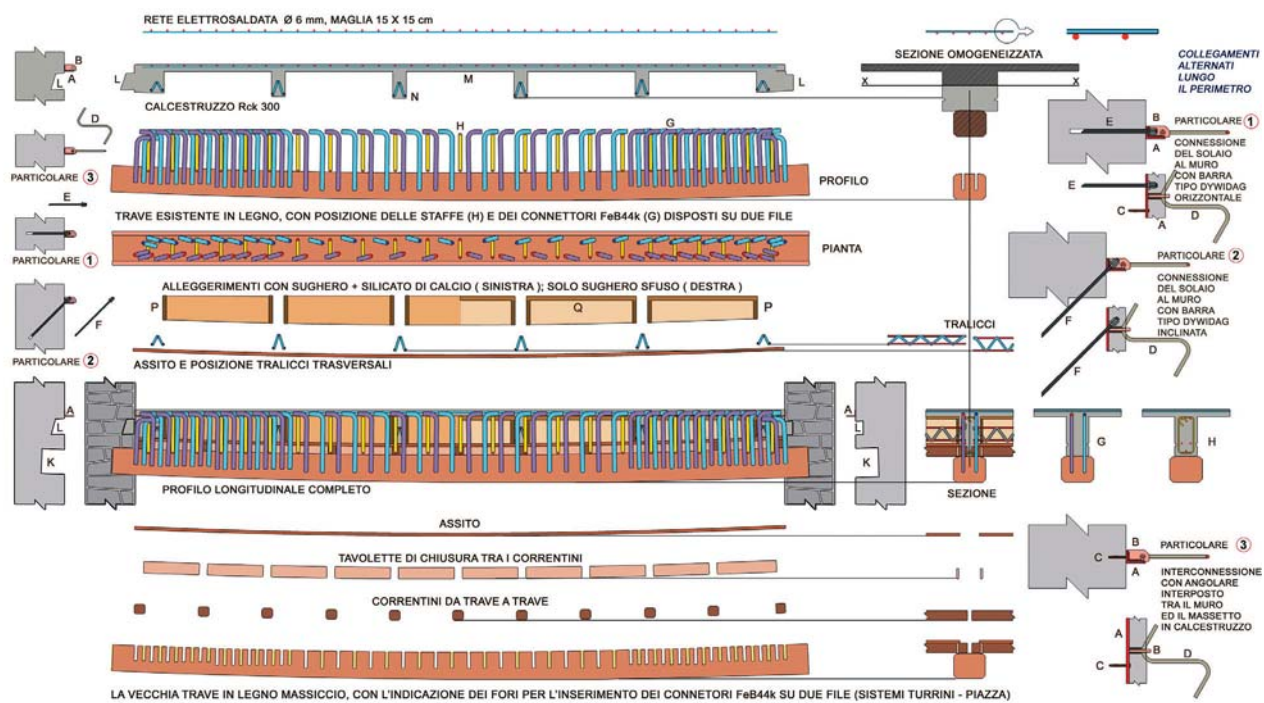




L'immagine mostra una situazione apparentemente sconcertante, comune a tanti edifici datati. Non è così tragico: il solaio è interamente recuperabile, senza rimozioni o sostituzioni di sorta, utilizzando le tecniche CNP (Cenci, Nosedà, Piazza). Non necessita infierire sulle murature esistenti, anzi la riabilitazione statica del solaio agevola il consolidamento dell'insieme strutturale dell'edificio.

E' sufficiente praticare correttamente quelle tecniche consigliate dalle Linee Guida 2006. La determinazione distruttiva dell'esistente è spesso ascrivibile alla scarsa idoneità dei tecnici nel saper espletare un minimo di calcolo statico orientato alla riabilitazione delle strutture.

DUTTILE, LABILE, FRAGILE, TENACE



Progetto di riabilitazione di un vecchio solaio. L'intervento conferisce una capacità portante di 32 KN/m alla trave centrale: quella in primo piano nell'immagine in alto.

A - Angolare in ferro; B - Piatto forato, saldato all'angolare; C - Tasello provvisorio; D - Barra FeB44k per l'aggancio alla rete elettrosaldata; E - Barra orizzontale tipo Dywidag;

F - Barra inclinata tipo Dywidag; G - Connettori FeB44k (Sistema Turrini-Piazza); H - Staffe FeB44k; K - Nicchia originaria di inserimento della trave in legno (resta invariata);

L - Denti in calcestruzzo (aggiungere spezzoni FeB44k per aumentare la resistenza al taglio); M - massetto in calcestruzzo Rck300; N - Nervature trasversali in calcestruzzo;

P - Sponde laterali per il contenimento del sughero o isolante di altro tipo; Q - Chiusura superiore in tavole o compensato, nel caso di isolanti sfusi o in rotolo.

Gli antichi mastri, affatto vanagloriosi, professavano grande sapienza nel costruire ad arte, nonostante la limitatezza dei mezzi disponibili.

