 18 N/mm²;
- modulo elastico a 28 giorni < 15000 N/mm²;
- espansione contrastata a 7 giorni > 300 mm/m;
- coefficiente di permeabilità al vapore < 150 m.

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

6.1.4.2.6.2 Lesione isolata

Per interventi su lesioni passanti isolate, anche di spessori consistenti, la procedura si potrà limitare esclusivamente alle fasce limitrofe la lesione (circa 60-80 cm a cavallo della lesione). Le fasi esecutive saranno le stesse enunciate all'articolo riguardante il placcaggio dell'intera parete ad eccezione di qualche precisazione.

La rete elettrosaldata zincata (Ø4-5 mm maglia 100x100 mm) dovrà essere messa in opera in strisce di 60-80 cm, posizionate, a cavallo della lesione, su entrambi i lati della muratura tramite chiodatura e collegata con tondini in acciaio inossidabile ad aderenza migliorata (Ø6-8 mm intervallati da circa 40-50 cm) passanti attraverso la lesione, precedentemente scarnita e pulita da parti incoerenti. La malta da utilizzare per risarcire la lesione, salvo diverse prescrizioni della D.L., dovrà essere a base di calce idraulica e, preferibilmente, di tipo espansivo (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto agli articoli specifici). L'esecuzione dell'intonaco dovrà seguire sia le prescrizioni enunciate all'articolo sul placcaggio di superficie sia quelle inerenti il rappezzo di intonaco, ovverosia al fine di non creare discontinuità materiche superficiali si ricorrerà, se non diversamente specificato, ad una rasatura finale utilizzando impasti simili a quelli esistenti (per uno spessore totale non inferiore ai 3 cm).

6.1.4.2.6.3 Lesione d'angolo

Per interventi su lesioni d'angolo, sia ad "L" sia a "T", anche di spessori consistenti, la procedura si potrà limitare esclusivamente alle fasce limitrofe la lesione (minimo 60 cm oltre la lesione per una fascia minima di 80-100 cm). Le fasi esecutive saranno le stesse enunciate nell'articolo riguardante il placcaggio dell'intera parete ad eccezione di qualche precisazione.

Previa esecuzione delle perforazioni nella parete al fine di alloggiare le barre trasversali di collegamento, si posizionerà la rete elettrosaldata zincata (Ø5-6 mm maglia 150x150 mm), su entrambe le facce del muro, con adeguata sovrapposizione e risvolto minimo di 50 cm in corrispondenza di spigoli verticali. La rete verrà fissata tramite chiodatura e collegata con tondini in acciaio inossidabile ad aderenza migliorata (Ø6-8 mm disposti in maniera più ravvicinata, 35-40 cm, per il primo metro verso il basso e verso l'alto per poi diradarsi, 70-80 cm, verso il centro della rete) inghisati nei perfori e passanti attraverso le lesioni precedentemente scarnite e pulite da parti incoerenti. La malta da utilizzare per risarcire le lesioni, salvo diverse prescrizioni della D.L., dovrà essere a base di calce idraulica e, preferibilmente, di tipo espansivo (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto agli articoli specifici). L'esecuzione dell'intonaco dovrà seguire sia le prescrizioni enunciate all'articolo sul placcaggio di superficie sia quelle inerenti il rappezzo di intonaco ovverosia, al fine di non creare discontinuità materiche superficiali si ricorrerà, se non diversamente specificato, ad una rasatura finale utilizzando impasti simili a quelli esistenti (per uno spessore totale non inferiore ai 3 cm).

6.1.4.2.6.4 Lesioni in corrispondenza di aperture

Per interventi su lesioni nelle vicinanze di aperture (porte o finestre), anche di spessori consistenti, la procedura potrà limitarsi, esclusivamente, alle zone limitrofe le lesioni (generalmente circa 60-80 cm a destra e a sinistra dell'apertura e per un'altezza minima pari a 40 cm al di sotto dell'architrave). Le fasi esecutive saranno le stesse enunciate all'articolo riguardante il placcaggio dell'intera parete ad eccezione di qualche precisazione.

Previa esecuzione delle perforazioni nella parete, al fine di alloggiare le barre trasversali di collegamento, si posizionerà la rete elettrosaldata zincata (Ø5-6 mm maglia 150x150 mm) su una o entrambe le facce del muro con adeguata sovrapposizione e risvolto minimo di 50 cm in corrispondenza di spigoli verticali. La rete verrà fissata tramite chiodatura e collegata con tondini in acciaio inossidabile, ad aderenza migliorata (Ø6-8 mm in ragione di circa 4 al m²), inghisati nei perfori e passanti attraverso le lesioni precedentemente scarnite e pulite da parti incoerenti. La malta da utilizzare per risarcire le lesioni, salvo diverse prescrizioni della D.L., dovrà essere a base di calce idraulica e, preferibilmente, di tipo espansivo (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto agli articoli specifici). L'esecuzione dell'intonaco dovrà seguire sia le prescrizioni enunciate all'articolo sul placcaggio di superficie sia quelle inerenti il rappezzo di intonaco, ovverosia al fine di non creare discontinuità materiche superficiali si ricorrerà, se non diversamente specificato, ad una rasatura finale utilizzando impasti simili a quelli esistenti (per uno spessore totale non inferiore ai 3 cm).

6.1.4.2.7 Consolidamento mediante placcaggio con materiali FRP

La procedura si pone l'obiettivo di conservare la funzione resistente degli elementi murari, dando loro un'opportuna resistenza a trazione e fornendoli di uno stadio, più o meno elevato, di duttilità sia nel comportamento a piastra, sia in quello a parete di taglio.

L'operazione prevedrà la fasciatura, o meglio il placcaggio esterno, della struttura con nastri di materiale composito, da calibrare in funzione alle condizioni statiche, ancorati direttamente alla muratura da rinforzare mediante l'utilizzo di resine adesive (generalmente epossidiche). Il placcaggio con i materiali FRP consentirà un'efficace incremento, sia del carico ultimo, sia della duttilità così da costituire una più che valida alternativa rispetto alle tecniche più tradizionali come ad esempio le cerchiature rigide. Questa tecnica potrà essere messa in opera, sia per il rinforzo su pannello resistente con lesioni diffuse, sia per ripristinare situazioni di dissesto localizzato come ad esempio risarciture di lesioni d'angolo, lesioni in corrispondenza di aperture, confinamento di pilastri ecc. I nastri di composito forniranno prestazioni superiori a quelle dell'acciaio armonico, un'adesione perfetta al supporto e spessori ridotti così da potersi mascherare facilmente al di sotto di un semplice strato d'intonaco; inoltre, questa tecnica risulterà completamente reversibile, in quanto i nastri saranno semplicemente incollati alla superficie e potranno essere rimossi mediante trattamento termico.

Le prescrizioni sulla procedura operativa seguiranno quelle previste all'articolo sul consolidamento di volte, delle coperture e delle strutture in c.a. mediante materiali compositi.

Avvertenze: questo protocollo operativo dovrà essere eseguito esclusivamente da operatori specializzati.

6.1.4.2.8 Consolidamento mediante tiranti metallici

L'intervento sarà conforme al punto 2, dell'Allegato 3 della Circolare Ministeriale LLPP 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 capichiaie (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 capichiaie 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 cucì, 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.

6.1.4.2.8.1 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 capochiaie (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 $\varnothing 26$ mm o $\varnothing 32$ mm).

6.1.4.2.8.1.1 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 capochiaie; 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 ($\varnothing 50-80$ 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 (dado e controdado, manicotto di collegamento e tiraggio ecc.). Avvenuta la presa del bulbo di ancoraggio (3 o 4 giorni), il tirante verrà messo in tensione (se teso a mano si ricorrerà ad una chiave dinamometrica che serrerà i dadi sino ad ottenere una tensione di circa 150-200 Kg) con gradualità ed a più riprese, fino alla tensione di calcolo (la tensione applicata non dovrebbe superare il 50% di quella ammissibile dal cavo di acciaio utilizzato), controllando eventuali diminuzioni di tensioni (causati o dal tipo di acciaio impiegato o riconducibili ad assestamenti murari improvvisi). La sede di posa dei tiranti ed i fori potranno essere riempiti 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.

6.1.4.2.8.1.2 Tiranti trivellati inseriti nella muratura verticalmente

I tiranti potranno essere posti all'interno della muratura anche verticalmente, in questo caso il cavo dovrà penetrare all'interno della muratura in posizione perfettamente baricentrica e dovrà interessare una fascia muraria, mediamente, di circa 2 m. Il tirante verticale sarà formato da un bulbo realizzato al di sotto delle fondazioni del muro e da una testa ancorata alla sommità del muro con una piastra, dadi di bloccaggio e di pretensionamento. La parte sommitale della muratura, che dovrà ospitare la piastra di ripartizione, dovrà essere opportunamente consolidata tramite la messa in opera di una base realizzata con malta di calce eminentemente idraulica così da evitare, soprattutto in murature non perfettamente connesse, danni legati alla precompressione indotta dal tirante su tutta la parete. Per la messa in opera dei tiranti verticali si dovrà ricorrere a delle macchine perforatrici a rotazione potenti, tali da consentire l'esecuzione di fori precisi e di enorme lunghezza. La procedura in questo caso prevedrà:

- la preparazione dei fori di alloggiamento del tirante tramite sonda a rotazione provvista di punta diamantata per un diametro variabile in ragione alla tipologia di muratura, alla consistenza del materiale e al tipo di tirante (generalmente sarà sufficiente un diametro di 45-80 mm);
- messa in opera del tondino e del trefolo in acciaio spingendolo sino al disotto delle fondazioni; iniezione di malta eminentemente idraulica in modo da formare il bulbo di ancoraggio del tirante; messa in opera delle piastre di ancoraggio (a farfalla o a rondella fissate con dadi all'estremità filettata del tirante). Una volta avvenuta la presa del bulbo di ancoraggio si potrà procedere alla messa in tensione del cavo (con martinetto idraulico o a mezzo cavo avvitato alla testa filettata del tirante), la tensione si otterrà mediante chiave dinamometrica applicata sui dadi di serraggio. A tensione avvenuta dovrà essere immessa all'interno del foro, che contiene il tirante, della boiaccia di malta a base di calce idraulica naturale NHL 3,5 così da assicurare una buona aderenza tra il cavo e la muratura.

6.1.4.2.8.2 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 dinamometria 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 capichave 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, una volta raggiunta la lunghezza indicata dal 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.

6.1.4.2.8.3 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 spancamenti o delle deformazioni, si potrà ricorrere all'uso dei tiranti antiespulsivi. La tecnica d'intervento sarà indirizzata al ripristino della continuità trasversale della muratura, ricorrendo all'inserimento di barre metalliche, passanti, ancorate mediante piccole piastre bullonate alle facce esterne della muratura. L'intervento potrà essere reversibile, poiché non prevedrà l'utilizzo di materiali leganti per fermare la barra ma, allo stesso tempo, per la sua immediata connotazione sulla parete, sarà opportuno limitarlo nella quantità evitando così un'eccessiva alterazione della configurazione superficiale della parete. L'effettiva efficacia dell'intervento sarà strettamente connessa alla natura ed alla qualità della muratura su cui si opererà il consolidamento, così come le singole fasi operative varieranno in relazione al singolo caso specifico. Le fasi esecutive consteranno in: realizzazione dei fori (se non diversamente indicato dagli elaborati di progetto potrà essere sufficiente realizzare una perforazione ogni m² 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 (Ø16-20 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 Ø80-100 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.

6.1.4.2.8.4 Consolidamento mediante diatoni artificiali

Al fine di consolidare, e legare trasversalmente murature sconnesse, si potrà procedere introducendo all'interno della struttura elementi artificiali (diatoni), di forma cilindrica messi in opera all'interno di fori realizzati mediante l'uso di una carotatrice. La messa in opera di questo tipo di risoluzione potrà essere fatta anche su murature di qualità molto scadente poiché non genera alcuna presollecitazione; la quantità dei diatoni da introdurre all'interno della muratura sarà connessa alla consistenza della muratura stessa. La procedura prevedrà: realizzazione dei fori (Ø15 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 Ø8 ed eventuale staffa Ø4-6 a spirale) tagliato in base allo spessore della muratura da consolidare inserito all'interno del foro (ricorrendo all'uso di opportuni distanziatori per meglio posizionarlo) e collegato con il controtappo (munito di foro per garantire

l'iniezione della malta e dotato di ferri longitudinali della lunghezza di 10 cm) tramite legatura o saldatura; su entrambe le pareti, le zone adiacenti al foro, dovranno essere sigillate mediante stuccatura in modo da ovviare l'eventuale fuoriuscita della miscela che verrà iniettata, 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'iniezione, 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.

6.1.4.2.9 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 provvisori, allo scopo di forzare staticamente i solai che si appoggeranno sulla muratura oggetto di intervento, si eseguiranno le aperture verticali in corrispondenza delle mazzette, appoggi della struttura di architrave. All'interno della muratura esistente, saranno inseriti due piedritti costituiti da uno o più profilati metallici (in genere profili a doppio "T" Fe 360 o Fe 430) a seconda dello spessore della muratura ed, in ogni caso scelti seguendo le disposizioni di progetto o indicazioni della D.L. (ad es. HEA 140), ancorati mediante spillature perimetrali sagomate ad "L" e saldati a caldo al montante in oggetto; questi ancoraggi saranno costituiti da barre in acciaio ad aderenza migliorata Fe B 44 K (ad es. 4 \varnothing 14/300 mm) inghisate, (con malta a base di calce idraulica naturale NHL 3,5 a ritiro compensato e con buone caratteristiche di aderenza), in perfori \varnothing 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. \varnothing 5-6 mm con maglia 100x100 mm) per una lunghezza pari a circa 50-60 cm allo scopo di migliorare l'ancoraggio alla muratura esistente.

Di seguito si eseguirà la prima traccia orizzontale sulla muratura (la scelta di utilizzare due profilati accoppiati è dettata, principalmente, da esigenze esecutive) al fine di ospitare il primo profilato metallico (la sezione della trave potrà essere composta, a seconda della luce, del carico e dello spessore del muro di due o più profilati del tipo IPE o HE) che appoggerà su piastra in acciaio, di dimensioni 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'interrverrà, 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. \varnothing 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 riguardante il ripristino di opere in c.a.), inoltre per migliorare l'aggrappaggio dell'intonaco sarà consigliabile fasciare la cerchiatura con rete in acciaio elettrosaldato a maglia stretta (ad es. $\varnothing 3-4$ 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.

6.1.5 CONSOLIDAMENTO SOLAI

6.1.5.1 PREMESSA METODOLOGICA

La peculiarità di ogni intervento indirizzato alla conservazione di un manufatto deve essere quella di riuscire ad "armonizzarsi" con l'esistente. L'intervento deve correlarsi, relazionandosi strettamente all'unicità e particolarità dello stato di fatto e, per questo, quando si tratta di adottare la risoluzione tecnologica è opportuno tenere presente due fattori predominanti: la comprensione della struttura e l'obiettivo finale prefisso.

