



**B.6) Sistemi realizzativi dei nuovi solai di piano**

**6.1 CRITERI PER IL RESTAURO ED IL CONSOLIDAMENTO**

Il rapporto fra consolidamento e restauro (o, se si vuole, conservazione) non è quello di un affiancamento alla pari ma della parte in relazione al tutto oppure, secondo altri, è un rapporto di 'sussidiarietà' ma, pure in tal caso, la questione non cambia. Il consolidamento, in effetti, rientra a pieno titolo nel restauro. Esso, tuttavia, non è disciplina ancillare o al servizio del restauro ma ne costituisce uno dei possibili modi tecnici d'estrinsecazione. Restauro da intendere in un'accezione critica, oppure conservativa o anche 'critico-conservativa', ma che progredisce secondo aggiornati principi 'filosofici', in ragione degli sviluppi della contemporanea coscienza storica e delle relative concezioni estetiche, della feconda apertura ai portati della 'cultura materiale', delle sempre più raffinate ed efficaci tecniche archeometriche d'interrogazione dei materiali 'autentici' antichi. Né si tratta di scelta fra il partito delle tecniche tradizionali o quello delle tecniche innovative, come spesso sembra, ma di progettazione consapevole del restauro e della sua conseguente traduzione in cantiere. Si tratta di 'storicizzare le tecniche' e, più in generale, lo stesso approccio ai problemi tecnici; di studiare il caso concreto, sempre unico e irripetibile, come lo sono, d'altronde, i monumenti, anche quelli apparentemente più simili; ciò per selezionare e individuare 'criticamente' le tecnologie e le modalità d'intervento più adatte allo scopo. Si tratta anche di conoscere e padroneggiare tali tecniche a tutto campo, da quelle più antiche alle modernissime (si pensi all'uso del titanio, delle fibre di carbonio ecc.) sapendole scegliere in funzione delle circostanze. Né si creda che alcune, le tradizionali, abbiano di per sé maggiore innocenza delle altre; a tale riguardo basti riflettere sull'invasività di un'operazione come il cucì e scucì, certe volte, comunque, benemerita. Si tratta non di schierarsi ma di saper mantenere la propria libertà di scelta coltivando le capacità di giudizio. Il rischio non sta, infatti, nelle tecniche in sé ma nella mano e nell'insufficiente intelligenza, preparazione e cultura del restauratore, architetto o ingegnere che sia. È necessario possedere serie capacità diagnostiche e un metodo sicuro i quali richiedono, più che una ricca e aggiornata strumentazione, l'unione di sensibilità storico-tecnica, preparazione scientifico-tecnica e matura esperienza. Da un serrato approfondimento diagnostico, infatti, possono emergere soluzioni ben calibrate e appropriate, fondate sia sulle tecniche moderne sia sulle tradizionali, assunte *in toto* o anche ottimizzate.

**Diagnostica strutturale.** Il progetto di consolidamento, finalizzato al raggiungimento di adeguati livelli di sicurezza, è parte integrante del più generale progetto per la conservazione del monumento. I metodi da applicarsi saranno, pertanto, quelli indicati da una ragionata metodologia del restauro, sia per la definizione delle finalità dell'intervento sia come prassi operative. Saranno, quindi, analizzate in via preliminare le risultanze delle indagini conoscitive sullo stato di fatto del monumento, per definire le anomalie rispetto al corretto funzionamento statico dell'opera e individuare le cause primarie degli eventuali dissesti. Solo attraverso questo *iter* conoscitivo si potrà delineare un primo quadro d'interventi e sarà davvero possibile, in seguito, agire sulla fonte delle patologie, operando quindi con l'obiettivo del minimo intervento e con la massima efficacia. Questa metodologia è basilare per rispondere in modo realistico alla raccomandazione di principio sulla 'reversibilità', sul 'minimo intervento' e sulla 'non invasività'. Ciò spiega la particolare attenzione che sarà riservata alla più approfondita e dinamica definizione delle indagini conoscitive. Queste non possono esaurirsi nella programmazione iniziale ma devono adeguarsi all'evoluzione della conoscenza in modo tale da costituire essa stessa come fase di progettazione, in quella complessa opera di convincimenti, intuizioni e, anche, di negazioni di quanto ipotizzato e creduto inizialmente. Le idee progettuali sono, infatti, in essere già nella fase dell'esecuzione delle indagini, tanto da trovare una configurazione, almeno concettuale, col concludersi di queste. In altre parole, la progettazione finalizzata per sanare le patologie presenti nell'opera, man mano che le indagini forniscono nuove informazioni o confermano quelle previste, subisce correzioni di rotta e integrazioni, in un dualismo concorde tra risultati conoscitivi e proposte progettuali. Le indicazioni fornite dal documento preliminare sulla



**B.6) Sistemi realizzativi dei nuovi solai di piano**

consistenza strutturale del vecchio istituto carcerario lasciano sperare in un giudizio positivo sulla stabilità del complesso o, almeno, sul possibile raggiungimento del livello di sicurezza richiesto dalle future esigenze funzionali.