Nei secoli passati, certamente si operava in ambiti di necessaria sobrietà. Gelosi del proprio mestiere, anche se obbligati all'affiatamento tra loro, i mastri muratori ed i mastri carpentieri centellinavano l'insegnamento della propria arte, sicché i giovani erano costretti a lunghi tempi di apprendimento. La gradualità formativa infondeva coscienziosità nel ripetere le malizie, necessarie per la preparazione e l'utilizzo dei materiali di base, necessariamente semplici in quei tempi, ma di caro prezzo, che assolutamente non potevano essere sprecati: c'era un enorme divario tra il valore-prezzo dei beni ed i salari, quest'ultimi meno determinanti.

Per evitare sprechi ed il rischio di rifacimenti, il procedere nella costruzione degli edifici importanti e delle ricche

muri. I solai superiori erano in legno, ben essiccato. Le travi lignee ed i travetti dei solai venivano ammorsati al momento delle elevazioni dei muri, giacché il buon senso imponeva che gli orizzontamenti dovessero immediatamente assolvere anche la funzione stabilizzante nei confronti delle murature.

Il successivo avvento dei solai in profilati metallici e voltini in mattoni, non alterò la metodica costruttiva, giacché le putrelle venivano ammorsate tra i corsi delle murature, già al momento della loro formazione. Anzi, questa tecnica, va riconosciuto, era preferibile per la formazione di piani orizzontali stabilizzanti e sofferiva all'unico vero problema del legno, che è quello della sua degenerazione alle estremità inserite in murature umide o imbibite d'acqua.

Parimenti a qualsiasi altro materiale del costruire, anche il cemento armato ha fatto parte della mia formazione,

L'abuso esagerato di affidare ai vocaboli significati impropri, crea confusione ed il possibile insorgere di devianze concettuali.

dimore era rigoroso e pragmatico. Se escludiamo di considerare le catapecchie, si costruiva ragionevolmente bene anche per l'edilizia asserragliata dei borghi, nonostante le tormentate frammentazioni e sovrapposizioni edificatorie e le ristrettezze logistiche.

L'essenzialità delle modalità costruttive, originava quella schiettezza formale, che di per sé era già sinonimo d'arte. Per molti secoli gli abbellimenti e le decorazioni furono applicati direttamente all'elemento costruttivo. In tal modo non veniva offuscata la lettura della concezione strutturale, strettamente determinata dai materiali e dalle necessità d'uso. Spesso si raggiungeva assonanza tra l'aspetto formale e l'impostazione statica e quasi automaticamente derivavano importanti livelli di valenza architettonica. Sovente, proprio perché senza orpelli, si conseguiva immediatamente il vigore architettonico. Detto per inciso, va fatto un distinguo tra *orpelli* e *decorazioni*: essendo quest'ultime degli abbellimenti che non nascondono la *visibilità* degli ordini strutturali e costruttivi.

La solidità degli edifici veniva conseguita con graduali apporti e sovrapposizioni dei materiali, unicamente secondo logiche su come costruire correttamente nel proprio contesto ambientale, in base alla destinazione d'uso, alla necessità dimensionale ed alla disponibilità a spendere.

Gli archi e le volte in pietra o mattoni erano soprattutto una peculiarità dei cantinati e dei piani bassi e l'imposta delle reni avveniva contestualmente all'innalzamento dei

avendolo direttamente praticato per molti anni con successo quand'ero più giovane, anche in realizzazioni impegnative per quei tempi. Poi gli ingegneri aumentarono e si disse basta ai geometri. Così iniziai ad occuparmi del calcolo strutturale del legno. Eravamo in *quattro gatti* a calcolarlo.

Non può disconoscersi che il sovvertimento ai principi generali del buon costruire è iniziato a seguito della diffusione del cemento armato. Le entusiasmanti peculiarità della tecnica del cemento armato hanno certamente contribuito in modo formidabile alla industrializzazione edilizia ed al progresso. Però, l'uso spesso rozzo e disinvolto, soprattutto nella micro-cantieristica, sovente hanno fatto di questo materiale la stampella del mal costruire.

Tanto può essere aggiunto, non solo sul cemento armato, ma anche sulle altre tecniche costruttive. Però da qui in avanti parlo solo di legno e mi riaggancio alla norma UNI 11138, che prese l'avvio come *Uni-Normal GL 2004-U84000430*: è un'ottima impostazione normativa per i manufatti lignei di valore storico, ma ha rischiato di essere male interpretata, se non fosse che fortunatamente nel luglio 2006 sono state proposte le Linee Guida. Andiamo per gradi.

UNI NORMAL GL20/14 era il documento di riferimento sui criteri di valutazione preventiva, la progettazione e l'esecuzione di interventi sui manufatti lignei, messo a punto da un *Gruppo di lavoro*, il *GL20*, all'interno della *Commissione Beni Culturali* dell'UNI.

Tutto bene, se non fosse che già si riscontrano alcuni sconcertanti esempi, che contrastano con le condivisibili enunciazioni del testo. Forse trattasi solo di alcuni sporadici casi, si spera, ma qualche poco lusinghiero esempio attuativo è arrivato anche da chi ebbe modo di partecipare al *Gruppo di Lavoro GL20*. L'osservazione è pertinente, perché la *GL20/14* e gli altri documenti correlati erano negli intenti un gruppo di norme volontarie e rappresentative dello "lo stato dell'arte" italiano per l'intervento sulle strutture in legno. E se gli esempi concessi sono lo stato dell'arte, figurarsi cosa può essere ciò che non merita l'attributo di *stato dell'arte*.