Le procedure elencate mirano a restituire alla struttura la sua effettiva efficienza statica ricorrendo, se necessario, anche all'apporto di congegni aggiuntivi. I criteri e gli obiettivi da raggiungere sono quelli di rispetto e conservazione della struttura originaria, dei materiali e dell'apparecchio murario pur nell'inevitabile mutazione costruttiva e manutentiva. Il restauro-consolidamento di un orizzontamento si compie riparando le orditure principali e secondarie, eventualmente ammalorate, recuperando le capacità residue nei limiti indicati dal progetto, la resistenza e la rigidezza, affinando le connessioni tra le parti componenti il solaio e quelle relative dell'unità costruttiva, aumentando la resistenza e la rigidezza della struttura con nuovi dispositivi opportunamente applicati, riattivando o migliorando i collegamenti originari, ricercando una più valida connessione con gli altri sistemi strutturali presenti, nell'economia generale dell'edificio. L'aumento performante potrà risultare efficiente solo se i dispositivi aggiunti e la struttura originaria del solaio, nella sua complessa articolazione dei vari componenti, sono realmente resi solidali e collaboranti.

Le diverse soluzioni menzionate, circoscritte alla categoria di solai lignei ed a quelli a voltine (acciaio e laterizio), sono tutte in grado di rispondere ad esigenze specifiche tra le quali: capacità di irrigidire la struttura consolidandola evitando sostituzioni arbitrarie, non essere eccessivamente invasivi rispettando la conformazione esistente, facilità di comprensione ed esecuzione da parte delle maestranze e costi consoni al caso. Dovrà essere incoraggiata la pratica per cui, ogni tipologia di intervento, sia sempre preceduta e supportata da tutta una serie di verifiche preliminari sulla resistenza meccanica del materiale ed il suo relativo stato conservativo.

Se queste analisi dovessero rilevare che le membrature lignee, a causa delle esigue e/o insufficienti sezioni o del sopraggiunto degrado (e relativa debilitazione) del materiale, non risultassero più in grado di assolvere il loro compito e le notevoli deformazioni o frecce di inflessione non permettessero più un recupero dell'unità strutturale, non resterà che la sostituzione integrale. Si ricorda che in caso di sostituzione questa dovrà essere operata in riferimento ad analisi accertate e non, come spesso accade nella pratica, su sommarie considerazioni visive, in modo così da ovviare l'ingiustificata rimozione di componenti strutturali di interesse architettonico ancora efficienti. La sostituzione degli orizzontamenti lignei, a favore di equivalenti strutture in acciaio o latero-cementizie può implicare (a causa di un diverso peso proprio e di un diverso comportamento statico), gravi sbilanciamenti dell'assetto strutturale globale strettamente connessi, come sovente accade, alla carenza di verifiche strutturali che prendono in esame il comportamento dell'intero organismo.

Le procedure operative di seguito descritte hanno come fine ultimo il consolidamento della struttura mediante accorgimenti di rinforzo che consentono di irrigidirla e, allo stesso tempo, collegarla alle murature perimetrali; il tutto

operando in sito, così da non alterare l'assetto statico esistente tra i diversi elementi che compongono il solaio. Lo smontaggio del solaio per eseguirne il consolidamento, può implicare il venir meno di un equilibrio strutturale intrinseco esistente tra i singoli elementi assestatisi nel tempo e, come tale, possono insorgere delle complicazioni statiche al momento del rimontaggio perciò, gli interventi proposti, al fine di poter ovviare l'insorgenza di simile inconveniente, non prevedono questa operazione.

La comprensione e, la conseguente identificazione delle cause intrinseche ed estrinseche del dissesto della struttura, agevola la scelta della tipologia di intervento più consona e, se necessario, consentono di poterla modificare per meglio adeguarla alle problematiche strettamente correlate al caso specifico.

È opportuno tenere sempre presente che gli interventi su strutture lignee presuppongono una vasta conoscenza di tecniche costruttive passate, di leggi della statica e della resistenza dei materiali lignei (che varia secondo le diverse essenze) pertanto, un'attenta analisi dell'oggetto all'interno del suo contesto, può agevolare il progettista nella scelta del lavoro da eseguire. Indipendentemente dal protocollo operativo adottato esistono tutta una serie di operazioni preliminari, necessarie ed obbligatorie, che occorre attuare prima di iniziare qualsiasi procedura di consolidamento di strutture lignee.

6.1.5.2 OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO SOLAIO IN LEGNO

6.1.5.2.1 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.

6.1.5.2.2 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.

6.1.5.2.3 Irrigidimento mediante doppio tavolato

L'intervento (conforme al punto 7 dell'Allegato 3 della Circolare Ministeriale LLPP 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 rigidità. Tecnologia utilizzabile anche in zona sismica unitamente ad altri accorgimenti atti a garantire il collegamento tra solaio e muri perimetrali.

Dopo aver eseguito uno scrupoloso controllo dello stato di conservazione dell'assito preesistente, integrando le eventuali parti deteriorate ed effettuando un'operazione di chiodatura per fermare le parti distaccate, si procederà a disporre il nuovo tavolato di irrigidimento dello spessore minimo di 30-40 mm, eventualmente ammorzato 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 \varnothing 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 \varnothing 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 \varnothing per \varnothing inferiori od uguali a 4 mm o di 12 \varnothing per \varnothing maggiori a 4 mm per chiodature parallele alle fibre del legno, 5 \varnothing per chiodature ortogonali alle fibre del legno (l'interasse massimo tra i chiodi posti parallelamente alla fibratura sarà di 40 \varnothing mentre, per quelli infissi ortogonalmente alla fibratura, sarà di 20 f).

I chiodi con \varnothing 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 diametro 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 sia 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, ammorzato 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.

6.1.5.2.4 Consolidamento mediante sezioni miste

L'intervento è conforme al punto 7 dell'Allegato 3 della Circolare Ministeriale LLPP 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 scorrimenti di una certa natura.

Durante le fasi di lavoro e fino a maturazione dei getti di calcestruzzo, sia per la sicurezza sia per ottenere la massima funzionalità, si renderà indispensabile puntellare opportunamente le travi di legno: in tal modo anche i pesi propri verranno sopportati dalla trave composta; sarà, altrettanto, opportuno, quando possibile, imporre alle travi una controfreccia iniziale mediante puntelli supplementari.

Il calcestruzzo utilizzato dovrà obbligatoriamente essere di tipo strutturale, utilizzando come leganti solo ed esclusivamente cementi (ad es. R 325 o R 425) 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 325, 0,40 m³ di sabbia, 1 m³ di argilla espansa), peso massimo asciutto in opera di 1600 kg/m³ (comunque non inferiore a 1400 kg/m³), resistenza media a compressione di 30 N/mm² (in ogni caso non inferiore a 25 N/mm²), classe di lavorabilità (slump) S3 (semifluido) rapporto acqua-cemento $\leq 0,65$, classe 0 di resistenza al fuoco, conducibilità termica media 0,54

W/mK (comunque non inferiore a 0,42 W/mK valore secondo UNI 10351), modulo elastico medio 20000 N/mm² (in ogni caso non inferiore a 15000 N/mm²).

6.1.5.2.4.1 Connettore 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 non fosse 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 ovvero si taglieranno le loro estremità poggianti sulla trave lasciandone l'appoggio di 3-4 cm per ogni lato della trave dopodiché si procederà all'eventuale nuova chiodatura della struttura secondaria alla trave ed infine, per contenere lateralmente la fuoriuscita del getto, se il soffitto non è munito di apposite bussole (copripolvere o metope), si potrà provvedere mettendo in opera delle tavolette verticali ovvero delle mezzane in cotto tra gli elementi dell'ordito secondario fino alla quota dell'estradosso del tavolato o dello scempiato di pannelle.

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 \varnothing 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 (\varnothing consigliato = \varnothing connettore + 2-4 mm) e i conseguenti connettori (\varnothing 10-12-14 mm) saranno disposti più ravvicinati nelle sezioni limitrofe agli appoggi, dove gli scorrimenti sono maggiori, e più distanziati nella mezzania delle travi. Si dovrà tenere presente che, laddove occorrerà inserire connettori molto ravvicinati (l'interasse, consigliato, tra i connettori sarà compreso tra gli 8 \varnothing mm e i 15 \varnothing mm della barra scelta; tale distanza potrà essere aumentata fino a 30 \varnothing 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 rigidità della connessione è consigliabile posizionare doppi connettori autoserranti (infissi inclinati nei due sensi rispetto al piano longitudinale) così da avere resistenza anche a sforzo normale (comportamento assiale).

Dal momento che la pressione del connettore sulla trave, ovvero sia 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/mm², resistenza a compressione 45-55 N/mm², resistenza a flessione 30-60 N/mm², modulo elastico 4000 N/mm²) 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 elettrosaldato Fe B 38 K adeguatamente dimensionata (per es. tondi \varnothing 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 eseguirà la gettata della soletta collaborante (seguendo le indicazioni di progetto) per uno spessore minimo di 4 cm. Dal momento che la parte mediana della caldana, tra una nervatura e l'altra, collabora solo per continuità sarà possibile effettuare un getto con calcestruzzo strutturale alleggerito.

In alternativa al sistema "Turrini Piazza" si potrà utilizzare un connettore continuo (tipo LLEAR®), per tutta la luce della trave, costituito da una barra nervata in acciaio inossidabile o zincato Fe B 44 K, dimensionata seguendo indicazioni di progetto (minimo \varnothing 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 (dim. 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 terminerà con il posizionamento di una rete in acciaio elettrosaldato Fe B 38 K adeguatamente dimensionata (per es. tondi \varnothing 6 mm e maglia 100x100 mm) ed il successivo getto della soletta collaborante per uno spessore minimo di 4 cm.

Specifiche sull'acciaio: per i connettori in alternativa all'acciaio inossidabile o zincato, si potranno utilizzare barre di acciaio normale preventivamente trattate con boiaccia passivante anticarbonatante, reoplastica-pennellabile bicomponente (A = miscela di cemento polveri silicee e inibitori di corrosione, B = polimeri in dispersione acquosa; rapporto tra A e B variabile da 2:1 a 3:1); le caratteristiche minime della boiaccia dovranno essere: adesione all'armatura ed al cls $> 2,5 \text{ N/mm}^2$, 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.

6.1.5.2.4.2 Connettore "a secco" avvitato a piolo o a lastra

Al fine di posizionare i connettori a piolo con piastra si potrà procedere tramite due soluzioni: foratura del tavolato esistente tramite una fresa o una sega a tasca (di diametro sufficiente a inserire la piastra, minimo 65 massimo 90 mm), oppure con un taglio del tavolato per creare una fascia continua sull'estradosso della trave; questa seconda soluzione si adotta anche in presenza di scempiato in cotto. Un accorgimento da prendere in caso di solaio a doppia orditura è quello di chiudere, per mezzo di listelli in legno, gli spazi liberi tra i travetti, fino alla quota di estradosso del tavolato, allo scopo di evitare la fuoriuscita del getto.

Il connettore a piolo, che presenta un rigonfiamento della testa per un diametro di circa 18-20 mm, sarà collegato tramite stampaggio e ricalco a freddo alla piastra (spessore circa 4 mm) munita di 4 ramponi agli angoli che si inseriranno nel legno per una decina di millimetri e di 2 fori per il fissaggio alla trave previo posizionamento sul tavolato di telo separatore impermeabile ma traspirante al vapore, (al fine di proteggere il legno dall'assorbimento di acqua ed evitare l'eventuale percolazione di boiaccia nell'intradosso); seguendo le indicazioni prescritte dal progetto o richieste dalla D.L. si posizioneranno i connettori a piolo \varnothing 12 mm in acciaio zincato a freddo (altezza gambo variabile da un minimo di 30 mm ad un massimo di 200 mm), con viti tirafondi (DIN 571) di lunghezza variabile da un minimo di 70 mm ad un massimo di 120 mm ed una rete elettrosaldato di acciaio Fe B 38 k adeguatamente dimensionata (ad es. tondi \varnothing 6 mm e maglia 100x100 mm) munita di distanziatori per consentire il completo avvolgimento della stessa da parte della soletta.

Si procederà, infine, al getto della soletta collaborante con calcestruzzo avente i requisiti richiesti dagli elaborati di progetto ma, in ogni caso, con uno spessore minimo di 4 cm ed una resistenza minima di 250 Kg/cm^2 .

In alternativa al connettore a piolo (puntiforme) si potranno adoperare altri connettori (continui) a lastra con profilo ad omega (W) o delta (D) (tipo LPR®) con ali laterali, opportunamente dimensionati come da richiesta dei disegni e calcoli di progetto. Il profilato in acciaio zincato a caldo sarà traforato al fine di permettere la penetrazione del calcestruzzo anche all'interno; come quello a piolo anche questo connettore verrà fissato "a secco" mediante doppie viti mordenti (DIN 571) sull'estradosso della trave (è consigliabile preforare l'arcareccio con punta da 5 mm prima di avviare le viti); l'operazione di ancoraggio traliccio-trave risulterà, così, estremamente semplice e non necessiterà di manodopera specializzata. Nello spazio libero tra le nervature potranno essere posati pannelli di materiale isolante, con funzione di alleggerimento della caldana in calcestruzzo ed isolamento termoacustico. In caso di messa in opera di tralicci di h 40 mm la soletta avrà un'altezza pari a 50-90 mm; se, invece il traliccio sarà di 60 mm la soletta prenderà più consistenza fino ad arrivare ad una altezza di 80-120 mm. Queste lastre dovranno essere alloggiare all'interno di modesti scassi (circa 70-100 mm) eseguiti della muratura d'ambito; in presenza di solai contigui e complanari si potranno collegare i due orizzontamenti con il medesimo connettore così da garantire, oltre alla resistenza meccanica del singolo, anche la massima continuità strutturale.

Il traliccio con profilo ad omega potrà essere utilizzato anche in presenza di scempiato di pianelle: il traliccio sarà montato rovescio, gli ancoraggi con viti (DIN 571) saranno più frequenti e verranno posizionati sulla testa del profilo.

6.1.5.2.5 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 \varnothing 10 mm di lunghezza di 250 mm ad interasse di 500-600 mm, o in alternativa da viti \varnothing 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.

6.1.5.2.6 Ancoraggio delle travi alle murature tramite piastre metalliche

L'intervento è conforme al punto 7 dell'Allegato 3 della Circolare Ministeriale LLPP 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 non. Si procederà ad eseguire un foro passante, mediante strumento a rotazione, dall'interno verso l'esterno, con asse sul piano, su di una faccia o su di un bordo della trave da ancorare, seguendo le prescrizioni di progetto o indicazioni della D.L.

Il collegamento avverrà per mezzo di piatti di acciaio inossidabile 18/8 AISI 304L dentati, disposti sui bordi o sulle facce per un lato o per entrambi, di sezione (minima 5x80 mm) e lunghezza variabile definite dagli elaborati di progetto.

In ogni caso la lunghezza dovrà essere adeguata al fine di poter ottenere un efficace ancoraggio nella muratura e comunque non inferiore agli 80 cm oltre l'estremità della trave d'ancorare. Posizionato l'apparecchio metallico si riempirà il foro mediante calcestruzzo di calce idraulica o altra malta prescritta dal progetto. Le lame potranno essere ancorate all'esterno delle murature tramite delle piastre in acciaio (tenute 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 idraulica pozzolanica), 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 \varnothing 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.