**6.2 APPROFONDIMENTI DI INDAGINE SULLO STATO DI CONSISTENZA DEI SOLAI ESISTENTI**

Dalle relazioni illustrative e dagli elaborati grafici del progetto esecutivo emergono differenti tipologie di solaio riassumibili in:

Tipo 1. Solaio latero cementizio con travetti prefabbricati e tavelloni;

Tipo 2. Solaio latero cementizio gettato in opera;

Tipo 3. Solaio latero cementizio con travetti prefabbricati e tavelloni sovrapposto ad un solaio latero-cementizio gettato in opera;

Tipo 4. Solaio in legno con orditura primaria, secondaria e impalcato in legno;

Tipo 5. Solaio in legno mono-orditura con impalcato a tavelloni.

Le informazioni e i dati tecnici contenuti nel progetto esecutivo non sono sufficienti per eseguire una valutazione preliminare sulle prestazioni meccaniche dei solai esistenti, risulta pertanto inevitabile un approfondimento diagnostico per la verifica delle caratteristiche geometriche e materiche delle strutture. In prima istanza si rende necessario il rilievo

geometrico dettagliato di tutti gli elementi e delle sezioni resistenti definendo, in modo preciso, le prestazioni meccaniche degli orizzontamenti. Per ciò che concerne i solai latero-cementizi si rendono necessari dei saggi puntuali su travetti prefabbricati, gettati in opera e sulle solette in CA per constatare in modo preciso gli spessori e l'entità delle armature. Per i solai di tipo ligneo, dopo il rilievo delle caratteristiche geometriche, si procede, per gli elementi maggiormente degradati o particolarmente compromessi dalle deformazioni ad un'indagine diagnostica di tipo strumentale in modo da poter delineare con maggiore sicurezza le capacità meccaniche e valutare un eventuale recupero. Acquisite le caratteristiche geometriche e la conoscenza della qualità e quantità dei materiali, sarà possibile procedere mediante verifiche statiche, calcolando quindi la capacità portante degli attuali solai esistenti rispetto alle sollecitazioni di progetto. Di conseguenza sarà possibile valutare la conservazione il consolidamento e l'eventuale sostituzione dei solai verificati. Qualora dopo la fase di rilievo e calcolo statico non si disponga di dati sufficienti per l'individuazione delle prestazioni meccaniche delle strutture, si opererà per l'esecuzione di particolari prove di carico:

- prova di carico distribuito; - prova di carico concentrato; - prova di carico dinamica.

**OBIETTIVO:** verifica del comportamento deformativo dell'elemento strutturale, sottoponendolo a carichi di prova di intensità tale da indurre, simulando le azioni variabili di esercizio, le massime sollecitazioni previste a progetto.

**PROVA DI CARICO STATICA:** prova di carico statica con serbatoio: simulazione delle azioni variabili di esercizio mediante carico uniformemente distribuito generato dall'acqua contenuta in un serbatoio con capacità massima di 750 daN/mq. Prova di carico statica a tiro: simulazione delle azioni variabili di esercizio mediante carichi concentrati generati dalla pressurizzazione di martinetti idraulici a tiro con capacità di 10 t/cad. (Immagine 1)

**MISURA DEGLI SPOSTAMENTI:** per ciascun incremento di carico la lettura degli spostamenti viene eseguita mediante aste telescopiche dotate di trasduttore rettilineo di posizione di tipo potenziometrico, collegato a centralina di visualizzazione. In aggiunta si utilizzano anche flessimetri snodati a filo invar con comparatore centesimale.(Immagine2)

**LIMITI DI ACCETTABILITA':** salvo il raggiungimento del carico equivalente di progetto, durante la prova la determinazione del carico limite applicabile viene effettuata sulla base di 3 parametri: linearità, ripetibilità e permanenza. Il carico viene incrementato fino al raggiungimento di uno dei seguenti fattori:

- carico di prova equivalente a quello di progetto;

- Freccia pari a quella massima prevista a progetto;



**B.6) Sistemi realizzativi dei nuovi solai di piano**

- Linearità = 85%, intendendo per linearità il rapporto percentuale tra le tangenti alla curva di isteresi passanti per i punti corrispondenti all'ultimo e al primo carico;
- Ripetibilità = 95%, intendendo per ripetibilità il rapporto percentuale tra i valori della freccia di due cicli consecutivi, a parità di carico;
- 5 - Permanenza = 5%, intendendo per permanenza il rapporto percentuale tra la freccia residua e la freccia massima, per ogni ciclo di carico.