Anticipo le scuse per il paragone che propongo. Al tempo di Pio V, Daniele da Volterra, dopo la scomparsa dell'amichissimo Michelangelo, si prodigò a mettere le braghe ai nudi della Sistina. Si disse che altrimenti il papa avrebbe fatto scrostare l'intero *Giudizio Finale*. Mica tanto meglio oggi, stante la proposizione di *pseudo-motivazioni* poco comprensibili. Che sia ancor vero il detto di bandiera, Spagna o Francia purchè se magna? Un dubbio, certo, però si è già arrivati ad introdurre i *sospensori* a lato delle parti terminali delle travi in legno, nella presunzione che *potrebbero* entrare in esercizio *qualora* la testa del legno dovesse marcire ed inventando così surreali, quanto pretestuose, concettualità di unione *pseudo-plastiche*.

E' possibile portare tantissimi altri esempi. Uno tra questi lo utilizzo per spiegare alcuni concetti. Un caso per tutti è quello riconducibile ad un intervento in un edificio di indiscusso pregio storico. Con l'assunto di ottenere comportamenti duttili ed in nome della non vera superiorità dei sistemi a secco, si è massacrato il legno con fori prossimi ai bordi dei puntoni e delle catene, già in condizioni di *reale fragilità* (ritorniamo a dare un senso giusto alle parole), per l'abbondante presenza di fessure longitudinali, mentre invece era necessario solidarizzare tenacemente tra loro il puntone e la catena. Poi, sono stati infissi dei bulloni che nulla possono, proprio per la concettualità progettuale esplicita. Nella realtà trattasi di connessioni *labili*, ove l'unica resistenza all'azione orizzontale è offerta dal ricostruito cordolo murario, finchè potrà reggere.

Purtroppo già circolano documenti, riproposti anche da associazioni di categoria, che contengono immagini distorsive della realtà. Una di queste, ad esempio, è accompagnata da un commento che fa credere si tratti di un consolidamento con resine, mentre invece è la palese rappresentazione di una grossolana coibentazione con schiuma poliuretanic. Può trattarsi di un volontario errore? Ma!, considerato il volar basso della trattazione. Deve essere proprio questo il livello di scientificità? Abbiamo impiegato quarant'anni ad uscire dall'isolamento ed ora, tanto il legno è bello e comunque gradito, ci permettiamo confuse quanto false asserzioni. Complimenti a lor signori: questa la cultura del 2000?



La figura in alto è stata ripresa da un documento pubblico diffuso in Internet, che asserisce trattasi di "ignizione eccessiva di resina con modifica della rigidezza e della duttilità dei giunti", mentre è evidente che si tratta di isolante in poliuretano spruzzato. Ben altra cosa sono le figure sottostanti, che illustrano il recupero di un solaio in legno della luce libera di 7 metri, che sostiene un cannicciato intonacato ed affrescato. L'intervento è stato fatto dall'alto, senza dover applicare delle improvide protesi lignee terminali, che avrebbero danneggiato l'affresco. In casi simili è sempre preferibile la tecnica CNP, con inserti a scomparsa ed adesivo epossidico percolabile, che si inserisce anche nei più minuscoli interstizi e fessure.



Perché questi cari ingegneri, anziché limitarsi a vaghe quanto inconsistenti elucubrazioni di principi astratti, tra loro compiacendosi vicendevolmente, non prendono *carta, penna e calamaio* e mettono impegno nel dare esauriente spiegazione, per cui in quel caso hanno fatto così, per questo e per quel motivo, mentre in altro caso hanno fatto così per quest'altra ragione? Certamente occorre un pò più di coraggio, nel mettersi in discussione e scrivendo, anche sulle riviste, quelle del legno, che hanno riscontro negli operatori del settore e nei loro tecnici collaboratori. Dando dei numeri, ovviamente non del lotto. E' importante mettere sott'occhio dei calcoli con delle cifre, per lasciarli meditare. Realisticamente insegnando, perché i convegni e le conferenze sono altra cosa. In tal modo, coloro che certamente fanno, che si presume sappiano, promuoverebbero un minimo di rigore anche da parte dei cantastorie. Ne guadagnerebbero anche gli ergotecnici e tutti coloro che, pur nominalmente tecnici, non *masticano* unaacca di modelli strutturali e pur parteciano con tanta saccenza ai cori del sottovociare.

Riconosco che è stata una lunga premessa. Forse anche una esternazione. Ma, quando ci vuole, va fatto.

E' evidente l'importanza del documento *UNI 11138* del 2004 per tutti i progettisti impegnati nelle opere di riabilitazione strutturale, per le imprese e gli operatori artigiani e per i fornitori del legno. Costoro, quando si tratta di intervenire su elementi lignei con superfici decorate devono perlomeno essere affiancati da *Restauratori di beni culturali*, definiti tali ai sensi della normativa in materia (punto 6, art. 29, D.L. 22.01.2004, n. 42).