6.1.5.2.7 Ancoraggi dei solai alle murature d'ambito

Il restauro-consolidamento di un solaio dovrà soddisfare (punto 7 dell'Allegato 3 della Circolare Ministeriale LLPP 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 rigidità trasversale del proprio piano, (al fine di funzionare come diaframma di collegamento e ripartizione tra le strutture verticali) quelli di un efficace ancoraggio e collegamento con le murature perimetrali di supporto del solaio stesso agli effetti della trasmissione degli sforzi.

6.1.5.2.7.1 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, ovvero 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 \varnothing 14-16 mm e staffe \varnothing 8/200-255 mm; in ogni caso l'armatura dovrà essere di almeno 8 cm²) 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 cassetta, si getterà il cordolo.

Nel caso in cui si vorrà realizzare il getto (laddove è consentito) per cantieri alternati si getterà la soletta per tutto lo sviluppo del solaio rimanendo distanti dal perimetro per circa 50 cm; una volta che il calcestruzzo avrà raggiunto la necessaria consistenza si disporrà, nei cantieri aperti (di norma vani di circa 100-150 cm intervallati l'uno dall'altro, comunque, indicati dalle prescrizioni di progetto o dalla D.L.) l'armatura e si effettuerà il getto, sia della quota di soletta rimasta, sia di quella dei tratti di cordolo; al fine di permettere ai ferri dell'armatura di essere piegati ed inseriti nel cantiere successivo, il getto dovrà essere più corto di circa 30 cm in confronto 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.

6.1.5.2.7.2 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 \varnothing 14-16 mm e n. 2/3 staffe \varnothing 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.

6.1.5.2.7.3 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 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).

6.1.5.2.7.4 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 anticarbonatante) ad aderenza migliorata da c.a. minimo \varnothing 14 mm inghisato in foro \varnothing 24 mm o \varnothing 16 mm inghisato in \varnothing 36 mm di lunghezza variabile, intervallati 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 prevedrà 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 ϕ 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 f16 L = 60 cm circa intervallati ogni 2 m) saldati insieme dopo la posa in opera; la base della "U" può essere di circa 30-40 cm mentre, la lunghezza dei bracci, è in relazione alla tipologia del muro ed 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 ϕ 6 mm e maglia 100x100 mm) verso l'alto per circa 30-40 cm ed ancorarla alla muratura mediante spillature di acciaio zincato ϕ 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.

6.1.5.2.7.5 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 ϕ 16 mm inghisate in fori ϕ 26 mm orizzontali o inclinate a 45° sul piano del muro, alternativamente verso destra e verso sinistra in funzione alla 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 ϕ 10 mm. In alternativa si potrà collegare la trave direttamente al profilato per mezzo di barre filettate in acciaio inossidabile inghisate nel legno con resina epossidica a consistenza tissotropica vincolate al profilato mediante dado cieco in acciaio. In caso di profilato posto sull'estradosso questo verrà più semplicemente saldato alla rete elettrosaldata della soletta in cls.

Questo tipo di intervento sarà possibile e consigliabile solo in presenza di murature costituite da blocchi lapidei squadrati o 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.

6.1.5.2.8 Collegamenti fra solai complanari e contigui

L'intervento (conforme al punto 7 dell'Allegato 3 della Circolare Ministeriale LLPP 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG. riguardante le norme tecniche per le costruzioni in zona sismica), si pone di garantire la massima continuità strutturale fra solai che, pur essendo complanari e contigui, non sono collegati tra loro. La casistica potrà essere semplificata in due gruppi:

- a) solai con orditure tra loro parallele (unione sul lato della luce, sul lato della testa delle travi, travi attestare, travi sfalsate),
- b) solai con orditure tra loro perpendicolari.

Le procedure d'intervento sono molto simili a quelle utilizzate per le connessioni del solaio con le murature perimetrali, ad eccezione di alcune varianti dettate dalle diverse particolarità.

Nei casi di collegamento sul lato della luce (su solai con orditure parallele) ogni collegamento tra i vari solai avverrà al livello dell'estradosso del tavolato esistente mediante l'ancoraggio (con viti tirafondi) di una coppia di piatti di acciaio

inossidabile 18/8 AISI 304L o zincato a caldo (sezione minima 8x80 mm) che si incroceranno ad “X” all’interno della muratura formando un angolo di circa 60 gradi. I collegamenti avverranno ogni 2-2,5 m ovvero seguendo le prescrizioni di progetto o le indicazioni della D.L. Questa soluzione si adotterà anche nei casi di solai con orditure tra loro perpendicolari. In alternativa alle piastre si potranno utilizzare delle barre in acciaio Fe B 44 K inossidabile o zincato (in alternativa si potrà utilizzare acciaio normale preventivamente trattato con boiacca passivante anticarbonatante) da c.a. ad aderenza migliorata \varnothing 14 mm da saldare alla rete elettrosaldata della soletta.

Nei casi di collegamento sul lato della testa delle travi con travi attestate l’unione avverrà tramite una staffa metallica di acciaio inossidabile o zincato piatta (sezione minima 5x50 mm) passante nella muratura ed ancorata alle travi sulla faccia superiore o su quella laterale. Di norma, salvo prescrizioni particolari di progetto, l’intervento verrà eseguito su tutte le travi; le piastre dovranno essere collegate ad ogni estremità per una lunghezza non inferiore a 40 cm mediante idonea chiodatura (minimo due viti tirafondi intervallate da 15 cm per ogni testa).

Nei casi di collegamento sul lato della testa delle travi con travi sfalsate si potrà procedere collegando ogni singola trave alla muratura come già illustrato, preferendo l’attacco a piastra per evitare il più possibile le opere di demolizione della muratura; in alternativa, se le travi sono in adiacenza si potranno collegare mediante staffatura metallica (in acciaio inossidabile o zincato sezione minima 5x50 mm) da inserire tra trave e trave fermata, con viti tirafondi distanziate ogni 15 cm, alla trave da una controstaffa di adeguate dimensioni.

6.1.5.2.9 *Rigenerazione di testate di travi*

La rigenerazione delle testate delle travi verranno realizzate con l’esecuzione di procedure e tecniche (ricostruzione mediante protesi in legno e ricostruzione mediante concrezioni epossidiche ed elementi di rinforzo) previste all’articolo sulla rigenerazione di testate di travi e nodi di incavallature.

6.1.5.3 CONSOLIDAMENTO SOLAIO IN FERRO E LATERIZIO

6.1.5.3.1 *Generalità*

Prima di effettuare qualsiasi intervento di consolidamento di strutture in ferro dovranno essere effettuate una serie di procedure preliminari simili a quelle previste per i solai in legno. Nel caso si debba ricorrere allo smontaggio dell’estradosso del solaio, sarà buona norma assicurarsi che le putrelle in ferro, che costituiscono la struttura primaria del solaio, non possano spostarsi reciprocamente nel senso orizzontale durante l’operazione. Questo potrà essere evitato mettendo in opera un sistema di presidio temporaneo molto semplice ma altrettanto efficace che consisterà nel collegare, provvisoriamente, le travi sull’intradosso saldandovi tre barre in acciaio (una in mezzera e due ai bordi degli appoggi). Una volta assicurata la distanza fissa tra le travi si potrà procedere, allo smontaggio manuale della struttura soprastante le putrelle (pavimento, sottofondo materiale di riempimento) fino al rinvenimento della sua ala e dell’estradosso del piano di laterizio; si demolirà anche una striscia perimetrale di intonaco per una altezza di circa 15-20 cm. Si procederà, quindi, alla pulitura al metallo bianco dei profilati con mola a smeriglio o con sistemi indicati da prescrizioni di progetto, al fine di rimuovere qualsiasi residuo di malta o ruggine.

6.1.5.3.2 *Appoggi*

Nel caso in cui si ritenga non sufficiente la lunghezza della trave o si voglia ripartire meglio il carico sulla muratura, si potrà posizionare sotto l’ala inferiore della putrella una robusta piastra metallica (spessore minimo 10 mm) in acciaio inox Fe 430 di dimensioni minime 200x200 mm, fissata alla trave per mezzo di cemento espansivo ad alta resistenza.

6.1.5.3.3 *Consolidamento mediante cappa in cemento armato*

L’intervento (conforme al punto 7 dell’Allegato 3 della Circolare Ministeriale LLPP 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG. riguardante le norme tecniche per le costruzioni in zona sismica), sarà applicabile in tutti i casi in cui l’orizzontamento, affidabile dal punto di vista del dimensionamento e dello stato di conservazione dei materiali, per esigenze progettuali debba essere ulteriormente irrigidito e rafforzato. La messa in opera di una caldana in cls armata continua e collaborante con i profilati metallici permetterà di ottenere un aumento della sezione resistente del solaio, di migliorarne la rigidezza e la ripartizione dei carichi di esercizio.

La procedura prevedrà la saldatura a caldo sull’estradosso del profilato di un traliccio costituito da una barra di acciaio inossidabile o zincato Fe B 44 K ad aderenza migliorata, dimensionata seguendo indicazioni di progetto (minimo \varnothing 12 mm), sagomata a zig-zag (con passo di 400 mm) ovvero a greca. In alternativa si potranno saldare dei “cavallotti” sagomati ad

omega (W) ricavati con tondini di acciaio inox Fe B 44 K ad aderenza migliorata, (minimo \varnothing 14 mm) con interasse di circa 10-15 cm. Previo posizionamento di rete in acciaio elettrosaldata Fe B 38 K adeguatamente dimensionata come da indicazioni di progetto (ad es. tondi \varnothing 6 mm e maglia 100x100 mm), ed abbondante irrorazione con acqua dell'estradosso, si procederà al getto della soletta in cls di altezza tale da ricoprire uniformemente l'ala superiore delle travi (minimo 4 cm). L'impasto di calcestruzzo da utilizzare dovrà avere i requisiti richiesti dagli elaborati di progetto con una resistenza minima di 30 N/mm².

6.1.5.3.4 Consolidamento mediante piatto metallico

L'intervento (conforme al punto 7 dell'Allegato 3 della Circolare Ministeriale LLPP 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG. riguardante le norme tecniche per le costruzioni in zona sismica), si pone l'obiettivo di evitare la genesi di lesioni sulla linea di chiave delle voltine, in laterizio, dissesto sovente causato sia dal profilo estremamente ribassato delle voltine sia dal distanziamento reciproco tra i profilati.

L'intervento prevedrà, pertanto, la messa in opera di un piatto in acciaio inossidabile 18/8 AISI 304L o zincato a caldo (sezione minima 8x80 mm) posto in mezzera e saldato sull'ala delle travi. Nel caso in cui l'ala si dovesse trovare ad una quota inferiore rispetto alla chiave della voltina si disporranno, sopra la trave, dei distanziatori costituiti da blocchetti in acciaio zincato di adeguata altezza. Il piatto sarà ancorato alla muratura d'ambito attraverso una piastra di acciaio (di dimensioni dettate dai disegni di progetto, comunque non inferiori a 10x150x150 mm) da annegare nella muratura o in alternativa potranno essere saldati due monconi di acciaio Fe B 44 K inossidabile da c.a. ad aderenza migliorata (minimo \varnothing 14 mm) piegati e divergenti da annegare nella muratura.

6.1.5.3.5 Miglioramento del collegamento del solaio ai muri d'ambito

L'intervento (conforme al punto 7 dell'Allegato 3 della Circolare Ministeriale LLPP 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG. riguardante le norme tecniche per le costruzioni in zona sismica), si pone lo scopo di migliorare le inadeguatezze negli appoggi e negli ancoraggi con le murature. Sovente, infatti, le teste delle travi (in caso di evento sismico, o perché irrisoriamente infisse nelle murature, o per la conseguenza di eventuali dilatazione o di vibrazioni, od infine, per disgregazione del legante) presentano la propensione a sfilarsi non risultando più solidali con le murature; inoltre non di rado risulta essere assente l'unione nei lati paralleli all'orditura, ad eccezione di un appoggio diretto, e spesso instabile, dell'ultimo elemento in laterizio sull'apparecchio appena scanalato per ricavarvi un minimo alloggiamento.

6.1.5.3.5.1 Collegamento della singola trave

Il protocollo operativo si basa sul metodo del "grip-round" con delle leggere modifiche dovute alla diversa tipologia del solaio. Sarà prevista l'esecuzione di uno scasso nella muratura al fine di liberare la trave per un intorno minimo di 15-20 cm ai lati e all'estradosso. Previa accurata pulitura si salderanno (saldatura a cordone d'angolo Fe 430) all'anima degli spezzoni di tondo di acciaio inox Fe B 44 K ad aderenza migliorata (minimo 4 \varnothing 14/600 mm) opportunamente uncinati che costituiranno il collegamento tra la trave e la muratura perimetrale.

In alternativa si potrà saldare all'ala dei ferri precedentemente piegati ed inghisati (minimo 2 \varnothing 14/1200 mm in \varnothing 34 mm) nella muratura in fori inclinati di 45° rispetto al piano del solaio e sigillati con malta reoplastica antiritiro o di resina epossidica a consistenza tissotropica seguendo le prescrizioni di progetto o indicazioni della D.L.

In entrambe le soluzioni i ferri dovranno sovrapporsi alla trave per non meno di 40 cm oltre l'appoggio; previa abbondante bagnatura e con l'ausilio di eventuale cassetta lignea, si procederà prima al riempimento dello scasso (è consigliabile che questa procedura venga eseguita e completata per ogni singola trave prima di passare alla successiva, onde evitare lesioni sia al solaio che alla muratura di appoggio) e, successivamente, al getto della soletta (spessore minimo 4 cm) seguendo i requisiti richiesti dagli elaborati di progetto.

6.1.5.3.5.2 Collegamento continuo

In alternativa a collegare ogni singola putrella si potrà procedere ad un ancoraggio continuo perimetrale di tutte le travi con la muratura d'ambito mediante la messa in opera sull'estradosso del solaio (o in presenza di pavimenti di particolare pregio sull'intradosso) di un profilo ad "L" in acciaio inossidabile Fe 360 di forte spessore (minimo 8-10 mm) di dimensioni opportune (ad es. 80x120x10 mm) dettate dai disegni di progetto. L'angolare verrà ancorato alle travi per mezzo di saldature a cordone d'angolo Fe 430 (se sarà necessario si potranno utilizzare spessori in acciaio inox, anch'essi saldati, al fine di eliminare eventuali differenze di quote) e vincolato alla muratura per mezzo barre filettate AISI 316L \varnothing 16 mm inghisate in fori \varnothing 26 mm seguendo la procedura già esposta negli articoli del consolidamento di solai in legno.