**Immagine 1**



**Immagine 2**

PROVA DI CARICO DINAMICA: l'indagine consente di valutare il rapporto tra le rigidità dei solai aventi la stessa tipologia di struttura portante e grado di vincolo simile. L'obiettivo è quello di classificare i solai di un intero edificio in gruppi omogenei dal punto di vista della rigidità flessionale. Una volta identificati i solai rappresentativi di tali gruppi omogenei, si potrà procedere su di essi ad una prova di carico statica, i cui risultati potranno essere estesi ai solai del gruppo. Per ogni solaio si prevede:

- generazione di un'oscillazione mediante percussione a massa battente di impulso;
- rilievo delle vibrazioni smorzate attraverso un accelerometro triassiale posto sul solaio;
- 25 - elaborazione dei dati con interpretazione mediante la teoria dell'elasticità: analisi in frequenza dei segnali accelerometrici in trasformata di Fourier e individuazione della frequenza del primo modo di vibrare;
- analisi numerica del comportamento dinamico del solaio con stima del fattore  $f^2L^4 = k EJ$  essendo  $f$  la prima frequenza libera,  $L$  la luce,  $E$  il modulo elastico,  $J$  il momento d'inerzia e  $k$  una costante di proporzionalità. Eseguito il rilievo su tutti i solai, è possibile ordinarli in base alla rigidità flessionale e suddividerli in gruppi omogenei.

IDENTIFICAZIONE DINAMICA DEI SOLAI: conoscendo in modo dettagliato i pesi, la geometria e le caratteristiche dei materiali, la prova di identificazione dinamica consente di acquisire informazioni in merito alla rigidità, al modulo elastico e al grado di vincolo della struttura da analizzare. Attraverso acquisizioni dinamiche, eseguite con accelerometri triassiali collocati in posizione opportuna sui solai, si determina tramite la trasformata rapida di Fourier lo spettro di risposta in frequenza. Da quest'ultimo si ricavano i valori sperimentali delle frequenze dei primi modi di vibrare. Successivamente, viene creato un modello numerico agli elementi finiti, simulando il comportamento strutturale e studiando la risposta nei confronti di una eccitazione dinamica. Il continuo confronto tra l'analisi teorica e quella sperimentale consente di affinare sempre più il modello numerico, fino alla sua ottimizzazione, ossia fino alla restituzione delle stesse frequenze e degli stessi modi di vibrare rilevati sperimentalmente. Raggiunta una soddisfacente corrispondenza tra il comportamento dinamico sperimentale e analitico, si individuano le grandezze caratteristiche equivalenti, con le quali è possibile eseguire il calcolo statico.



## B.6) Sistemi realizzativi dei nuovi solai di piano

### 6.3 METODOLOGIE DI INTERVENTO

Le metodologie esistenti per il raggiungimento delle prestazioni richieste sono molteplici, in ogni caso, essendo l'atteggiamento che si vuole perseguire quello della massima conservazione, a parità di prestazione, si propenderà per la soluzione che permetta il recupero dei solai esistenti ormai storicizzati, limitando il più possibile l'introduzione di nuove strutture. Di conseguenza, nell'ipotesi che le verifiche statiche e le prove di carico attestino che i solai esistenti, non abbiano capacità meccaniche soddisfacenti per le prestazioni richieste dalle nuove funzioni, si prenderà in considerazione l'idea di intervenire in due differenti modi:

- consolidamento dei solai giudicati staticamente recuperabili e architettonicamente compatibili;
- costruzione o ricostruzione di solai in legno, qualora si presenti la necessità di creare un solaio ex-novo o qualora non ci siano le condizioni per il recupero del solaio esistente.

Per i solai Tipo 1 e Tipo 2, qualora si renda necessario, è possibile il recupero attraverso operazioni di consolidamento che verranno illustrate nel paragrafo seguente. Per i solai di Tipo 3, venendo considerati staticamente inaccettabili, provocando una variazione di quota del piano di calpestio ed essendo architettonicamente incongrui, è prevista la demolizione con ricostruzione di solaio in legno. I solai della stessa tipologia che rappresentano il piano di arrivo dei due corpi scala dell'edificio, verranno demoliti e ricostruiti, per esigenze di tipo esecutivo, in carpenteria metallica essendo sia i vani ascensore che i corpi scala realizzati in acciaio. I solai realizzati in legno di Tipo 4 (con doppia orditura e impalcato in legno) ad una prima analisi visiva sembrano in buono stato di conservazione si opterà pertanto, nel caso le verifiche statiche e le prove di carico diano esiti negativi, per interventi di consolidamento e di recupero.

Il solaio di Tipo 5 (mono-orditura e impalcato in laterizio) sembra in cattivo stato di conservazione e data l'esigua entità della superficie che sviluppa, si propone una demolizione con ricostruzione di solaio in legno come esplicitato nelle tavole allegate.