Quando gli elementi strutturali sono assenti da decorazioni, non c'è l'obbligo di affidare l'intervento al *Restauratore di Beni Culturali*. Però, come recita il *Capo 7, Metodologie e tecniche di esecuzione di un intervento*: "*Gli interventi sono da affidare unicamente a personale tecnico specializzato, restauratori ed operatori tecnici specialisti nel settore. L'idoneità del personale che interviene sul manufatto deve essere dimostrata (comprovata) sulla base di adeguato curriculum di lavori eseguiti con caratteristiche analoghe a quello in questione direttamente dal personale stesso*". A tal proposito è opportuno che tutti coloro (son tanti) che hanno già realizzato dei buoni interventi, magari tenendosi defilati, pur avendo avuto effettive ricorrenti esperienze e dimostrato capacità sul campo, si affrettino a raccogliere gli opportuni documenti ed attestati che comprovino le loro capacità.

Con le immagini che illustrano l'articolo conduco il lettore al raffronto tra applicazioni apparentemente ineccepibili, ma sostanzialmente devastanti, e gli interventi assolutamente riabilitativi senza alterazione dell'aspetto visivo, utilizzabili anche in presenza di decorazioni, certa-



Queste due immagini sono ricavate da documenti diffusi in Internet e riguardano l'inserimento di barre periferiche per la realizzazione di protesi in legno. Solitamente questa tecnica obbliga alla rimozione temporanea delle travi e ad ampliare le sedi nel muro, ben difficilmente ricostruibili nella loro compattezza iniziale. A differenza degli inserti a scomparsa (sistema CNP), questo tipo di intervento offre pochissima resistenza al fuoco, perché le protesi metalliche sono troppo vicine alle facce esterne del legno.



mente in quest'ultima evenienza sempre in subordine o associati a *Restauratore di Beni Culturali*. Attribuendo alle parole il loro significato ed andando oltre le enunciazioni di principio assolutamente condivisibili, la norma *Uni 11138* attribuisce massima importanza all'aspetto ingegneristico, che certamente non può essere scisso dai basilari principi di **compatibilità materica, efficacia, durabilità e reversibilità**.

Restauro è per definizione l'intervento diretto sul manufatto, volto a mantenerne l'integrità materiale e ad assicurare la conservazione e la protezione dei suoi valori culturali. La *Uni 11138* precisa che, nel caso di beni immobili situati nelle zone dichiarate a rischio sismico, in base alla normativa vigente, il restauro comprende l'intervento di miglioramento strutturale.

Il Decreto 29 ottobre 1999, n. 490, Sezione II - Restauro ed altri interventi, art. 34 - *Definizione di Restauro, comma unico*, recitava: "*Ai fini del presente Capo, per restauro si intende l'intervento diretto sulla cosa volto a mantenerne l'integrità materiale e ad assicurare la con-*