6.1.6 CONSOLIDAMENTO STRUTTURE VOLTATE

6.1.6.1 PREMESSA METODOLOGICA

Il consolidamento delle strutture voltate dovrà avvenire in riferimento alle primarie istanze di sicurezza e conservazione; appurata l'efficienza statica dei piedritti di sostegno delle volte l'intervento dovrà essere sostanzialmente localizzato a ristabilire o a consolidare la continuità strutturale dell'elemento e, l'eventuale, contenimento dell'azione spingente sui sostegni verticali. La scelta della metodologia d'intervento su questo tipo di strutture dovrebbe riuscire a coniugare l'esigenza di sicurezza strutturale e, allo stesso tempo, cercare di non stravolgere la configurazione spaziale della struttura voltata. Le opere di consolidamento indirizzate alla ricostruzione della continuità strutturale vengono attuate generalmente quando, a causa di dissesti di varia natura e di una certa entità o a causa di mutate condizioni di carico o per eccessivo degrado dei materiali componenti, la struttura non risulta più idonea ad adempiere il suo ruolo strutturale manifestandolo, in molti casi, l'alterazione dello stato di equilibrio originale con l'apparizione di fessurazioni e, in casi limite, anche con il distacco di parti costituenti. Gli interventi in questo caso possono essere diversi e la loro applicazione potrà essere fatta attraverso il consolidamento messo in opera nella parte estradossale o intradossale ricorrendo ad opportune ed idonee tecnologiche che prevedono la messa in opera di materiali di sostegno e di rinforzo.

Le tecniche sviluppate di seguito, non ottempereranno la possibilità di operare un consolidamento attraverso lo smontaggio e, la ricomposizione della struttura voltata seguendo la stessa tecnica costruttiva adoperata in origine, sostituendo le parti ammalorate con elementi nuovi simili e compatibili a quelli originali e allo stesso tempo operando il consolidamento dell'intera struttura durante la fase di rimontaggio. Questa risoluzione, per ovvie ragioni, dovrà implicare la perfetta conoscenza delle tecniche antiche ma soprattutto la comprensione profonda delle diverse fasi operative cercando di capire i limiti connaturati con la risoluzione al fine di ovviarli e superarli attraverso accorgimenti consoni al caso.

6.1.6.2 OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO DI VOLTE IN MURATURA (LATERIZIO E PIETRA)

6.1.6.2.1 Generalità

Prima di mettere in pratica qualsiasi procedura di consolidamento, che di seguito verrà enunciata, sarà opportuno seguire delle procedure e delle verifiche indirizzate alla conoscenza dell'unità voltata oggetto d'intervento; queste operazioni inoltre salvaguarderanno l'integrità di ogni singolo elemento che compone l'unità strutturale, e creeranno le condizioni atte a garantire la corretta esecuzione e l'efficacia dell'intervento.

6.1.6.2.1.1 Verifiche preliminari

- a) riconoscimento ed identificazione dello schema di funzionamento statico del sistema voltato;
- b) analisi dei materiali e della funzione strutturale dei singoli elementi;
- c) accertamento delle caratteristiche fisiche e meccaniche della volta e dei singoli elementi che ne fanno parte;
- d) analisi del quadro fessurativo e conseguente studio del degrado;
- e) valutazione complessiva del comportamento dell'unità strutturale.

6.1.6.2.1.2 Stuccature preliminari

Si procederà alla stuccatura con malta idraulica di tutte le eventuali lesioni o soluzioni di continuità localizzate all'intradosso della volta seguendo le prescrizioni della D.L.

6.1.6.2.1.3 Puntellatura

Tutta la volta oggetto d'intervento dovrà essere preventivamente sostenuta da un sistema di centine simile a quello utilizzato per la costruzione; si dovrà, inoltre, provvedere alla messa in opera d'adequate sbatacchiature al fine di contrastare la spinta di volte contigue. In presenza di porzioni di volte affrescate, ovvero decorate, a contatto con i puntelli, queste dovranno essere protette con i sistemi ritenuti più idonei dalla D.L.; si ricorda, inoltre, che le opere di sostegno dovranno insistere su un piano di appoggio assolutamente sicuro.

6.1.6.2.1.4 Rimozione materiale inerte

Tutto il materiale (pavimento, sottofondo, eventuale piano di posa, materiale di rinfiango) sovrapposto alla volta dovrà essere rimosso; questa operazione dovrà essere effettuata manualmente e dovrà avanzare (per strati paralleli e successivi fino al vivo dell'estradosso della volta) a partire dalla zona di chiave fino ad arrivare all'esterno della volta facendo attenzione di conservare l'integrità dei materiali. Secondo la tipologia di volta la rimozione seguirà direzioni differenti: nelle volte a botte si procederà per tratti di uguale dimensione a partire da entrambi i lati della generatrice superiore fino a raggiungere i rinfianchi; nelle volte a padiglione ed a crociera, si inizierà dal centro proseguendo lungo i quattro fronti, seguendo le generatrici in quella a padiglione, o seguendo la direzione degli anelli in quella a crociera, fino a giungere il livello di imposta (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto all'articolo specifico sullo smontaggio delle strutture voltate).

6.1.6.2.1.5 Pulizia dell'estradosso

Si eseguirà la pulitura rimuovendo (mediante spazzole di saggina, raschietti, aria compressa aspiratori od altri sistemi ritenuti idonei dalla D.L.) le malte leganti degradate, i detriti che si presenteranno aridi ed inconsistenti e tutto ciò che potrebbe in qualche modo ostacolare le successive operazioni di consolidamento.

6.1.6.2.2 Consolidamento dell'estradosso mediante cappa armata

L'intervento (conforme al punto 6 dell'Allegato 3 della Circolare Ministeriale LLPP 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG. riguardante le norme tecniche per le costruzioni in zona sismica) si pone il fine di aumentare la sezione resistente della struttura e di impedire l'eventuale scorrimento reciproco degli elementi che la costituiscono.

6.1.6.2.2.1 Cappa con tecnica ad "umido"

Previa esecuzione delle operazioni preliminari la procedura prevedrà la messa in opera di rete in acciaio elettrosaldato Fe B 38 K adeguatamente dimensionata secondo le indicazioni di progetto (comunque non inferiore a \varnothing 6 mm con maglie 100x100 mm), adagiata in modo da seguire perfettamente la forma dell'estradosso; se sarà necessario la rete potrà essere tagliata e piegata; particolare attenzione dovrà essere fatta nei sormonti delle giunzioni (almeno due maglie) e nei "rinforzi" da attuare con raddoppi di maglia in determinate fasce, come ad esempio all'incontro di generatrici contigue tra porzioni differenti (unghie, lunette ecc.); la rete dovrà essere, inoltre, necessariamente risvoltata verticalmente per una conveniente misura (minimo 30-40 cm). L'armatura dovrà essere collegata, sia alla volta sottostante, sia alla muratura d'ambito. Questi ancoraggi (in ragione di un minimo di 4-5 al m² da intensificare nelle zone lesionate ed in chiave) saranno eseguiti mediante foratura, con strumento a sola rotazione; iniezione nel foro di betoncino reoplastico a ritiro compensato fibrorinforzato ad alta duttilità o di resina epossidica bicomponente a consistenza fluida esente da solventi (secondo quanto stabilito dagli elaborati di progetto) e successivo inserimento di spille in acciaio inox Fe B 44 K (minimo \varnothing 8 mm) da ripiegare ad "L" sulla rete. Analogamente sulle pareti laterali d'imposta della volta si eseguiranno degli ancoraggi, ogni 25-30 cm, mediante barre in acciaio inossidabile Fe B 44 K (minimo \varnothing 8 mm inghisato in \varnothing 18 mm sigillati con malta reoplastica) seguendo la tecnica del "grip-round" (già enunciata nell'articolo sull'ancoraggio dei solai lignei alle murature d'ambito). Previa bagnatura con acqua della superficie si eseguirà il getto della soletta con calcestruzzo a base di calce idraulica naturale NHL 5 (avente i requisiti richiesti dagli elaborati di progetto) eventualmente additivato con emulsioni di resine sintetiche per migliorare il potere coesivo; la resistenza meccanica minima non dovrà essere inferiore ai 25 N/mm². Se indicato dalle prescrizioni di progetto si potrà eseguire il getto con cls strutturale alleggerito con argilla espansa, pomice naturale od altri materiali idonei, eventualmente prescritti.

In presenza di volte con luci piuttosto consistenti ed una sezione di chiave ridotta si potrà ricorrere ad un'armatura supplementare (legata alla rete sottostante) posizionando lungo la mezzeria longitudinale e per tutta la luce, delle barre in acciaio inossidabile Fe B 44 K (minimo 3 \varnothing 16 mm) inghisate da ambedue i lati (minimo \varnothing 26 mm) nella muratura di testa.

Al fine di evitare percolamenti di acqua sull'intradosso della volta (in modo particolare in presenza di affreschi od intonaci storici da tutelare) si dovrà provvedere, preventivamente, alla stuccatura di fessure, lesioni e soluzioni di continuità; inoltre si dovrà provvedere, dietro specifica autorizzazione della D.L., all'esecuzione di prove di tenuta alle infiltrazioni di acqua ed all'eventuale posizionamento di teli in polipropilene impermeabili all'acqua ma altamente traspiranti al vapore (minimo 1200 g/m²).

Sempre dietro specifica richiesta della D.L. o, se previsto negli elaborati di progetto, si potranno effettuare eventuali operazioni di alleggerimento dei rinfianchi della volta riempiendo lo spazio compreso, tra l'estradosso della volta ed il piano del solaio soprastante, con idoneo calcestruzzo alleggerito (calce idraulica naturale NHL 5 100 kg/m³, argilla espansa 1 m³) ovvero con materiale inerte leggero (argilla espansa, vermiculite, pomice naturale ecc.).

Per la messa in opera del nuovo piano di solaio si potrà procedere utilizzando svariati sistemi tra i quali: realizzazione di idonei rinfranchi cellulari (frenelli) o il posizionamento di una seconda soletta, per uno spessore minimo di 4 cm, armata con rete in acciaio elettrosaldato Fe B 38 K adeguatamente dimensionata secondo le indicazioni di progetto (comunque non inferiore a \varnothing 8 mm con maglie 150x150 mm) e collegata alle murature d'ambito (si rimanda a quanto esposto agli articoli sull'ancoraggio dei solai alle murature).

Per l'esecuzione della soletta armata si ricorda che sarà opportuno porre attenzione al collegamento, in chiave, delle due reti elettrosaldato; collegamento che potrà essere eseguito con le medesime spillature (barre in acciaio inox \varnothing 8 mm) utilizzate per ancorare la contro volta all'intradosso della volta.

Specifiche sull'acciaio: per le spillature e le armature in genere 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 $> 2,5 \text{ N/mm}^2$, 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.

6.1.6.2.2 Cappa con tecnica a "secco"

In presenza di intradossi affrescati o comunque con intonaco da tutelare (dove sarà sconsigliabile l'uso di calcestruzzo a causa degli eventuali percolamenti di acqua o di boiacca) si potrà operare con "tecnica a secco" ovvero si eseguirà il getto (per uno spessore massimo 5 cm) con una resina epossidica tricomponente (resina, indurente ed inerte costituito da sabbia di quarzo di appropriata granulometria) a consistenza plastica, esente da solventi (lavorabilità a 20°C 40-44 min., temperatura minima di applicazione 5°C, resistenza a trazione diretta 10-15 N/mm^2 , resistenza a trazione per flessione 35-40 N/mm^2 , modulo elastico a trazione diretta 30000 N/mm^2 , tempo di indurimento a 20°C 7 gg.).

Precedentemente al "getto" l'estradosso dovrà essere trattato con specifico primer (steso con pennello o rullo) atto a garantire la continuità strutturale e la completa collaborazione tra resina e supporto.

Per quanto concerne le specifiche sul tipo di armatura e sulla procedura di messa in opera si rimanda alle prescrizioni fornite all'articolo precedente.

6.1.6.2.3 Consolidamento mediante materiali compositi (CFRP)

L'intervento (conforme al punto 6 dell'Allegato 3 della Circolare Ministeriale LLPP 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG. riguardante le norme tecniche per le costruzioni in zona sismica) si pone il fine di non modificare i meccanismi resistenti nelle normali condizioni di esercizio; il nuovo sistema muratura-fibra si manifesterà soltanto in caso di particolari sollecitazioni (ad. es. in caso di sisma) per cui saranno richieste prestazioni che la volta non sarà capace di sostenere.

Questo sistema si potrà utilizzare in presenza di superfici voltate in condizioni di avanzato dissesto (in particolare con intradossi affrescati o comunque con decori da tutelare), per cui dovrà essere evitata la bagnatura estradosale (consolidamento "a secco"), sarà opportuno ridurre al minimo l'incremento del peso delle strutture (normalmente i placcaggi delle superfici potranno oscillare tra 4,5-9 Kg/m^2) e l'eventuale stress al precario organismo strutturale.

Questa tecnica si basa sull'utilizzazione di nastri di tessuto, di varie dimensioni, in fibre secche (carbonio, aramidica, vetro) unidirezionali (fibre orientate secondo un'unica direzione), bidirezionali (fibre orientate secondo direzioni 0° e 90°) o biassiale (fibre inclinate a $\pm 45^\circ$) con elevate caratteristiche meccaniche a trazione ed alta resistenza agli alcali, applicati e "laminati" alla struttura (tecnica "wet lay up"); questo consente di costituire un materiale "composito" direttamente in opera, mediante l'impiego di una matrice a base di resine epossidiche (o resine poliestere) bi componenti a bassa viscosità, che assicurano sia il trasferimento delle sollecitazioni alle fibre di rinforzo, sia la protezione della fibra da attacchi di tipo chimico o meccanico o da variazioni di temperatura.

I vantaggi di utilizzare i materiali FRP (acronimo di Fiber Reinforced Polymers) risiederanno in:

- intervento non invasivo, rimovibile e perfettamente adattabile alla forma dei supporti curvilinei con la conseguente riduzione della vulnerabilità sismica;
- conservazione di traspirazione della volta in muratura;
- conservazione degli schemi statici originali con aumento della resistenza e della duttilità;

- assorbimento di carichi asimmetrici con aumento delle capacità portanti ed invariabilità del peso proprio della struttura.

Le fasce di FRP andranno opportunamente orientate secondo gli assi di riferimento, le linee di frattura (ovvero del quadro fessurativo precedentemente rilevato) e di forza individuate; per il loro posizionamento sarà consigliabile prefiggersi i seguenti scopi:

- fornire capacità di resistenza a trazione nei settori di volta maggiormente sollecitati da eventuali azioni orizzontali, ad esempio mediante una cerchiatura al livello delle reni della volta;
- incrementare il dispositivo resistente agli archi longitudinali e trasversali mediante placcaggio estradossale ovvero intradossale;
- impedire eventuali lesioni a cavallo delle nervature (volte a crociera, a padiglione ecc.) specialmente in presenza di volte affrescate o, comunque, con intonaci da tutelare.