### 6.4 TECNICHE DI CONSOLIDAMENTO DEI SOLAI LATERO CEMENTIZI

La tipologia di consolidamento da utilizzare sia per i solai prefabbricati che per quelli gettati in opera è la stessa e si divide in due operazioni:

1. incremento della capacità di resistenza flessionale dei singoli travetti, dato l'aumento dei sovraccarichi causato dalla destinazione ad uffici pubblici;
2. incremento della rigidità di piano e della resistenza all'azione di carichi concentrati data l'esigenza di voler creare orizzontamenti rigidi in grado di opporsi alle sollecitazioni sismiche e data la possibile presenza di carichi concentrati.

#### 1-INCREMENTO DELLA RESISTENZA FLESSIONALE

Per entrambi i solai latero-cementizi sia prefabbricati che gettati in opera, è possibile aumentare notevolmente le capacità di resistenza flessionale applicando all'intradosso dei travetti una fascia di materiale composito (FRP) formata da lamine pultruse di carbonio e resine epossidiche. La tecnologia utilizzata è altamente evoluta, non invasiva e dalle elevatissime caratteristiche meccaniche particolarmente idonea per gli interventi di consolidamento statico, riabilitazione strutturale, miglioramento ed adeguamento sismico. L'applicazione per i solai gettati in opera prevede la scarificazione dell'intonaco di intradosso in corrispondenza del travetto, la posa di uno strato di malta cementizia per omogeneizzare la base del travetto da consolidare e l'applicazione delle lamine in carbonio e resine epossidiche. Per i solai composti da travetti prefabbricati e tavelloni valgono le stesse prescrizioni. Naturalmente tutte le operazioni di consolidamento verranno eseguite a struttura semi-scarica ovvero applicando una piccola controfreccia a mezzo di un sistema di puntellamento e così facendo, sarà possibile scaricare il solaio dalle sollecitazioni del peso proprio trasferendolo, al momento del disarmo, alle fibre di carbonio opportunamente dimensionate.



**B.6) Sistemi realizzativi dei nuovi solai di piano**



5

10 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) ha emanato alcuni documenti in cui sono contenute le Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati. Tali documenti, che rappresentano le linee guida di riferimento per il settore:

- CNR DT 200/2004 - Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati, Materiali, strutture in c.a. e in c.a.p., strutture murarie.

15

I vantaggi degli FRP sono molteplici: leggerezza, elevate proprietà meccaniche, caratteristiche anticorrosive. Inoltre i compositi si adattano bene anche ad applicazioni in cui è necessario preservare le caratteristiche estetiche della struttura originaria (edifici di interesse storico o artistico) o in casi in cui i rinforzi tradizionali sarebbero di difficile applicazione per limitatezza dello spazio a disposizione. Gli FRP garantiscono eccezionali risultati in termini di sicurezza, riducendo al minimo i problemi di invasività e di ingombro garantendo la totale reversibilità. **VANTAGGI:**

20

Elevate proprietà meccaniche; Direzionalità del rinforzo; Grande adattabilità di forma; Bassissima invasività; Progettabilità; Modesta riduzione di resistenza nel tempo; Minimo ingombro; Elevate caratteristiche anticorrosive; Reversibilità dell'intervento; Leggerezza dei materiali con ininfluente incremento delle masse.

**2-INCREMENTO DELLA RIGIDEZZA E RESISTANZA A SOLLECITAZIONI CONCENTRATE**

25

Nel caso in cui, dopo le prime indagini diagnostiche, si verifica che le solette di calcestruzzo dei solai latero-cementizi esistenti non hanno uno spessore sufficientemente consistente, non sono dotate di armatura e il materiale impiegato possiede caratteristiche qualitative disomogenee, si propone un intervento di consolidamento dell'estradosso del solaio. Le esigenze di tipo strutturale sono quelle di migliorare prima di tutto la resistenza al punzonamento provocato dai carichi concentrati, quelle di formare dei piani rigidi in grado di distribuire uniformemente le sollecitazioni sismiche sulle murature ed al contempo di collegarle e non ultime quelle di utilizzare un materiale e apprestamenti tecnici in grado di garantire solidarietà tra la soletta in calcestruzzo esistente e le parti consolidanti, il tutto senza alterare gli schemi statici e incrementare eccessivamente i pesi. Le esigenze di tipo architettonico invece, sono quelle di non alterare le quote del piano di calpestio, quelle di utilizzare interventi non invasivi e compatibili con i materiali propri del solaio e quelle di far fronte ad esigenze di durabilità in particolare di evitare fenomeni di tipo corrosivo (vedi la ruggine delle armature). A tal fine si propone un consolidamento attraverso una cappa sottile realizzata con calcestruzzo ad alta resistenza, additivato (superfluido) e fibrorinforzato, ove le fibre riescono, in modo tecnologicamente "facile" ed economico, ad aumentare la tenacità del materiale (macrofibre metalliche), a regolarizzarne il processo fessurativo (microfibre metalliche e inorganiche), e a diminuirne la sensibilità alle variazioni di temperatura (fibre polimeriche), alla fatica ed ai carichi impulsivi (fibre metalliche). I vantaggi dell'applicazione dei nuovi materiali fibro-rinforzati e polimero-modificati nell'adeguamento sismico e nel rinforzo di solai in laterocemento con cappa collaborante sono:

40



**B.6) Sistemi realizzativi dei nuovi solai di piano**

- Duttilità ed elevata energia di frattura;
- Resistenza ai carichi ciclici (es: azione sismica);
- ELEVATE resistenze con bassi spessori applicativi (10-15mm);
- Resistenza a trazione senza necessità di introdurre armatura aggiunta ;
- 5 • Elevata adesione al supporto esistente senza necessità di connettori o resine;
- Limitato incremento dei carichi;
- Incremento della portanza unita a una riduzione della freccia dell'impalcato.

**FINALITÀ DELL'INTERVENTO**

10 Sia le esigenze strutturali che quelle architettoniche sopra riportate, sono ampiamente soddisfatte proponendo il consolidamento tramite una cappa realizzata con un materiale altamente performante che avendo uno spessore di soli 20 mm sia in grado di offrire condizioni di rinforzo migliorative rispetto ad un intervento con tradizionale calcestruzzo, minimizzando i carichi aggiuntivi gravanti sulle solette esistenti.

15 Per ottenere tali risultati si propone di utilizzare un micro-calcestruzzo, fibro-rinforzato e polimerizzato realizzato con un prodotto tipo REFOR-tec GF5 ST formulato cementizio tricomponente della serie REFOR-tec che unisce la reologia autolivellante ad eccezionali valori fisico-meccanici e di duttilità .

**Caratteristiche tecniche REFOR-tec GF5 ST**

Tempo di lavorabilità	1 h
Pedonabilità	12 h a 20 °C
Agibilità a traffico leggero	24 h a 20 °C
Agibilità con massime sollecitazioni	3 gg. a 20 °C
Densità	2.450 Kg/m3
Resistenza alla compressione	130 MPa
Resistenza alla trazione diretta	8,5 MPa
Resistenza alla flessotrazione	32 MPa
Resistenza al taglio	16 MPa
Modulo Elastico	38 GPa
Energia di frattura	32.500 N/m
Ritiro endogeno	< 0,05 %
Profondità di carbonatazione	0



20

25

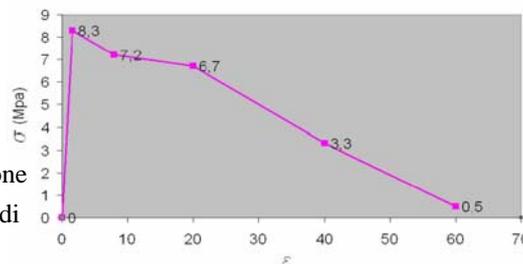


Diagramma caratteristico del materiale: tensione/deformazione

l'integrale dell'area sottesa alla curva rappresenta l'energia di frattura del materiale: si può osservare l'elevata duttilità del

30 materiale fibrorinforzato rapportata alla duttilità quasi nulla del calcestruzzo tradizionale.

VERIFICHE DI ADESIONE AL SUPPORTO: Per un'adeguata collaborazione strutturale della soletta realizzata con Refor-Tec GF5 ST con i solai esistenti, è fondamentale la corretta adesione al supporto . Si consiglia quindi di effettuare in via preliminare un campo prova di circa 4 metri quadri su cui verificare a posteriori, l'adesione dello strato di rinforzo al supporto mediante prove a strappo. L'efficacia dell'adesione alla soletta in calcestruzzo del solaio è comunque dimostrabile a priori, attraverso prove già eseguite in altre applicazioni. Si riportano i valori riscontrati in

35

casì analoghi in cui è stata eseguita una prova in sito, delimitando un campo di prova e testando le seguenti ipotesi:

1. Connettori con radici in microcalcestruzzo , ricavate tramite semplice carotaggio;
2. Connettori metallici (carotaggio);
3. Senza connettore (supporto sabbato e idropulito);
- 40 4. Senza connettore (supporto solo idropulito).



**B.6) Sistemi realizzativi dei nuovi solai di piano**

A STAGIONATURA AVVENUTA, PROVE A STRAPPO PER LA VERIFICA DI ADESIONE AL SUPPORTO



RISULTATI DELLE PROVE A STRAPPO PER LA VERIFICA DI ADESIONE AL SUPPORTO

Valori medi delle resistenze allo strappo in funzione del supporto	
Tipologia di supporto	Medie Resistenza allo strappo (MPa)
zona con connettore in microcalcestruzzo	2,00 ± 1,1
zona senza connettore, sottofondo sabbiato ed idropulito	1,30 ± 0,2
zona con connettore metallico	> 2,14 ± 0,1
zona senza connettore sottofondo solo idropulito	1,44 ± 0,2

TIPO DI ROTTURA NELLE PROVE A STRAPPO PER LA VERIFICA DI ADESIONE AL SUPPORTO:



In tutti i casi, a prescindere dal tipo di preparazione del supporto, si è osservato il cedimento del supporto. L'adesione del REFOR-tec GF5 è garantita a prescindere dal tipo di supporto, non è necessaria sabbatura o scarifica. Nel caso di supporti molto degradati la radice in REFOR-tec-GF5 può aumentare la resistenza finale a strappo, scongiurando il rischio di delaminazione.