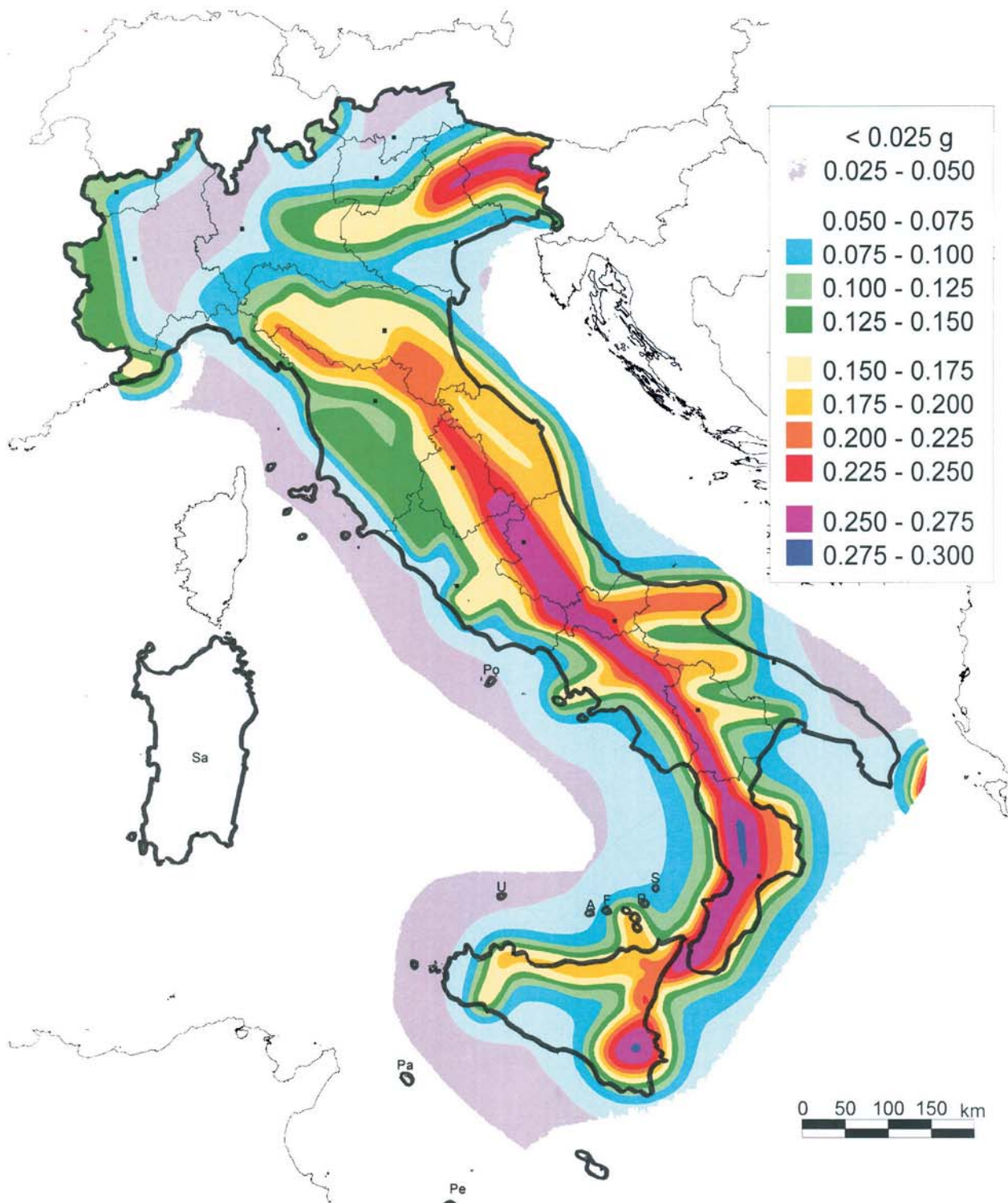
Si tratta dell'intervento in un prestigioso complesso di edifici storico-monumentali. L'ingegnere ha progettato l'intervento di consolidamento dell'estremità delle capriate, prevedendo l'utilizzo di 2 barre diametro 22 mm ed altrettante piastre di 10x120x220 mm, con fori diametro 20 mm. E' evidente la brutalità del sistema a secco applicato, che, anziché aiutare al consolidamento con un collegamento che si voleva duttile, ha invece ottenuto un aggravio della situazione. A prescindere dalla sottrazione materica (certamente inevitabile nel modello che si intendeva perseguire, comunque poco adatto ad elementi lignei non squadrate), va messa in evidenza la scarsa distanza dei bulloni dalle superfici laterali, che peraltro non asserrano alcunché. In effetti, se ben realizzato, anche questo meccanismo di collegamento avrebbe ripreso quote di momento. Però, come eseguito, ha caratteristiche di labilità. Fortunatamente il muratore ha consolidato sufficientemente il muro, perchè tenga.





Le immagini si riferiscono all'opera di recupero ed adeguamento statico delle capriate originarie dell'antico Palazzo Carmagnola di via Broletto a Milano, nuova sede della Consob, cui ha provveduto l'impresa Garboli-Conicos. La situazione preesistente non differiva molto da quella precedentemente illustrata. In questo caso, invece, è stata adottata la tecnica CNP, inserendo in posizione centrale delle barre diametro 16 mm in FeB44k ed involuppendole con l'adesivo epossidico bicomponente colato da sopra. Così è stata ottenuta anche la convalida di resistenza al fuoco, in ragione della protezione offerta dallo stesso legno alla penetrazione della carbonizzazione. Dell'intervento è stata conservata la traccia discreta dei tappini di chiusura e di piccoli cunei tra puntone e catena. Progetto arch. Marco Albini, direttore dei lavori ing. Umberto Biscottini, responsabile ed ideatore della tecnica di sigillatura temporanea delle fessure (tale da evitare l'eventualità dell'effetto cuneo) geom. Melchiorre Armata.





Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale

(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All. 1b)

espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_{S30} > 800\text{ m/s}$; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)

Nota : Le sigle individuano isole per le quali è necessaria una valutazione ad hoc

servazione e la protezione dei suoi valori culturali. Nel caso di beni immobili situati nelle zone dichiarate a rischio sismico in base alla normativa vigente il restauro comprende l'intervento di miglioramento strutturale".

Successivamente, il D.L. 490 è stato abrogato e sostituito dal Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n° 42 (G.U. 45, 24/02/2004, suppl. ord. n. 28), ove sempre alla sezione II, Misure di conservazione, art. 29 - Conservazione, 4° comma, così si esprime: "Per restauro si intende l'intervento diretto sul bene attraverso un complesso di operazioni finalizzate all'integrità di beni immobili situati nelle zone dichiarate a rischio sismico in base alla normativa vigente, il restauro comprende l'intervento di miglioramento strutturale".

E' del 20 marzo 2003 l'O.P.C.M. (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri), n. 3274 contenente le *Norme Tecniche per il Progetto, la Valutazione e l'Adeguamento sismico degli edifici*, aggiornata il 02.10.2003 ed il 09.09.2004, poi superata dall'O.P.C.M. 3 maggio 2005, n. 3431, contenente ulteriori modifiche ed integrazioni, ed infine completata dall'O.P.C.M. 3519 del 28.04.2006.