Previa un'accurata pulitura dell'estradosso della volta al fine di eliminare depositi superficiali, polveri e materiale incoerente, si procederà alla preparazione della superficie stuccando e livellando eventuali fessurazioni ed irregolarità con malta a base di calce cercando di disporre superfici il più regolari possibile (lo scarto tra livelli superficiali contigui dovrà essere inferiore a 1 mm); in questa fase andrà, inoltre, identificato prima e studiato poi il quadro fessurativo della volta per determinare il numero, la disposizione e la grammatura delle fasce di rinforzo. Successivamente, si procederà alla stesura (da parte di operatore specializzato) di due strati preparatori: un primer di resina epossidica fluida a bassa viscosità esente da solventi da stendere a pennello od a rullo (lavorabilità a 20°C 480 min., temperatura minima di applicazione 10-12°C indurimento al tatto a 20°C 16-18 h) al fine di migliorare l'efficacia d'aggrappaggio al supporto del sistema CFRP. La quantità da applicare è variabile a seconda della porosità e della scabrezza della muratura (in media circa 0,2 l/m²); nel caso in cui la prima mano fosse troppo assorbita dal supporto si potrà ricorrere ad una nuova stesura.

Passate almeno 6 ore (ovvero fino a quando il primer non risulterà più appiccicoso) comunque entro le 24 ore successive si applicherà, se richiesta dal progetto (ovvero nei casi in cui la superficie si presenti irregolare o quando la consistenza del supporto necessita di un rinforzo supplementare), una rasatura per uno spessore di circa 1-2 mm, stesa a mezzo di spatola o frattazzo, (lavorabilità a 20°C 30-40 min, temperatura minima di applicazione 5°C, resistenza a trazione diretta 12-24 MPa, resistenza a trazione per flessione ≥ 35 MPa, modulo elastico 180-220 GPa, indurimento al tatto a 20°C 8-10 h) costituita da stucco epossidico (bicomponente) compatibile con il primer e con il successivo adesivo. Trascorso il tempo necessario (comunque entro le 24 ore successive) per ottenere la condizione di fuori tatto si stenderà, uniformemente sulla superficie della volta mediante pennello o rullo (a pelo corto), e fresco su fresco, sopra le zone precedentemente trattate con il primer, ovvero con la rasatura, un adesivo epossidico (bicomponente) a consistenza tissotropica (lavorabilità a 20°C 30-40 min, temperatura minima di applicazione 10-12°C, resistenza a trazione diretta ≥ 30 MPa, resistenza a trazione per flessione ≥ 50 MPa, modulo elastico a trazione diretta 300-350 GPa, allungamento a rottura 2-5 %, assorbimento acqua 0,05-0,3 %, indurimento al tatto a 20°C 16-18 h); seguirà l'immediata applicazione dei nastri di rinforzo (seguendo le indicazioni di progetto e comunque opportunamente orientati secondo gli assi di riferimento, le linee di frattura e di forza individuate) esercitando una pressione regolare, per 2 o 3 volte, nella direzione longitudinale della fibra mediante un rullino di gomma rigida od a denti smussati al fine di eliminare sia l'eventuale aria dallo strato di resina, sia per completare l'impregnazione del nastro. I nastri saranno costituiti da strisce di larghezza variabile da un minimo di 10 cm ad un massimo di 100 cm in tessuto di fibra con spessore a secco variabile a seconda della natura della fibra (ad es. per fibre unidirezionali si potranno avere: carbonio circa 0,16 mm, vetro circa 0,23 mm, aramidica circa 0,21 mm); anche il peso sarà variabile in rapporto al materiale ed alla tipologia della fibra (per es. fibre di carbonio unidirezionali peseranno circa 330-500 g/m², mentre fibre di carbonio bidirezionali peseranno circa 450-600 g/m²). Il nastro dovrà presentarsi ben steso e ben ancorato; le eventuali sovrapposizioni, nella direzione longitudinali, dovranno essere di almeno 20-30 cm mentre, nella direzione trasversale potranno essere più ridotte (saranno sufficienti 2-5 cm).

Passata almeno 1 ora si procederà alla stesura della "seconda mano" di adesivo. Se specifiche di progetto o prescrizioni della D.L. indicheranno più strati di composito si ripeteranno le operazioni enunciate precedentemente. Nel caso d'interventi su intradossi di volte, da ripristinare con finitura ad intonaco al fine di consentire l'aggrappaggio dell'arriccio dell'intonaco, si potrà ricorrere all'applicazione, sulla mano finale di resina non ancora indurita, di uno spolvero di sabbia di quarzo.

Avvertenze: sarà necessario far presente che, nel consolidamento di volte in muratura, il dimensionamento dei nastri potrà ritenersi un fattore abbastanza marginale, in quanto il grado di resistenza a trazione, necessario per aumentare la resistenza di una volta, sarà sempre molto al di sotto delle prestazioni minime dei materiali FRP. Altri sono i fattori ai quali

si dovrà prestare attenzione, tra questi ci saranno sicuramente il corretto posizionamento dei nastri, la loro idonea “impregnatura” con la resina e la presenza di un doppio strato di nastro. Quest’ultimo aspetto sarà in funzione non tanto nel fornire una maggior resistenza all’unità strutturale (resistenza, generalmente, già sufficientemente fornita da un solo nastro), quanto piuttosto nel garantire una miglior risposta ad eventuali sollecitazioni “passive”, normali alle fibre che possano intervenire a causa delle irregolarità della superficie di supporto (da qui l’importanza di livellare la superficie di posa). Un doppio strato si rivelerà meno “delicato” nei punti angolosi grazie al frazionamento delle “sollecitazioni” dovuto dalla presenza di più resina e al non perfetto parallelismo tra le fibre dei due strati. Dovrà essere fatta particolare attenzione nel rispettare i rapporti di miscelazione ed i tempi di catalizzazione del primer e dell’adesivo epossidico; in caso contrario, infatti, potrebbero verificarsi dannose esfoliazioni degli strati.

6.1.6.2.4 Fasciatura dell’estradosso con FRP

6.1.6.2.4.1 Volta a crociera

Previa esecuzione delle procedure preliminari si procederà alla messa in opera di uno strato di calcestruzzo (malta idraulica pozzolanica reoplastica, fibrorinforzata caricata con sabbia grossa) dello spessore necessario a raccordare la curvatura degli archi perimetrali della volta con la zona dei peducci d’imposta della stessa; questa superficie d’appoggio dovrà essere perfettamente livellata con malta di calce idraulica, dopodiché si procederà con la sequenza descritta all’articolo precedente (primer, adesivo epossidico, nastro FRP, seconda mano d’adesivo epossidico). Il posizionamento dei nastri, special modo in presenza di volte in laterizio disposto in foglio (con conseguente sezione resistente di spessore ridotto), seguirà, se non altrimenti specificato dai disegni di progetto, il perimetro (ovverosia le unghie a contatto con le pareti di supporto) e le nervature diagonali dell’estradosso della volta, in presenza di dissesti avanzati si potrà effettuare un placcaggio anche lungo le direttrici di chiave. In presenza di volte in laterizio disposto a taglio con non evidenti dissesti strutturali potrà essere sufficiente collocare le strisce di tessuto solamente lungo il perimetro. In entrambi i casi sarà consigliabile dotare il dispositivo resistente di un ancoraggio con lo scopo di porre resistenza all’eventuale formazione di cerniere sui piedritti. Questi ancoraggi saranno costituiti da un dormiente di malta idraulica pozzolanica, a ritiro compensato fibrorinforzata a consistenza tissotropica, una piastra d’acciaio inox 18/8 AISI 304L o zincata (dimensioni minime 8x200x200 mm) munita di un cuneo (anch’esso di acciaio) ed un tirante di ancoraggio costituito da una barra filettata di acciaio inox AISI 316L (minimo \varnothing 16-20 mm) inserita in un perforo diagonale (minimo \varnothing 26-30 mm) eseguito con strumento a rotazione (e non a percussione per evitare eccessive sollecitazioni dinamiche che potrebbero danneggiare la muratura) per una profondità sufficiente a garantire un idoneo ancoraggio (minimo 90 cm). La barra verrà sigillata mediante betoncino di malta idraulica reoplastica a ritiro compensato fibrorinforzata ad alta duttilità o di resina epossidica bicomponente a consistenza colabile esente da solventi (secondo quanto stabilito dagli elaborati di progetto); l’ancoraggio sarà, inoltre, vincolato alla piastra tramite doppio dado in acciaio.

6.1.6.2.4.2 Volta a padiglione

La procedura seguirà quella descritta agli articoli precedenti ad eccezione d’alcune precisazioni sul posizionamento dei rinforzi. I nastri FRP dovranno essere collocati seguendo le indicazioni fornite dalle deformazioni e dai dissesti tipici di questo tipo di volte, pertanto si posizioneranno i nastri sia lungo il perimetro della volta (al fine di confinare la base del padiglione), sia trasversalmente a questa allo scopo di incrementare la resistenza dell’arco alle eventuali sollecitazioni orizzontali; infine, si prevedranno delle fasciature più modeste, a cavallo delle nervature delle unghie di testata, così da evitare l’eventuale allargamento delle stesse. Anche in questo caso sarà opportuno dotare il sistema resistente di un idoneo ancoraggio volta-piedritto.

6.1.6.2.4.3 Fasciatura dell’estradosso con FRP e posa in opera di arco di rinforzo o frenello

Il semplice intervento di “rivestimento” con FRP del perimetro e delle nervature, pur rilevandosi efficace può, talvolta, (specialmente in presenza di volte di laterizio in foglio con sezioni molto modeste) non essere sufficiente ad impedire il formarsi di cerniere in chiave con conseguenti dissesti all’unità strutturale. In questi casi si potrà ricorrere all’ausilio di tecniche cosiddette premoderne, ovverosia all’aumento dello spessore in chiave attraverso la messa in opera di archi di rinforzo sull’estradosso in laterizio ad una testa, ovvero di frenelli in laterizio (per la messa in opera di questi “presidi” si rimanda a quanto detto all’articolo sui rinfranchi cellulari); in questo modo si darà vita ad un organismo monolitico la cui modalità di collasso dovrà essere ricercata solo nell’eventuale rotazione dei piedritti: cinematismo evitabile inserendo un adeguato ancoraggio volta-piedritto (si veda articolo precedente).

6.1.6.2.4.4 Consolidamento sull’intradosso con barre in FRP

L'intervento è mosso dalla necessità di rinforzare l'intradosso della volta segnato da forti lesioni. Previa eventuale rimozione dell'intonaco si procederà alla creazione di scanalature di modesta sezione (circa 20x20 mm) con il solo ausilio di mezzi manuali (mazetta e scalpello) al fine di creare un alloggio per il posizionamento di barre di fibra di carbonio pultruse, ad aderenza migliorata (conseguita mediante sabbiatura superficiale di quarzo sferoidale e/o spirale esterna) di dimensioni e caratteristiche dettate da prescrizioni di progetto (\varnothing 7-12 mm, modulo elastico 200-240 GPa, resistenza a trazione media 2500-3000 MPa, deformazione ultima 1,5-2 %). Successivamente questa scanalatura sarà sigillata con adesivo strutturale, a base di resina epossidica (bicomponente) a consistenza tissotropica priva di solventi, steso a spatola (caratteristiche meccaniche medie: temperatura minima di applicazione 5-10°C, resistenza a trazione diretta \geq 30 MPa, resistenza a trazione per flessione \geq 35 MPa, modulo elastico a trazione diretta 750 GPa). Una volta terminata la fase di indurimento della resina si potrà provvedere alla nuova intonacatura della volta.

6.1.6.2.4.5 Consolidamento dell'estradosso con cappa armata con barre in FRP

Il protocollo si pone l'obiettivo di assolvere problematiche dovute all'incremento di carico di strutture voltate e, allo stesso tempo, avrà il fine di aumentare la sezione resistente. La procedura prevedrà, previa esecuzione delle operazioni preliminari, la messa in opera di una cappa armata a spessore traspirante costituita da un getto di calce idraulica pozzolanica, fibrorinforzata a consistenza tissotropica (spessore minimo 4 cm) caricata con inerti silicei di grammatura dettata da disposizioni di progetto.

L'armatura sarà costituita da barre di fibra di carbonio pultruse, ad aderenza migliorata (\varnothing 7-12 mm, modulo elastico 200-240 GPa, resistenza a trazione media 2500-3000 MPa, deformazione ultima 1,5-2%); il numero ed il diametro saranno dettati da calcoli di progetto (se non altrimenti specificato verranno montate 2 \varnothing 8 mm lungo il perimetro, le nervature e le direttrici in chiave della volta). Queste barre, posizionate sull'estradosso della volta, non saranno ancorate al supporto ma solamente appoggiate a questo; al fine di evitare scorrimenti si posizioneranno preventivamente dei chiodi (in acciaio inox) distanziati di circa 20-30 cm, alternati a sinistra ed a destra in modo da creare una sorta di guida alla barra. Previa perforazione (mediante mezzi meccanici a rotazione) della muratura d'ambito si procederà ad ancorare a questa le estremità delle barre mediante adesivo epossidico bicomponente a consistenza tissotropica, privo di solventi.

6.1.6.2.4.6 Consolidamento mediante posa in opera di rinfianchi cellulari (frenelli)

L'intervento (conforme al punto 6 dell'Allegato 3 della Circolare Ministeriale LLPP 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG. riguardante le norme tecniche per le costruzioni in zona sismica) si pone il fine di alleggerire la spinta attraverso l'asportazione delle masse non strutturali di rinfianco, più o meno pesanti, che insistono sulla volta (in condizioni statiche questo materiale incoerente stabilizza le reni impedendone l'innalzamento) e nel ristabilire l'equilibrare della curva delle pressioni interne attraverso la messa in opera di frenelli (muretti leggeri e di modesto spessore) localizzati ortogonalmente alle generatrici delle falde cosicché si possano distribuire omogeneamente i carichi e, allo stesso tempo, irrigidire complessivamente il sistema volta.

Previa esecuzione delle operazioni preliminari si procederà alla raschiatura e spazzolatura dei giunti di malta della volta sull'estradosso, dopodiché si passerà all'esecuzione di una sottile cappa tramite boiaccia di malta a base di calce idraulica naturale (eventualmente additivata con pozzolana o coccio pesto) al fine di "saturare" gli eventuali giunti sconnessi fra gli elementi lapidei o laterizi. A presa avvenuta si provvederà, seguendo le indicazioni di progetto (dove dovranno essere specificate la quantità e la "forma"), a gettare la massa di calcestruzzo alleggerito (cemento 100 kg/m³, argilla espansa 1m³) che andrà a costituire il nuovo rinfianco della volta. L'operazione procederà con la messa in opera dei rinfianchi cellulari (frenelli) costituiti da mattoni pieni o semipieni (per le volte reali) o forati (per le volte in foglio) allettati con malta idraulica; l'interasse e la dimensione dei frenelli saranno quelli indicati dalle prescrizioni di progetto, di norma lo spessore non sarà superiore alla sezione, in chiave, della volta (generalmente una testa 12-13 cm) e l'interasse potrà variare tra i 80 e i 110 cm (a seconda della luce della volta, del suo spessore e del sovraccarico previsto). Al fine di impedire i naturali scorrimenti fra la superficie della volta e il rinfianco, questo verrà ancorato all'estradosso della volta tramite prese (almeno 4 per metro) costituite da spillature metalliche (sporgenti dall'estradosso per almeno 10 cm) annegate nella muratura, di tipo e diametro indicato dagli elaborati di progetto e/o indicati dalla D.L. (in ogni caso il \varnothing minimo sarà 6-8 mm e l'acciaio utilizzato potrà essere di tipo inossidabile, zincato o normale trattato con boiaccia passivante anticarbonatante). In presenza di strutture con luci notevoli (superiori a 4-5 m) si renderà necessario disporre una seconda orditura di frenelli normali ai primi con lo scopo di impedire eventuali spostamenti laterali. In alternativa ai frenelli in muratura si potranno utilizzare riempimenti di calcestruzzo alleggerito con argilla espansa, vermiculite o pomice come da prescrizioni di progetto.