FASI DI APPLICAZIONE: 1. preparazione del supporto attraverso scarifica sufficiente ad ottenere un supporto scabro e privo di parti incoerenti; 2. aspirazione della polvere superficiale; 3. idrolavaggio del supporto con acqua; 4. eliminazione dell'acqua in eccesso in superficie; 5. posa mediante colata di 2 cm di Refor-Tec GF5 ST; 6. prevedere leggera saggatura delle superfici; 7. applicazione sul fresco di curing antievaporante CURING COMPOUND UR 19 o in alternativa protezione con teli in polietilene.



2011/2006 polvere 1



2011/2006 acqua 2



2011/2006 idropulitura



2011/2006 fibre 3



2011/2006 additivo 4



2011/2006 getto e staggiatura



2011/2006 posa di antievaporante



**B.6) Sistemi realizzativi dei nuovi solai di piano**

**6.5 TECNICHE DI CONSOLIDAMENTO DEI SOLAI IN LEGNO**

Premesso che la decisione di intervenire e la scelta di come intervenire sono subordinate ai risultati delle spedizioni diagnostiche, i criteri generali di consolidamento per i solai da recuperare possono essere ricondotti a quattro famiglie:

*Rinforzi:* per rinforzo si intende una tecnica che si applica nei casi in cui la struttura lignea si trovi ancora in uno stato di conservazione buono, ma che per sopravvenute esigenze di carattere strutturale non sia più in grado di sostenere l'aumento di carico.

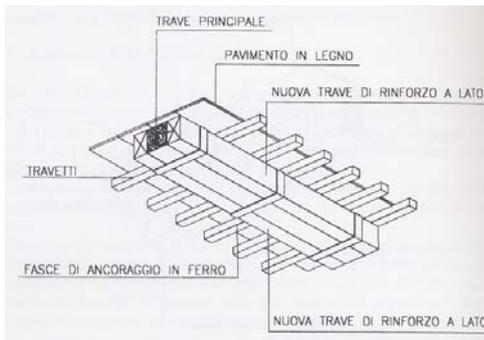
*Sostituzioni e affiancamenti:* a volte si presentano situazioni in cui la conservazione della struttura lignea è definitivamente compromessa e l'unica strada percorribile è quella della sostituzione totale o a volte anche parziale della struttura, ad esempio sostituendo un numero limitato di travi, oppure quella di affiancare la struttura originaria con un'altra che svolge le funzioni statiche mentre quella originale rimane solo per considerazioni estetiche o di memoria storica.

*Interventi sugli appoggi:* in corrispondenza degli appoggi alla muratura, come più volte ricordato, si creano condizioni tali per cui con maggior probabilità si riscontrano fenomeni di degrado delle testate e nasce la necessità di mettere in sicurezza tali elementi.

**Tecniche per il rinforzo dell'elemento strutturale**

Per rinforzo si intende una tecnica che si applica nei casi in cui la struttura lignea si trovi ancora in uno stato di conservazione buono, ma che per sopravvenute esigenze di carattere strutturale non sia più in grado di sostenere l'aumento di carico.

***Applicazione di una o due travi in legno in adiacenza a quelle da consolidare***

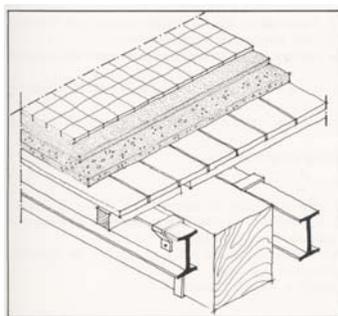


Un aumento di carico o un invecchiamento fisiologico del materiale possono consigliare un intervento di ripristino o di aumento delle capacità portanti di una o più travi che può essere realizzato applicando una o due travi in adiacenza a quella da consolidare. Le nuove travi ausiliarie possono essere di legno naturale, con sezione rettangolare. L'insieme è reso solidale con bulloni orizzontali passanti. L'intervento è realizzabile dal basso e comporta una modifica nell'aspetto della struttura.

Il posizionamento di tali travi richiede che vengano preventivamente realizzati dei fori nella muratura, in adiacenza alla trave da consolidare.