Quest'ultima integrazione contiene la nuova **Mappa di Pericolosità Sismica**, elaborata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, che ha individuato dodici livelli di accelerazione del suolo, contro le quattro fasce

indicate invece nell'O.P.C.M. 3274/2003, che già si applicava al patrimonio culturale, come stabilito l'art. 29 del già citato D.L. 42/2004.

In base all'Ordinanza 3274, tutto il territorio nazionale è considerato sismico, fatte salve, potrebbe essere, alcune aree che le Regioni possono escludere. Il Dipartimento della Protezione Civile e il Ministero per i Beni e le Attività Culturali hanno predisposto delle **Linee Guida** per l'applicazione della normativa tecnica al patrimonio culturale. Il documento suggerisce un percorso di conoscenza, valutazione della sicurezza sismica e progetto degli eventuali interventi, analogo a quello previsto per le costruzioni normali, però adatto alle peculiarità del patrimonio culturale, limitatamente alle costruzioni in muratura.

Il capitolo 11 dell'O.P.C.M. 3431/2005, nel paragrafo 11.1. *Generalità* esprime che "le Regioni possono, tenuto conto della specificità delle tipologie costruttive del proprio territorio, consentire, per gli interventi di adeguamento, un miglioramento controllato della vulnerabilità, riducendo i livelli di protezione sismica fino al 65% del livello previsto per le nuove costruzioni e quindi l'entità delle azioni sismiche da considerare per i diversi stati limite, nonchè il numero degli stati limite da considerare". Poi, aggiunge: "Per i beni culturali tutelati è in ogni caso possibile limitarsi ad interventi di miglioramento, secondo quanto disposto dal comma 4), art. 29 del decreto legislativo n. 42/2004, "Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio", è peraltro comunque richiesto di calcolare i livelli di accele-

Alcune delle capriate, oggetto del riadeguamento strutturale della Consob, conservano le tracce di un antico incendio. Eppure l'intera struttura lignea è stata riabilitata alla piena funzione statica, senza smontarla. Per gli elementi lignei, la tecnica di consolidamento in opera è indubbiamente da preferirsi. Infatti la pratica di rimozione e ricollocazione delle travi provoca delle situazioni disomogenee nelle murature, addirittura aggiuntive qualora già ve ne fossero.





Esempio di un intervento al quale è stato attribuito un "impatto minore" ed "efficacia nel tempo". Pur non contestando l'opinabile funzionamento del meccanismo, l'impatto non è irrilevante sotto l'aspetto visivo. Quanto alla efficacia nel tempo, questa è impensabile nell'eventualità di un incendio, essendo il ferro non protetto.

razione del suolo corrispondenti al raggiungimento di ciascuno stato limite previsto per la tipologia strutturale dell'edificio, nella situazione precedente e nella situazione successiva all'eventuale intervento".

La norma UNI 11138/2004 stabilisce alcuni principi fondamentali:

5.3.2. Reintegro di materiale: (omissis) *L'integrazione dell'elemento strutturale con legno di specie identica a quella in opera è ammissibile.* (omissis) Ammissibile, se non se ne può fare a meno, ma non preferibile. Infatti, stante le tecniche oramai disponibili, nella maggior parte dei casi non è indispensabile la sostituzione delle parti visibili, perlomeno non quella degli strati superficiali.

5.3.3. Reintegro della continuità strutturale nell'elemento ligneo: (omissis) *Esso può anche realizzarsi mediante un apposito sistema che utilizzi un adesivo strutturale ed elementi metallici o lignei.* (omissis) *L'adesivo ad uso strutturale deve essere specificatamente formulato per l'utilizzo con il legno e (omissis) dei collegamenti incolati, devono essere riportate in dettaglio le verifiche svolte* (omissis).

5.3.4. Reintegro di funzionalità del collegamento tra elementi: (omissis) *i collegamenti tra diversi elementi lignei devono essere ripristinati nella loro funzionalità statica mantenendo per essi valori di rigidità simili a quelli posseduti dai medesimi nella struttura originaria.* (omissis) *Il requisito non si impone quando sia chiaramente dimostrato che i valori di rigidità attuali sono da ritenersi responsabili, in tutto o in parte, dei dissesti rilevati.*

5.3.5. Reintegro di funzionalità della struttura lignea nell'edificio: *La definizione dello schema strutturale (o di differenti schemi statici che saranno considerati come casi limite) deve in generale comprendere anche tutti gli elementi non lignei ma che possono interferire, a livello di comportamento globale, con la struttura lignea.* (omissis)

Affrontiamo più specificatamente le problematiche delle strutture in legno, per quanto attiene al *DUTTILE, LABILE, FRAGILE* e *TENACE*.