Un accorgimento da tenere presente è che, le camere d'aria che si verranno a creare tra l'estradosso della volta e la pavimentazione soprastante, non siano ermetiche ma comunicanti tra loro al fine di consentire la circolazione d'aria; per questo motivo, all'interno dell'apparecchio dei frenelli, (sia primari che, eventualmente, secondari) si dovranno lasciare dei fori di aereazione. Dietro specifica richiesta della D.L. le aperture potranno essere posizionate in modo da consentire il passaggio di canalizzazioni impiantistiche.

Sui frenelli si imposterà il nuovo piano di solaio che potrà essere costituito da tavelloni in laterizio (spessore minimo 6 cm) o da una lamiera di acciaio zincata e grecata con bordi ad incastro dello spessore minimo di 8/10 (seguendo le prescrizioni di progetto) sulla quale verrà gettata una soletta di 4-5 cm, precedentemente armata con una rete in acciaio elettrosaldato Fe B 38 K, adeguatamente dimensionata (comunque non inferiore a \varnothing 6 mm con maglie 100x100 mm o 200x200 mm). Il posizionamento dei frenelli sarà, ovviamente, differente a seconda della tipologia di volta: in una volta a botte i frenelli saranno disposti paralleli al piano trasversale della stessa; in una volta a padiglione i frenelli si disporranno a novanta gradi con il vertice posto sulle generatrici della volta infine, in una volta a crociera saranno ugualmente a novanta gradi ma disposti ad anello verso il centro.

Questa tecnica di consolidamento potrà essere messa in opera solo quando la volta risulterà sufficientemente stabile, presenti modeste deformazioni sul suo profilo, e un buon stato di conservazione dei materiali.

6.1.6.2.5 Consolidamento con tirante metallico

L'intervento (conforme al punto 6 dell'Allegato 3 della Circolare Ministeriale LLPP 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG. riguardante le norme tecniche per le costruzioni in zona sismica) si pone il fine di presidiare i meccanismi di spinta presenti in un sistema voltato, collaborando ed assorbendo la componente orizzontale della spinta, diretta diagonalmente verso il basso. Generalmente saranno messi in opera alle reni della struttura (ovverosia in posizione staticamente più corretta ed efficace); talvolta, comunque, potranno essere posizionati anche all'imposta, o all'estradosso, parzialmente annegati nella muratura in corrispondenza della chiave.

L'intervento consisterà nel posizionamento di tiranti in acciaio Fe 360, adeguatamente dimensionati secondo le prescrizioni di progetto (comunque non inferiori a \varnothing 16 mm e lunghezza massima 20 m), a livello dell'imposta della volta. Il dimensionamento e la tipologia di ancoraggio (paletto, piastra, tirafondi, fialoide ecc.) del tirante sarà in relazione sia al tipo ed allo stato di conservazione della muratura dei piedritti, sia al fatto che la reazione al punzonamento del muro dovrà essere almeno uguale alla spinta orizzontale esercitata dalla volta. L'interesse tra i tiranti sarà, tanto più modesto quanto più sottile sarà la sezione del muro su cui agiranno gli ancoraggi e quanto più avanzato sarà il dissesto della struttura.

La procedura operativa d'intervento seguirà quella prevista all'articolo sul consolidamento delle murature con tiranti metallici orizzontali.

Avvertenze: questo tipo d'intervento non sarà sufficiente da solo a riequilibrare e ripristinare il primitivo stato tensionale delle volte, come non potrà riportare una struttura deformata e decoesa allo stato originale (operazioni che dovranno essere previste parallelamente a questa procedura); potrà, però, evitare ulteriori peggioramenti dei dissesti dell'unità strutturale. L'operazione, pertanto, dovrà essere, di complemento o di completamento ad interventi di consolidamento strutturale.

6.1.7 CONSOLIDAMENTO COPERTURE

6.1.7.1 PREMESSA METODOLOGICA

Le coperture lignee possono essere distinte tra quelle considerate spingenti, che trasferiscono sulle strutture perimetrali sollecitazioni generatrici di spinte con componente orizzontale (anche in fase statica) non assimilabili dalle murature e non spingenti, dove gli elementi portanti poggiano direttamente su strutture che trasmettono alla muratura solo sforzi verticali di compressione.

La casistica di tetti che si possono definire "spingenti" comprende diverse tipologie strutturali: tetto a capanna con orditura primaria direttamente appoggiata sulle pareti di testata (tetto alla toscana composto da trave di colmo ed arcareccio terzere orizzontali) o su quelle laterali (tetto alla piemontese composto da falsi puntoni) e con l'orditura secondaria (travicelli, palombelli, morali, correnti, mezzanelle, listelli ecc.) gravante, a seconda della tipologia, o sulle pareti trasversali o su quelle laterali; tetto a padiglione od a capanna con testa a padiglione. In entrambe queste tipologie

strutturali andrà fatta particolare attenzione in prossimità degli angoli dove i falsi-puntoni o paradossi insistono maggiormente.

Altra situazione a rischio è costituita dalla presenza di tetti con capriate lignee aventi gli appoggi che non insistono su tutta la sezione muraria, ovvero non risultano idoneamente vincolati: l'incavallatura, caricando in maniera disomogenea la muratura d'imposta, genera tensioni differenziali tra i due paramenti murari. Nel paramento esterno si potranno verificare azioni di punzonamento con conseguenti espulsioni locali di materiale mentre, la muratura interna (dove, cioè, appoggia la capriata) verrà sollecitata sia dall'azione verticale causata dalla catena sia da quella orizzontale diffusa da quest'ultima per attrito: la conseguenza di queste azioni sarà il distacco di una zona limitata dell'apparecchio interno.

In presenza di tetti spingenti (ma è vivamente consigliabile anche in presenza di tetti considerati "non spingenti", ed in particolare in zona sismica) è opportuno che, l'intervento manutentivo prescelto sia finalizzato al "miglioramento" (termine utilizzato dalla normativa per le costruzioni in zona sismica) del comportamento strutturale, così da poter ovviare pericolosi fenomeni di martellamento sui setti murari; per questo il progetto dovrà, necessariamente, prevedere una serie di operazioni che possano garantire sia la connessione solidale tra i vari elementi che compongono l'orditura (primaria e secondaria), sia l'unione strutturale tra il tetto e la muratura dando vita ad un sistema scatolare chiuso capace di annullare le spinte e comportarsi in maniera solidale in caso di azione sismica.

L'intervento sulle strutture lignee delle coperture, dovrà essere effettuato previa verifica delle cause che hanno provocato i dissesti e dei degradi presenti sulle parti componenti la struttura, distinguendo gli elementi che hanno subito ammaloramenti locali o diffusi, da quelli che presentano un buono stato conservativo; sovente le cause del decadimento fisico, con conseguente perdita della consistenza, sono riconducibili al naturale invecchiamento del materiale, all'assenza di manutenzione, all'azione distruttiva dell'acqua e all'attacco di microrganismi biologici quali muffe, insetti ecc. Tutto questo può portare la struttura al limite della resistenza per cui, il suo assetto statico risulta incapace di sopportare l'incremento delle sollecitazioni dovute al sisma. Una mancata manutenzione della copertura (con relativa inefficienza del sistema di smaltimento delle acque piovane o dissesto del manto di copertura) può innescare una riduzione dell'efficienza della connessione muratura-copertura portando la struttura a non essere più in grado di assolvere la funzione di solidarizzazione tra murature. In fase sismica si potrà avere la perdita totale o parziale dell'efficienza del nodo strutturale con conseguenti cedimenti differenziati, allontanamenti degli appoggi, lesioni degli apparecchi murari, privazione dell'efficienza dei collegamenti (sfilamento delle travi con successiva perdita della funzione di sostegno).

La volontà è di proporre una casistica di metodologie d'intervento "rispettose" dello stato di fatto, poiché la prerogativa base dovrà essere la comprensione della conformazione della struttura al fine di mantenerne i tratti salienti che la caratterizzano. Questo non vuol dire escludere a priori la possibilità di operare eventuali sostituzioni d'elementi eccessivamente degradati (il cui recupero comporterebbe un impegno economico e tecnico eccessivo per questo tipo di strutture) o l'introduzione d'elementi di rinforzo che potrebbero essere, in altri frangenti, considerati troppo invasivi.

Ogni intervento dovrebbe essere sempre preceduto e supportato da opportune verifiche, preventive eseguite su campioni significativi di materiale, finalizzate all'accertamento della reale capacità meccanica delle strutture e, sui risultati di tali verifiche, delineare i tratti salienti del progetto di recupero.

Quello che riteniamo riprovevole è l'atteggiamento, che molte volte si verifica in queste circostanze, eccessivamente cautelativo del tecnico progettista che debilita la struttura aprioristicamente e per questo opta per risoluzioni drastiche, solo apparentemente più sicure, quali, ad esempio, quelle che prevedono sostituzioni di carpenteria lignea ancora efficiente ed affidabile (talvolta solo esteticamente malandata) con membrane nuove o, peggio ancora, in cemento aggravando, in questo modo, la muratura con nuovi pesi, talvolta, eccessivi. Le diverse risoluzioni di consolidamento di seguito elencate, sono state scelte a discapito di altre poiché accomunate dalla volontà di rispettare la conformazione tecnico-costruttiva dell'esistente.

6.1.7.2 OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO DI COPERTURE IN LEGNO

6.1.7.2.1 Generalità

Prima di mettere in pratica qualsiasi risoluzione che, di seguito, verrà enunciata si renderà necessario seguire delle procedure preliminari indirizzate, sia alla salvaguardia dell'integrità di ogni singolo elemento che compone la struttura del tetto, sia per creare le condizioni atte a garantire una corretta esecuzione dell'intervento. Le operazioni sotto elencate, per fasi successive, costituiranno le accortezze da prendere 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 ritri 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 criccate) 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 e successiva battitura;
- totale o parziale (a seconda del tipo di intervento) rimozione del sottopiano (in pannelle 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 sabbiatura con l'ausilio di appropriati apparecchi aeroabrasivi ricorrendo ad inerti indicati, nello specifico, dalla D.L.

6.1.7.2.2 Collegamento tra le strutture della copertura e la muratura

L'intervento (conforme al punto 9 dell'Allegato 3 della Circolare Ministeriale LLPP 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'impasto, 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'impasto con elementi di laterizio pieno ben apparecchiati con malta idraulica.

Varianti di questa procedura sono trattate nell'articolo specifico sul consolidamento delle murature.

6.1.7.2.2.1 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 \varnothing 12 mm) fermata con doppio dado. L'appoggio del puntone alla muratura d'impasto potrà essere aiutato grazie al posizionamento di opportuni cunei di legno (pancali), sagomati e dimensionati secondo le disposizioni di progetto, fissati (con chiodi inox o tirafondi filettati) alla struttura muraria, alle zanche di collegamento e ai puntoni stessi.

In alternativa, previo eventuale consolidamento della muratura d'attico (ovvero creazione di cordolo in muratura armata), si potrà ricorrere a spillature armate, intervallate ogni 40-50 cm, costituite o da barre nervate Fe B 44 K in acciaio inossidabile o zincato o da barre filettate AISI 316L (minimo \varnothing 16 mm), di lunghezza variabile (comunque non inferiore ai 90 cm), inghisate in fori \varnothing 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'impasto non si crei un allineamento che potrebbe agevolare l'insorgenza di una lesione orizzontale. In presenza di cordolo in muratura armata potrà essere sufficiente collegare un tirafondo in acciaio inox uncinato (ad es. \varnothing 20 mm) 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).

6.1.7.2.2.2 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 rigidità del piano così da poter rinunciare alla messa in opera della caldana in cls. Tutte le connessioni saranno, preferibilmente, eseguite con bullonatura e non con saldatura allo scopo di prevenire la diminuzione di protezione (disposizione all'ossidazione, dovuta alla rimozione della zincatura protettiva) che questa tecnica potrebbe introdurre.

Di pari passo all'eventuale consolidamento della muratura trasversale d'imposta, si procederà alla messa in opera dei dispositivi di appoggio ed ancoraggio delle travi principali costituiti, seguendo i disegni di progetto, da selle in acciaio inossidabile 18/8 AISI 304L o zincato a caldo (spessore minimo 5 mm), precedentemente, ancorate al timpano di muratura mediante barre filettate AISI 316L (minimo 2 \varnothing 16 mm) di lunghezza variabile (comunque non inferiore ai 90 cm), inserite in perforazioni (minimo \varnothing 36 mm) verticali (o con lieve inclinazione) ed annegate in malta reoplastica, colabile, a ritiro compensato fibrorinforzata ad alta duttilità. Le travi saranno vincolate alle selle (al fine di bloccare gli eventuali movimenti di scorrimento) mediante una caviglia metallica trasversale che potrà essere costituita (a seconda delle prescrizioni di progetto) da un tubo liscio (in acciaio inox) all'interno del quale verrà posto il perno che potrà essere formato da un bullone dotato di doppi dadi all'estremità; in alternativa la caviglia potrà essere composta da una barra inox filettata a sezione circolare (minimo \varnothing 14 mm) dotata anch'essa di doppi dadi all'estremità. La superficie di contatto della trave con quella della sella sarà isolata tramite 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 \varnothing 14 mm inghisati in \varnothing 24 mm).

Per tutto il perimetro della muratura d'attico, sarà posizionato un ferro piatto (sui muri di testa e sui setti trasversali rompitratta) ovvero sagomato a "L" (sulle pareti di gronda, dove appoggiano solo i travicelli), di acciaio zincato a caldo, adeguatamente dimensionato (ad es. 100x100 mm) di sezione minima 10 mm ancorato, tramite bullonatura (dado e rosetta di acciaio zincato) e/o tirafondi, alle piastre nodali, ai congegni di appoggio ed ancoraggio delle travi, ai travicelli ortogonali alla gronda e alla chiodatura armata della muratura longitudinale costituita da barre in acciaio uguali a quelle utilizzate per l'ancoraggio delle selle (\varnothing 16/900 mm inghisato in \varnothing 36 mm intervallate ogni 60 cm).

Il protocollo prevede, inoltre, il posizionamento di tiranti diagonali costituiti da piatti in acciaio (sezione minima 5x80 mm) disposti sulle falde e bullonati ai piatti perimetrali in modo da rendere indeformabile la maglia quadrangolare costituita in precedenza.

Viti autofilettanti in acciaio inox (\varnothing 6/80-100 mm) assicureranno il collegamento tra l'orditura minuta con quella principale.