La predisposizione dei vani di alloggiamento delle travi prevede la realizzazione di idonei accorgimenti che preservino le testate dall'umidità. Una volta posizionati gli elementi lignei di rinforzo negli appositi alloggiamenti, vengono eseguiti i fori in corrispondenza agli elementi da consolidare, quindi si inseriscono i bulloni e si serrano i relativi dadi.

**Irrigidimento della struttura portante con profilati metallici in aderenza.**



Tale tecnica consiste nell'inserire nuove travi metalliche in aderenza alla trave in legno esistente; le nuove travi sono rese solidali a quelle in legno mediante cravatte metalliche. Questa tecnica è consigliabile quando la sezione resistente della trave risulta insufficiente ma non si può provvedere alla sua sostituzione. I profilati richiedono però la sostituzione parziale dell'eventuale controsoffitto e, se questo rimane a vista, alterano l'aspetto intradossale del solaio. Le fasi di realizzazione di questo intervento richiedono la creazione di puntelli che tendono a privare temporaneamente la travatura della sua funzione portante, scaricandola su un piano di

appoggio inferiore. Dopo aver anche installato i ponteggi si passa all'esecuzione nella muratura degli alloggiamenti per



## B.6) Sistemi realizzativi dei nuovi solai di piano

le teste delle putrelle, ai lati della trave esistente, e all'esecuzione dei fori necessari sulla trave in legno per l'introduzione dei bulloni. Servendosi di un montacarichi le putrelle vengono innalzate fino alla quota di intervento e disposte nei vani di alloggiamento ricavati nella muratura. Questi elementi sono poi collegati alla travatura da consolidare mediante opportune cravatte metalliche fissate per mezzo di bulloni. Si devono poi ricomporre i buchi realizzati nella muratura per gli alloggiamenti delle nuove travi e poi si procede alla finitura del muro. Infine si disattivano i puntelli e i ponteggi.

### Inserimento di un tirante metallico

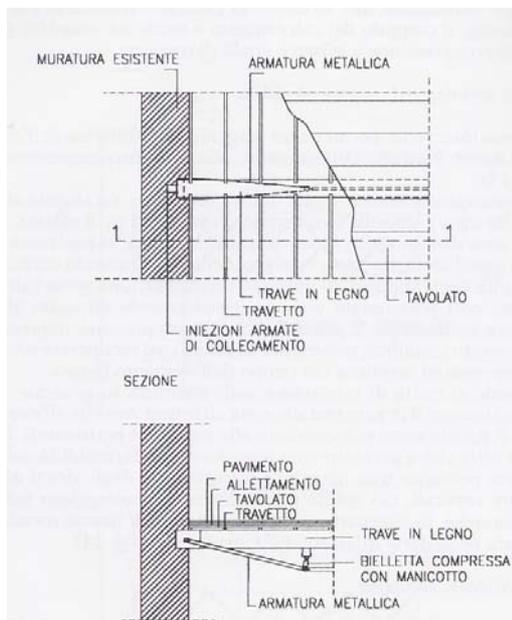
Questo intervento permette un maggior irrigidimento dell'elemento ligneo e un suo collegamento alla muratura perimetrale. Si può intervenire sul singolo elemento e ciò comporta il posizionamento del tirante metallico nella parte inferiore della trave, avendo cura, in prossimità degli appoggi, di imporgli un'angolazione verso l'alto. Il tirante così posizionato viene successivamente ancorato alla muratura perimetrale. E' possibile, tramite un pretensionamento dell'elemento metallico, prevenire e in taluni casi recuperare depressioni acquisite con il tempo dall'elemento ligneo. Quando si tratta di intervenire sulla struttura in generale, si può posizionare il tirante metallico sia all'intradosso che all'estradosso. Il tirante viene poi vincolato alle murature perimetrali. Tale tecnica oltre a garantire una maggiore indeformabilità della struttura, permette una maggior trasmissione degli sforzi alle strutture verticali e ciò risulta particolarmente vantaggioso nelle zone sismiche.

### Tecniche di ricostruzione dell'elemento strutturale

Intendiamo con ricostruzioni tutte quelle tecniche che prevedono una ricostruzione di parte dell'elemento ligneo ammalorato. Nella maggior parte dei casi la ricostruzione riguarda gli elementi sugli appoggi che risultano più soggetti a degrado a causa dell'intimo contatto che queste parti hanno con la muratura. Infatti non è raro verificare l'assenza di accorgimenti idonei all'isolamento del legno da materiali come la pietra, il mattone, il cemento o la mancata realizzazione di semplici griglie di aerazione in corrispondenza delle teste delle travi o di giunti di dilatazione che assecondino il movimento delle stesse. Un'ultima raccomandazione va fatta riguardo la scelta del legno da utilizzare nella ricostruzione. Questo dovrebbero essere della stessa essenza del legno in opera ed essere il più possibile stagionato per avvicinarsi al suo comportamento. Se infatti due legni di provenienza e stagionatura differenti vengono "fatti lavorare insieme" si possono verificare spacchi o dissesti tali da invalidare il lavoro di consolidamento strutturale.