Diamo per scontato che in un sistema iperstatico lineare o a perimetro chiuso (struttura intelaiata bidimensionale o tridimensionale), quindi composto da elementi in legno o in un altro materiale, ovviamente connessi tra loro con gradi di vincolo superiori allo stretto necessario, l'entità e modalità dell'azione sismica possano trasformare gli incastrati nodali in cerniere plastiche. L'eventualità provoca immediatamente una ridistribuzione degli sforzi sulla struttura, che diviene isostatica. Importante è che la struttura sia rimasta in piedi: se ciò avviene è perché l'avete ben calcolata, evitando la formazione di cerniere in punti inopportuni, per non ricadere in schemi statici labili. Altrimenti trovatevi delle scusanti. Potete sempre dire che non ve l'hanno raccontata giusta. Non sarebbe poi così inverosimile.

La stessa aspettativa comportamentale vale per le strutture storiche, qualora siano state adeguatamente riabilitate alla funzione strutturale con l'applicazione di quei sistemi nodali a scomparsa con inserti metallici ed adesivi epossidici che, sin dall'inizio volli si chiamassero CNP (Cenci, Nosedà, Piazza).

Non è poco il vantaggio di poter disporre di strutture che all'occorrenza possano plasticizzarsi nei nodi. Infatti possiamo concepirle più essenziali e con sezioni contenute. Le strutture poco pesanti risentono meno del sisma, ne assecondano i comportamenti modali e quindi sono meno eccitabili. È assurdo ipotizzare nelle strutture isostatiche la formazione di nuove cerniere plastiche perché tale eventualità provocherebbe situazioni di labilità, quindi la vocazione al crollo. Stiamo constatando che ad elementi lineari isostatici, ossia a travi semplicemente appoggiate, viene ora attribuita la possibilità di un *meccanismo di rottura a flessione non fragile con la formazione di cerniera pseudo-plastica dissipativa*. Così è scritto e, se è scritto, così è. Vero?, oppure forse?, oppure no?

Certamente sono difficili le scelte aprioristiche tra possibili cedimenti fragili o duttili, se avulse dalla configurazione strutturale e dal contesto generale. Deve farsi molta attenzione a proporre con disinvoltura alcuni concetti apparentemente assai elementari, ma che mantengono molte incertezze se estranei a precisi contesti, addirittura da sembrare tanto intuitivi e invece ostici da assimilare e quindi facili da essere fraintesi, poi raccontati e sbandierati magari da chi, già per suo, ha reali difficoltà nel discernere tra le ben differenti possibilità prestazionali di uno stucco sotto sembianza di pasta adesiva, rispetto ad un adesivo iniettabile o percolabile.

Voglio dire che dobbiamo essere più accorti nello snobbare la potenzialità ed affidabilità dei collegamenti tenaci, quelli realizzati con inserti metallici a scomparsa ed esclu-



Intervento alle travi di uno dei solai dell'antico Spedale di Santa Maria alla Scala a Siena, ora adibito a Museo. La rimozione delle travi era stata già prevista nel progetto iniziale e non fu possibile evitarla, pur non essendo strettamente necessaria. Tuttavia, furono salvate tutte le travi esistenti, semplicemente adottando le tecniche CNP con inserti a scomparsa ed adesivo epossidico percolato dall'alto. La prima e l'ultima immagine raffigurano il solaio prima e dopo l'intervento. La luce delle travi è di oltre 9,50 metri tra i centri di appoggio e l'inter-asse di circa 2,20 metri. Peso permanente 5,4 KN e sovraccarico utile 4 KN, richiesto per le aule didattiche, la cui destinazione d'uso è stata dettata dalle esigenze del Museo. Progettisti e direttori dei lavori arch. Guido Canali e ing. Francesco Canali; realizzazione C.M.S.A. Società Cooperativa; interventi sulle strutture lignee Falegnameria Ferruzzi Mario e Carlo s.n.c.



sivamente resine epossidiche, certamente rigidi. Si resta attoniti nel vedere con quanta incredibile leggerezza siano proposti meccanismi apparentemente duttili nella connessione tra gli elementi in legno, che invece aggravano situazioni già precarie, provocando condizioni di labilità.

A cosa serve un comportamento duttile per una struttura isostatica? Il cedimento di un solo elemento provoca il crollo dell'intera struttura. Il problema è quello di evitare il cedimento a priori.

Le aziende possono avere anche interesse nel mantenere attivi, almeno in parte, processi di costruzione e di montaggio più consuetudinari e sbrigativi, anche se a volte obsoleti. Però assecondare la credenza che tali sistemi siano più idonei, ed in particolare lo siano quelli a secco, è affermare il non vero. Infatti, non poche strutture lignee con collegamenti a secco, costruite negli ultimi vent'anni in ambienti che risentono di condizioni di naturale umidità interna (piscine, palaghiacci, etc.) o che non sono ben protette da intemperie, hanno problemi di degrado, cui corrisponde una diminuita prestazionalità statica. Questo è

attribuibile anche a non pochi interventi su strutture datate, praticati tanto nel passato che tutt'ora, con l'errata presunzione di conseguire rafforzamenti statici.

Da tutto quanto precede è evidente che il problema di fondo non è se la struttura lignea o l'elemento strutturale in legno siano più o meno duttili, bensì come li si intende considerare e collocare nel contesto globale, vale a dire rispetto agli altri ordini strutturali portanti.