6.1.7.2.2.3 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 (paradosi). Si renderà opportuno dotare il paradosso di doppio tirante in acciaio inox Fe 360, adeguatamente dimensionato (per es. \varnothing 26 mm o \varnothing 32 mm), messo in opera in modo tale che il falso puntone risulti come asse bisettore dell'angolo formato dalle due

catene, che avranno il compito di assorbire la spinta secondo due componenti ortogonali. La catena (collegata al paradosso da imbracatura metallica, dim. minime 5x50 mm, fermata alla trave mediante bullonatura cieca) correrà al di sotto della struttura lignea e sarà ancorata (tramite capochiave in acciaio) dalla parte opposta ad un setto murario di taglio o di spina in idonea posizione e più prossimo al falso puntone.

Queste soluzioni dovranno essere utilizzate unicamente su materiale ligneo ancora in buono stato di conservazione così da garantire un valido collegamento con i dispositivi metallici.

In alternativa ai tiranti metallici e per strutture a capanna molto semplici e di modeste luci si potrà ricorrere alla messa in opera di doppie catene lignee adeguatamente dimensionate (ad es. 100x150 mm) posizionate allo spicco della muratura ed ancorate ai falsi puntoni spingenti attraverso barre filettate inox (minimo 2 \varnothing 12 mm) munite di doppi dadi ciechi a ciascuna estremità. Il legname utilizzato dovrà essere esente da difetti, perfettamente stagionato (salvo diversa prescrizioni di progetto), di specie durevole (ad es. faggio o larice) ed essere trattato preventivamente con prodotto antimuffa ed anti-tarło. Al fine di evitare eventuali svergolamenti delle tavole potranno essere introdotte delle chiavardature costituite da barre bullonate distanziate ogni 100-120 cm.

6.1.7.2.2.4 Collegamento mediante cerchiatura dell'edificio in sommità

6.1.7.2.2.4.1 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.

6.1.7.2.2.4.2 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 cm²). 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 \varnothing 16 mm e staffe \varnothing 8/200-255 mm mentre, per cordoli più piccoli, potrà essere sufficiente armare con 2 \varnothing 22-24 mm legati con 2 spille \varnothing 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 \varnothing 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 prevedrà l'uso di casseforme lignee per il getto (costituito da calce idraulica e sabbia silicea), in quanto i mattoni stessi faranno le veci di casseri a perdere, e, come tali, risulteranno in grado di racchiudere la malta che avvolgerà l'armatura.

6.1.7.2.2.4.3 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 (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 \varnothing 16 mm inghisata in \varnothing 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 \varnothing per uno spessore minimo 0,3 f), 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).

6.1.7.2.2.4.4 Cordolatura mediante applicazione di materiali compositi (CFRP)

Qualora non sia 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/m² ai 500 g/m²) costituiti da fibre unidirezionali previste dagli elaborati di progetto (fibre di carbonio, fibre aramidiche) combinate con i prescritti adesivi strutturali polimerici. Questo tipo di fasciatura presenta sia il vantaggio di collegare le murature ortogonali chiudendo la "scatola muraria" sia di assorbire le spinte orizzontali della copertura. I nastri saranno impregnati di resina epossidica seguendo il rapporto medio, se non diversamente specificato, di 50% fibra, 50% resina. Dal momento che gli spigoli vivi potranno comportare fenomeni di distacco e di esfoliazione dei nastri sarà opportuno, preventivamente, smussarli con un raggio minimo di 2 cm (maggiore sarà il raggio, migliore sarà la resistenza del sistema). A causa della scarsa resistenza della resina agli agenti atmosferici sarà necessario proteggere la zona di intervento con appropriati teli di plastica od altri tipi di barriere, sia durante le fasi di lavoro sia dopo aver completato la procedura (almeno 24 ore e comunque fino a quando il "materiale composito" non abbia completato la fase di indurimento).

Nel caso di apparecchi murari, fasciati con FRP, ed esposti direttamente alle radiazioni solari si procederà all'applicazione di un'idonea pellicola a base di elastomeri poliuretanici (lavorabilità a 20°C 60 min, temperatura minima di applicazione 5°C, resistenza a trazione diretta 8 MPa, allungamento a rottura 100-200%, indurimento al tatto a 20°C 24 h) che presenti sia buone caratteristiche elastiche sia resistenza all'azione degli agenti atmosferici.

Questa protezione (disponibile in diversi colori) potrà essere messa in opera solo dopo che risulterà completata la fase di indurimento iniziale della seconda mano di adesivo epossidico. Nel caso in cui il progetto preveda di lasciare a vista la cerchiatura sommitale si provvederà a scegliere, per la protezione, un tono di colore non troppo discordante dalle tonalità circostanti.

Nel caso di interventi su apparecchi da ripristinare con finitura ad intonaco al fine di consentire l'aggrappaggio dell'arriccio, si potrà ricorrere all'applicazione, sulla mano finale di resina non ancora indurita, di uno spolvero di sabbia di quarzo. Per poter manifestare la presenza della fasciatura si potranno utilizzare gli accorgimenti già, precedentemente descritti 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.

6.1.7.2.2.4.5 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 sconsigliata.

6.1.7.2.3 Connessione tra i diversi elementi costituenti l'orditura

L'intervento (conforme al punto 9 dell'Allegato 3 della Circolare Ministeriale LLPP 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.

6.1.7.2.3.1 Connessione mediante staffe e/o piastre metalliche

Al fine di migliorare o creare collegamenti tra i vari elementi lignei costituenti l'orditura primaria e secondaria, e seguendo le necessità dettate dal progetto, si potranno posizionare delle 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 Ø 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 Ø 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 Ø 14 mm su foro di Ø 15 mm) e testa esagonale vincolato al legno con dado e rosetta in acciaio poggiata sul legno per tutta la sua superficie.

6.1.7.2.3.2 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 (Ø 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 (Ø 10-12 mm lunghezza 150 mm) sull'arcareccio e con due tirafondi (delle stesse caratteristiche) sul puntone.

6.1.7.2.4 Irrigidimento e controventatura delle falde di copertura

L'intervento (conforme al punto 9 dell'Allegato 3 della Circolare Ministeriale LLPP 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG. 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.

6.1.7.2.4.1 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 maschiatura da entrambi i bordi, sarà ancorato alla sottostante struttura attraverso viti autofilettanti di acciaio inossidabile o chiodi inox filettati o scanalati (minimo Ø 4 mm inseriti con trapani per chiodature oppure manualmente) cominciando dalla linea di gronda e proseguendo, per corsi rigorosamente paralleli, fino a quella di colmo.

Si ricorda che tutto il legno che andrà posato in opera dovrà essere preventivamente trattato con prodotti fungicidi e/o tarlicidi (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto all'articolo specifico).

6.1.7.2.4.2 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 prevedrà il posizionamento di un "numero discreto" di controventature conformate a croce di Sant'Andrea (o altra configurazione) costituite da strutture supplementari quali tiranti in acciaio o in legno, necessariamente dotati di meccanismi di regolazione progettati secondo le rispettive tecnologie. Nel caso frequente in cui i dispositivi non siano collocati su ogni campata, ma solo in alcune, sarà necessario associare a questo intervento quello di connessione tra le orditure e le strutture complementari con, ovviamente, maggior attenzione nelle campate prive di controventature.

Questo tipo d'intervento potrà essere collocato non solo sui piani di falda ma anche nel piano d'imposta delle incavallature o in quello verticale longitudinale che passa tra i monaci delle capriate. Questa tecnologia si 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) prevedrà la messa in opera di collari e staffe di ritenuta dove agganciare i tiranti costituiti (seguendo le prescrizioni di progetto) da cavi nudi o rivestiti e protetti da guaine isolanti (in ogni caso dovranno essere dotati di organi di regolazione, tipo tenditore a manicotto), o, più frequentemente da piatti, in acciaio Fe 360 zincato a caldo, di sezione minima 5x80 mm. I punti dove "ancorare" i tiranti dovranno essere sufficientemente resistenti e saldi da sostenere le nuove azioni senza incorrere in successivi dissesti dell'unità strutturale; verranno, pertanto, scelte le sezioni prossime ai nodi, nei quali la stessa unione delle membrane concorrenti garantisce un ricalzo della sezione (per scontate ragioni di convergenza delle forze). Di norma la controventatura di falda sarà applicata ai puntoni in corrispondenza degli appoggi ed in sommità; oppure, nel caso di controventatura costituita da piatti in acciaio, potrà essere ancorata direttamente alla muratura d'ambito. I tiranti, saranno fissati a piastre d'ancoraggio, preventivamente collegate alla muratura con tirafondi filettati AISI 316L (minimo \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.

6.1.7.2.4.3 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'adequata collaborazione tra soletta e morali lignei; tale connessione non dovrà presentare scorrimenti, potrà essere garantita da connettori costituiti da vitoni tirafondi adatti per il legno con testa esagonale in acciaio zincato di lunghezza di circa 100-150 mm e diametro 8-10 mm. Dopo aver posizionato i connettori sui correnti ad una distanza massima di 30 \varnothing si posizionerà e si legherà a questi, la rete in acciaio elettrosaldato 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 requisiti richiesti dagli elaborati di progetto (peso asciutto in opera di 950 kg/m³, conducibilità termica a secco 0,24 W/mK, classe di lavorabilità S3 (semifluido), classe 0 di resistenza al fuoco) con, in ogni caso, uno spessore minimo di 5 cm. Questa soletta, oltre ad assolvere il compito di controventatura e, grazie alla rete elettrosaldato, di ripartizione di carichi, assolverà anche il compito di regolarizzare il piano di falda, dato da non sottovalutare in quanto, frequentemente, fonte di infiltrazioni di acque meteoriche con conseguenti degradi dei materiali.

6.1.7.2.5 Fissaggio elementi sporgenti

L'intervento risulta conforme al punto 9 dell'Allegato 3 della Circolare Ministeriale LLPP 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG. riguardante le norme tecniche per le costruzioni in zona sismica ed è indirizzato verso tutti gli elementi aggettanti dalle coperture come comignoli, antenne, abbaini, torrioni 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 pannelle in cotto o da soletta in cls) attraverso 4 tirafondi in acciaio zincato

minimo \varnothing 10 mm di lunghezza tale da essere fissati all'intradosso dell'impalcato con dado ad una contropiastra in acciaio di sezione minima 8x80 mm.

Altri elementi leggeri e snelli come antenne o aste per bandiere dovranno essere messi in opera sull'impalcato attraverso una piastra in acciaio zincato (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.

In seguito 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.

6.1.7.2.6 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 eseguire 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 incalci 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.

6.1.7.2.7 Ricostruzione mediante protesi in legno

La procedura si eseguirà dall'estradosso della trave; previa puntellatura della struttura, con ritzi 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 asporterà 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.

6.1.7.2.7.1 Protesi con legno lamellare "artigianale"

L'operazione prevedrà 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/mm², resistenza a compressione 45-55 N/mm², resistenza a flessione 30-60 N/mm², modulo elastico 4000 N/mm²).

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.

6.1.7.2.7.2 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 rigidità 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 rigidità perduta sarà necessario applicare lamine parallele estese per tutta la luce della membratura) o del nodo, eseguendo le connessioni nelle parti sane delle membrane. Il ricorso a questi pannelli sarà consigliabile in quanto, in essi, il ritiro dei fogli componenti sarà compensato dalle direzioni alternativamente perpendicolari delle fibre, inoltre presenterà il vantaggio di utilizzare sezioni esigue ed evitare l'attacco di parassiti. La specie legnosa dovrà, preferibilmente, essere la stessa della membratura ma, se ciò non risultasse fattibile, 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 accettato; 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 \varnothing 10 mm inghisato in \varnothing 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.

6.1.7.2.7.3 *Protesi con incalmo*

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 \varnothing 10 mm inghisate in \varnothing 11 mm, i fori per i bulloni potranno avere un \varnothing massimo aumentato di solo 1 mm rispetto al \varnothing del bullone stesso) a sezione circolare e testa esagonale vincolati al legno con dado cieco e rondella in acciaio con diametro minimo 3,5 \varnothing (con \varnothing = al diametro del bullone) e spessore di almeno 0,3 \varnothing (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 \varnothing e comunque non inferiore a 10 cm.

Una variante a questa procedura, per testate di travi, prevedrà 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'Eurocodice 5, sarà di 2+2 \varnothing 12 mm inghisati in \varnothing 16 mm (il \varnothing del foro consigliato sarà pari al \varnothing nominale della barra scelta + 4 mm) per una lunghezza minima di ancoraggio, (consentita dall'EC5, UNI ENV 1995) di 200 mm (la lunghezza minima consentita dall'EC5 è la massima fra 0,4 x \varnothing 2 della barra e 8 x f). Queste barre verranno posizionate in altrettanti fori o scassi laterali (distanza minima tra centro della barra ed i bordi laterale, inferiore/superiore della sezione 2,5 x \varnothing = 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/mm², resistenza a compressione 45-55 N/mm², resistenza a flessione 30-60 N/mm², modulo elastico 4000 N/mm²) 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 gradi per meglio trasmettere lo sforzo di taglio, per i puntoni (o altra struttura prevalentemente compressa) sarà indicato operare un taglio a 90 gradi (giunto testa a testa).

6.1.7.2.8 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 cassatura, almeno parziale, del successivo getto.

Si praticheranno dei fori nel legno sano aventi profondità ed inclinazione dettate dal progetto; previa pulizia del foro mediante aspirazione dei trucioli si inseriranno, seguendo le indicazioni di progetto, le barre in acciaio inossidabile Fe B 44 K ad aderenza migliorata o filettate (ad es. \varnothing 12 mm inghisato in \varnothing 16 mm) o in vetroresina per una lunghezza minima di 50 cm e si posizioneranno le eventuali staffe \varnothing 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/mm²).

L'eventuale cassatura potrà essere rimossa solo a presa avvenuta (circa una settimana), mentre la puntellatura potrà essere dismessa previa ricostruzione della breccia e maturazione del getto.

Questa tecnica ha, indubbiamente, il vantaggio di essere relativamente economica, rapida e versatile senza alterare significativamente (specie se è possibile lasciare l'involucro della trave) l'estetica della trave, di contro, specie se adoperata per ricostruire interi nodi di capriate, può rivelarsi pericolosa a causa del mutamento della ripartizione delle tensioni interne. Inoltre, il valore antisismico dei collegamenti delle aste lignee, indotto dalla duttilità del collegamento stesso, viene a mancare.

6.1.7.2.9 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 dime lignee) in eventuali perfori eseguiti con trapano a sola rotazione munito di punta notevolmente più sottile del gambo della vite. L'uso del trapano potrà essere d'aiuto anche per sondare i tessuti legnosi, non si potrà, infatti, utilizzare questa procedura in presenza di rotture nette con tessuti legnosi affetti da attacchi biocidi (inconsistenza del legno). Le viti (minimo \varnothing 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.

6.1.7.3 IMPERMEABILIZZAZIONE ED ISOLAMENTO COPERTURE

6.1.7.3.1 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.