**Tecniche di intervento sugli appoggi.** In corrispondenza degli appoggi alla muratura, come più volte ricordato, si creano condizioni tali per cui con maggior probabilità si riscontrano fenomeni di degrado delle testate lignee. Oltre alla tecnica che prevede la ricostruzione della zona ammalorata con protesi di materiali diversi, un sistema efficace di restauro strutturale è costituito dall'apposizione nella muratura, sotto le teste delle travi, di dispositivi a mensola che riducono la luce libera. In questo modo si ottiene una drastica riduzione delle sollecitazioni interne di trazione e di compressione (in quanto variano con il quadrato della luce) e di conseguenza delle sollecitazioni a taglio.

**6.6 COSTRUZIONE DEI NUOVI SOLAI** Nei casi in cui si renda necessaria la costruzione di un nuovo solaio questo verrà realizzato utilizzando travi e impalcato in legno come esplicitato nei dettagli delle tavole allegate.





**B.6) Sistemi realizzativi dei nuovi solai di piano**

La scelta del legno eventualmente rafforzato da profili metallici, rispetto alla proposte indicate nel progetto esecutivo, viene ritenuta più congrua ai principi del restauro poichè risulta essere un intervento maggiormente compatibile con le rigidzze specifiche della struttura muraria e con la connotazione architettonica dell'intero complesso. Dal punto di vista strutturale sulle travi, è previsto un impalcato con tavolato incrociato che consente la formazione di un piano rigido che supportato da un cordolo metallico perimetrale è in grado di assorbire e distribuire sui setti murari le sollecitazioni sismiche.

**6.7 IL SISTEMA DEI CONTROSOFFITTI** La realizzazione dei controsoffitti è subordinata alla scelte di intervento da eseguire sui solai. Infatti per i solai latero-cementizi in cui si suppone, dopo le dovute verifiche, di intervenire con le tecniche di consolidamento sopra esplicitate, sarà prevista una controsoffittatura non in pannelli ma a superficie liscia continua che consenta di mascherare gli interventi di consolidamento ed al contempo di formare con il solaio un'intercapedine da utilizzare per la distribuzione e l'alloggiamento degli impianti. Per quanto riguarda i solai in legno esistenti e consolidati, è prevista la controsoffittatura sempre utilizzando superfici lisce continue per risolvere il problema degli impianti e conseguire la resistenza al fuoco di cui al DM 22/02/2006. E' prevista infine (vedi tavole allegate) per il solaio che insiste su un vano in prossimità dell'ingresso, la realizzazione di un controsoffitto voltato in cartongesso, per ricostruire la continuità con le volte degli ambienti contigui.

**6.8 FUNZIONALITA' E RISPONDENZA NORMATIVA** Tutti gli interventi che interessano la costruzione o il consolidamento dei solai vengono eseguiti in conformità con la normativa tecnica delle costruzioni e con i regolamenti generali per la redazione di progetti di restauro nei beni architettonici di valore storico-artistico in zona sismica. Nel complesso gli interventi proposti sono in grado di apportare un miglioramento sismico di tutto l'edificio considerando la maggior rigidzza di piano ottenuta con il consolidamento dei solai latero-cementizi e con la realizzazione di solai in legno con doppio tavolato incrociato, cordoli metallici ed eventuali incatenamenti. Altro tema particolarmente delicato è quello del controllo ed del mantenimento delle quote dei solai. Attualmente esiste una quota del piano di calpestio (piano primo) preponderante, ma sono presenti numerosi sfalsamenti che andranno eliminati in fase esecutiva. Per ciò che concerne l'isolamento acustico si rimanda alla relazione b.10. La resistenza al fuoco richiesta dal DM 22/02/06 è R60, per le strutture latero-cementizie è garantita dall' introduzione dei consolidamenti e migliorata dall'inserimento di un controsoffitto in cartongesso.

**6.9 CONSOLIDAMENTO DELLE MURATURE** Dalle prime analisi eseguite a vista nel corso del sopralluogo, lo stato complessivo delle murature dell'edificio non sembra essere compromesso da particolari fenomeni di dissesto, sono presenti fessure superficiali di piccola entità. In ogni caso, si rende necessario uno studio approfondito dell'intero complesso al fine di redigere il quadro dei dissesti e il quadro fessurativo delle strutture murarie, attraverso spedizioni diagnostiche in grado di reperire i dati necessari attraverso l'utilizzo di strumentazioni e verifiche non distruttive.

In caso di lesioni particolarmente profonde la tecnica che si propone per il recupero della muratura è quella del "cuci scuci" in grado di ripristinare la coesione necessaria tra i conci di pietra o di laterizio.

Per una trattazione più analitica si rimanda alla relazione b.7.

35