6.1.7.3.1.1 Manto di copertura su pannelli

L'intervento potrà essere adottato per tutti i manti di copertura (coppi e canali, embrici e coppi, tegole marsigliesi, lastre di ardesia, scandole in legno ecc.) grazie alla messa in opera di particolari pannelli modulari (leggeri robusti e facili da posare), composti da una lastra termoisolante (costituita a seconda delle esigenze da polistirene estruso, polistirene espanso sinterizzato o sughero termopressato) di densità variabile dai 25 kg/m³ ai 35 kg/m³ per le lastre di polistirene fino a 200 kg/m³ per quelle in sughero, conducibilità termica (l) W/mk 0.033-0.036, munita di distanziatori troncoconici o parallelepipedi del medesimo materiale e battentatura sui quattro lati. Gli spessori della lastra e dei relativi distanziatori potranno variare secondo le esigenze di progetto (spessore lastra minimo 40 massimo di 80 mm; distanziatore minimo 40 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 anti-parassiti, 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 o viti autofilettanti o chiodi da carpentiere solo in caso di pendenza superiore al 30%: in presenza di queste pendenze si renderà necessario agganciare gli elementi di copertura con appositi ganci fermacoppo sagomati ad "S" di acciaio inossidabile o zincati a sezione piatta o circolare (è comunque, buona norma, utilizzare sempre i ganci fermacoppo). La posa in opera partirà dalla linea di gronda per poi risalire fino al colmo; i pannelli dovranno essere

accostati fra loro avendo cura di garantire la continuità dello strato isolante specie negli eventuali tagli a misura (displuvi, compluvi, colmi), tagli che potranno essere eseguiti facilmente con normali attrezzi da cantiere.

In presenza di tetti a padiglione le falde di testa dovranno essere provviste, nella parte sommitale, di dispositivi aeratori di copertura. La procedura prevedrà la foratura del piano in OSB mediante una fresa a tasca di diametro di circa 100 mm al fine di inserirvi una curva in PVC o, preferibilmente, in cotto del medesimo diametro. Questa bocchetta dovrà essere sigillata ovvero, protetta mediante appositi faldali di raccordo al manto impermeabilizzante e dovrà altresì essere dotata di rete in ottone parapasseri e/o insetti.

La posa in opera del manto di copertura avverrà in maniera tradizionale, la prima fila di coppi sulla linea di gronda potrà essere tranquillamente tamponata con malta di calce, in quanto la ventilazione sarà garantita dal sottostante elemento di battuta (laterizio forato).

6.1.7.3.1.2 Manto di copertura su lastre ondulate o regoli

L'intervento simile a quello descritto all'articolo precedente si differenzia per alcuni elementi: il pannello isolante, della medesima natura di quello precedente (spessore medio 40-60 mm), non sarà munito di distanziatori ma soltanto di battenti sui quattro lati.

La ventilazione sarà garantita dalla posa in opera di idonee lastre sottocoppo costituite da un monostrato di fibre organiche bitumate (spessore variabile da 2 a 2,6 mm) opportunamente ondulate, secondo le indicazioni di progetto, così da agevolare il perfetto alloggiamento degli elementi di copertura (coppi, embrici, tegole marsigliesi). La posa di queste lastre su assito di legno o caldana in cls, avverrà per file parallele, partendo dall'angolo inferiore della copertura, opposto ai venti dominanti, salendo via via verso il colmo; le sporgenze in gronda non dovranno superare i 2-4 cm. La prima lastra sarà posizionata a battuta di una griglia parapasseri in lamiera 20/10 preverniciata precedentemente chiodata (in ragione di 4/5 fissaggi a m) al listello di controseggiola (sulla linea di gronda) con una sporgenza all'interno del canale di gronda di circa 2 cm (al fine di permettere la percolazione dell'acqua); in alternativa si potranno utilizzare appositi pettini in PVC. L'ancoraggio delle lastre avverrà attraverso un adeguato fissaggio meccanico (sempre sul vertice dell'onda) con chiodi in acciaio inossidabile (\varnothing 3 mm lunghezza 60-120 mm) muniti di guarnizione in polietilene; il numero e la disposizione dei chiodi, variabile a seconda della ventosità della zona, sarà dettata da specifiche della D.L. di norma, i fissaggi saranno posizionati in due file parallele al senso della sovramonta trasversale (non inferiore ai 10-15 cm) in sommità ad ognuno dei lati delle lastre; la terza fila verrà posizionata al centro di ogni lastra (per una lastra di 200x100 cm occorreranno, in media, dai 5 ai 10 chiodi al m² a seconda delle condizioni climatiche). La sovrapposizione laterale delle lastre sarà di un'onda.

La ventilazione sul colmo verrà garantita da apposite bocchette di ventilazione posizionate tra i coppi o attraverso la messa in opera di dispositivi per la sopraelevazione degli elementi di colmo (listello di legno) così come descritto nell'articolo precedente.

La messa in opera del manto di copertura potrà avvenire tramite l'ausilio di appositi ganci fermacoppo, in acciaio inossidabile, sagomati ad "S" da posizionare sulla griglia in gronda (lunghezza 50 mm), con il fine di impedire in maniera semplice e sicura lo scivolamento dei coppi e dei canali e lungo la falda (lunghezza circa 90-105 mm), per permettere una sovrapposizione costante dei manufatti; in caso di elevate pendenze o prescrizione di progetto si potrà ancorare una fila di coppi ogni 5/6 tramite un gancio rompitratta di lunghezza superiore ai 300 mm.

In alternativa alla lastra ondulata per posizionare, in maniera tecnicamente corretta, le tegole si potrà utilizzare un'orditura minuta supplementare (da montare sopra il pannello isolante munito di apposite guide) costituita da correnti e listelli in legno (dim. circa 50x25-30 mm) orditi nei due sensi e sovrapposti (preventivamente trattati con prodotti insetticida e fungicida) o, più semplicemente, da dei profilati sagomati ad omega in metallo zincato e traforati al fine di far circolare l'aria. Entrambi i dispositivi dovranno essere distanziati in funzione della tegola o del coppo che andrà montato (distanza variabile dai 24 ai 33 cm). Il primo listello in gronda, al fine di eseguire una corretta messa in opera delle tegole, dovrà essere, ovviamente, maggiorato in altezza.

I pannelli isolanti utilizzati, generalmente, per quest'ultima procedura saranno realizzati in schiuma rigida di poliuretano espanso a cellule chiuse, ricoperti da un involucro impermeabilizzante in fibra minerale ovvero da una lamina di alluminio goffrato, lo spessore varierà da un minimo di 50 mm, ad un massimo di 85 mm, densità 35 kg/m³, conducibilità termica (l) W/mk 0.026-0.030. I pannelli saranno battentati sui quattro lati al fine di agevolare la messa in opera; eventuali raccordi in punti particolari (compluvi, displuvi) si eseguiranno tramite iniezioni di schiuma poliuretanica; sarà, comunque, consigliabile sigillare tutte le giunture dei pannelli con apposite bande autoadesive a freddo in alluminio bitumato.

6.1.7.3.2 Impermeabilizzazione terrazze a tasca

La procedura sarà rivolta a quei manufatti che necessiteranno di operazioni di impermeabilizzazione al fine di, ripristinare la tenuta all'acqua ed eliminare le eventuali infiltrazioni ai vani sottostanti.

La procedura prevedrà lo smontaggio della pavimentazione (si veda articolo specifico) compreso l'eventuale zoccolino battiscopa, la sottostante malta d'allettamento, e l'eventuale massetto di pendenza (saranno categoricamente da evitare smontaggi e demolizioni di solette collaborate). Successivamente previa asportazione di parte friabili, polvere e qualsiasi sostanza estranea dalla superficie della soletta, la procedura prevedrà la regolarizzazione delle irregolarità e la eventuale correzione delle pendenze (che non dovranno essere inferiore a 2%) mediante la posa in opera di un massetto (minimo 3 cm) in conglomerato dosato a q. 2,5 di calce idraulica naturale NHL 5 e sabbia grossa (granulometria: 2 parti 1,5-5 mm + 1 parte 0,5-1,2 mm) o aggregati alleggeriti tipo argilla espansa o vermiculite (granulometria 1-5 mm); il massetto dovrà essere tirato a regolo, battuto e spianato seguendo i livelli stabiliti dagli elaborati di progetto dovrà, inoltre, essere lasciato stagionare per il tempo necessario (almeno 3 giorni), le, eventuali, lesioni che si manifestassero andranno riempite con boiaccia di calce idraulica.

Su questo piano si procederà alla messa in opera dell'impermeabilizzazione utilizzando se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto, una guaina liquida elastomero bituminosa all'acqua (prodotto a consistenza liquida a base di bitumi con elastomeri e filler in dispersione acquosa, allungamento a rottura ca. 1000%, resistenza alte temperature >150°C, flessibilità a freddo -10°C, resistenza a trazione long. 16 N/cm² e trasv. 20 N/cm², tempo di essiccazione superficiale ca. 1 h) stesa a pennello o a rullo in due mani, a distanza di 24 ore una dall'altra, (diluata con il 5% di acqua per un consumo di circa 1 kg al m²) in uno spessore massimo di 1 mm per ogni mano. I piani orizzontali dovranno essere raccordati con quelli verticali (così da ottenere una perfetta tenuta impermeabile del sistema) tramite l'utilizzo d'appositi faldali o gusci (ad es. nastro di poliestere gommato fermato ed in seguito verniciato con la medesima guaina liquida) al fine di evitare infiltrazioni di acque meteoriche.

Ad impermeabilizzazione perfettamente secca s'incollerà (mediante la stessa resina bituminosa) un foglio di tessuto non tessuto in poliestere imputrescibile da 170 gr/mq (caratteristiche minime: punto di rammollimento >150°C, peso ca. 1,2 kg/m², flessibilità a freddo -10°C, stabilità di forma a caldo >120°C, carico di rottura a trazione long. 800 N/5 cm, trasv. 370 N/5 cm, allungamento a rottura long. 30%, trasv. 50%) allo scopo sia di proteggere il manto impermeabile sia per assolvere il compito di supporto poroso per la successiva adesione del collante (o d'altro impasto indicato dalla D.L.) delle nuove piastrelle di rivestimento. La procedura terminerà con la posa in opera del pavimento precedentemente smontato ovvero con elementi nuovi, se quelli originali non potranno essere recuperati, indicati negli elaborati di progetto; particolare cura dovrà essere eseguita nella sigillatura delle fughe (di norma non dovranno superare i 3 mm) con impasto indicato dagli elaborati di progetto, in alternativa si potrà utilizzare una boiaccia liquida a base di cemento bianco (eventualmente pigmentato con ossidi colorati massimo 10%) con l'eventuale aggiunta di lattice acrilico al fine di conferire un minimo d'elasticità alla boiaccia.

Avvertenze: durante la procedura (in special modo dopo l'asportazione del massetto di pendenze o dopo la prima mano d'impermeabilizzante) sarà sempre necessario (anche in estate) predisporre idonee protezioni temporanee della zona d'intervento al fine di evitare eventuali infiltrazioni d'acqua (nei vani sottostanti) causate da precipitazioni piovose.

6.1.7.3.3 Impermeabilizzazione corticale di copertura piana

La procedura sarà rivolta a quelle coperture che necessiteranno di operazioni di impermeabilizzazione corticale così da, ripristinare la tenuta all'acqua ed eliminare le eventuali infiltrazioni ai vani sottostanti, la procedura operativa seguirà quella descritta per l'impermeabilizzazione delle terrazze da eccezione di alcuni passaggi.

6.1.7.3.3.1 Preparazione del piano di posa

Rimozione della vecchia guaina (per vecchia s'intenderà che abbia perso gli oli plastificanti), e d'eventuali depositi superficiali, successivo ciclo di pulitura con acqua in pressione della superficie da trattare allo scopo di rimuovere sporco, polvere e qualsiasi altra sostanza estranea (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto all'articolo sulla pulitura mediante macchina idropulitrice).

6.1.7.3.3.2 Impermeabilizzazione

Previa posa in opera di eventuale profilo prefabbricato di arrotondamento dello spigolo fra piano orizzontale e verticale o esecuzione di un guscio di malta con le medesime funzioni, si procederà a stendere su tutte le superfici da impermeabilizzare una mano di primer a base di bitume ossidato e solventi in ragione di circa 300 g/m², applicato a

pennello, rullo o a spruzzo. Successivamente si applicherà lo strato di impermeabilizzazione, costituito, secondo gli elaborati di progetto da una membrana bitume-polimero elastoplastomerica dello spessore minimo di 4 mm, armata con tessuto non tessuto di poliestere da filo continuo, caratteristiche medie: flessibilità a freddo di -15°C, carico a rottura long. 970 N/5 cm e trasv. 690 N/5 cm, allungamento a rottura long. 45 % e trasv. 48 %. L'applicazione dei teli sarà effettuata in totale aderenza per sfiammatura con cannello a gas propano, a cavallo delle giunzioni dell'isolante termico, con sovrapposizioni minime laterali di 10 cm e di testa di circa 15 cm, saldate a fiamma, inoltre, la membrana, dovrà anche essere risvoltata sugli eventuali piani verticali (ad es. muretti di colmo, parapetti ecc.) per almeno 10 cm oltre il livello della finitura prevista, e dovrà essere incollata a fiamma.

Lo strato di protezione sarà costituito (se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto) da una seconda membrana bitume-polimero elastoplastomerica dello spessore di 4 mm, armata con tessuto non tessuto di poliestere da filo continuo e rivestita con scaglette d'ardesia (di colore variabile secondo le disposizioni di progetto), avente una flessibilità a freddo di -15 °C, carico a rottura long. 930 N/5cm e trasv. 720 N/5cm, allungamento a rottura long. 45 % e trasv. 50 %. Anche questa membrana sarà applicata a fiamma in totale aderenza sullo strato sottostante, ma a teli sfalsati di 50 cm rispetto a questo; le sovrapposizioni lungo l'apposita banda di sormonto saranno saldate a fiamma. La membrana ardesiata dovrà, infine, essere risvoltata sugli eventuali piani verticali per almeno 20 cm oltre il livello previsto per le acque e dovrà essere incollata a fiamma.

Le eventuali testate di muretti di colmo, parapetti, cornicioni ed aggetti dovranno essere protette da idonea scossalina sommitale in lamiera zincata (spessore 8/10) e verniciata nel colore scelto dalla D.L. (in alternativa, specialmente in ambiente marino dove sarà consigliabile evitare lamierini zincati, si potrà utilizzare altri materiali metallici facilmente lavorabili come il rame, il piombo), ancorata alla struttura e successivamente ripiegata seguendo il profilo da ricoprire.

La lamiera sagomata dovrà presentare risvolti a gocciolatoio e dovrà essere fissata alla muratura con perni e grappe in ottone da inghisare nella muratura tramite idonei sigillanti elastomerici.

Nel caso l'elemento da proteggere sia di notevoli dimensioni ovvero presenti una curvatura complessa sarà opportuno eseguire dei tagli al fine di far seguire l'andamento dell'elemento alla protezione; le varie parti dovranno, comunque, essere sovrapposte e fissate con l'aiuto di graffette.