Un sistema strutturale con collegamenti rigidi risulterà sempre assai meno deformabile della stessa configurazione isostatica con cerniere fisiche o funzionali (non duttili). Però, i due sistemi influiranno nello stesso modo al loro esterno, se avranno gli stessi vincoli di estremità. Ne deriva che anche per le travi su due appoggi e per quelle continue, la loro iterazione con l'esterno è caratterizzata certamente da pesi e comunque sempre dalla natura e modalità di realizzazione dei vincoli, in quanto le loro caratteristiche originarie e le eventuali integrazioni o rinforzi (ad esempio le barre longitudinali nel caso del legno-armato ideato da me e dall'ing. Giovanni Nosedà Pedraglio nel 1998), riguar-

Le scelte operative devono essere fondate su precisi indirizzi progettuali, definiti con oculatezza. Il più delle volte non è assolutamente necessaria la sostituzione degli elementi lignei, che invece possono essere recuperati e riabilitati per assolvere pienamente alla propria funzione statica. È preferibile intervenire direttamente in opera nel ripristino delle strutture lignee, evitando nei limiti del possibile le operazioni di rimozione e ricollocamento, che provocherebbero l'indebolimento delle muraure. Per una buona progettazione finalizzata al mantenimento e rafforzamento, occorre procedere ad accurate indagini diagnostiche, oggi praticabili anche direttamente dai tecnici delle stesse aziende esperte nelle riabilitazioni, che in tal modo sono ancor più responsabilizzate della qualità dell'intervento e nel dare la certezza del costo ai committenti ed ai loro progettisti.



dano specificatamente la staticità dell'elemento stesso, ma non strettamente il *vincolo esterno*.

Veniamo al concetto di *fragilità*, troppo abusato. Questo termine lo si dovrebbe attribuire al comportamento di un materiale, quando questo è propenso a cedere improvvisamente: lo si dice quando ha un comportamento simile a quello del vetro. Ma nessun materiale da costruzione, per impieghi strutturali, si comporta proprio come il vetro. Per qualsiasi struttura, oggi è obbligatorio tener conto dell'aggravio sismico. Consideriamo i diversi materiali.

L'acciaio si deforma vistosamente e collassa dopo aver oltrepassato il limite dello snervamento massimo. Portati a valori estremi i collegamenti in acciaio si plasticizzano, perchè il materiale è certamente duttile.

Il calcestruzzo ha un comportamento fragile-viscoso. Le masse impegnate e l'elevato peso specifico obbligano a considerare cautelativamente carichi sovrabbondanti.



Peraltro lo si fa anche con gli altri materiali.

Per le strutture in cemento armato, i carichi massimi vengono amplificati di non meno del 50% ed un po' superiore è il coefficiente di sicurezza parziale del calcestruzzo. Ad innescare il collasso dell'elemento in cemento armato può essere il cedimento del calcestruzzo compresso o il cedimento dell'acciaio teso. Il cemento armato, se opportunamente dimensionato, è assolutamente sicuro ed è ragionevole dire che la rottura del cemento-armato può essere tanto di tipo duttile che fragile, in funzione di come lo abbiamo progettato. Avremo comportamento duttile con armature deboli (rottura per cedimento dell'acciaio snervato); invece comportamento fragile dell'elemento con armature forti (il calcestruzzo si schiaccia).

Il legno, invece, è quello che dà anzitempo segnali di collasso, meglio di qualsiasi altro materiale. Il preavviso del cedimento del legno è una lunga sequenza di scricchiolii e *piagnistei*. Circostanza importante, ma forse non così percepibile, nel corso di prove pur fatte su modelli al vero, ma con rapida successione degli incrementi di carico.

Il legno non si rompe e non si spezza facilmente se sufficientemente dimensionato per soddisfare la funzione attribuitagli e la richiesta prestazionale, a meno che non venga gravato improvvisamente da carichi o azioni abnormi: ad esempio un fulmine. Quindi il legno è materiale forte e robusto. Il legno è TENACE. Provate ad osservare bene il comportamento di un puntello in legno soggetto a carico di punta. Continuate a caricarlo e il puntello continuerà ad incurvarsi lateralmente. Infine arriverà a spezzarsi. Eravate ben discosti vero? Allora potete anche raccontarci se l'avete visto scoppiare e con quanta rilevanza di carico si è rotto.

Si è esagerato, in tempi recenti, ad attribuire tanta fragilità

al legno? Forse. Il dubbio c'è. Però all'Ivalsa di San Michele all'Adige, di concerto con il Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Strutturale dell'Università di Trento, si sta portando avanti una ricerca sul legno lamellare misto (pioppo/eucalipto, pioppo/abete, pioppo/larice). Secondo Ivalsa, è emerso che tali manufatti lignei sono caratterizzati da un comportamento meno fragile, ovvero pseudo-duttile (rilevato osservando i diagrammi carico-deformazione durante le prove di flessione) rispetto a quello tipico dei manufatti realizzati con legno di un'unica specie. E' del tutto naturale, considerato che il modulo di elasticità longitudinale del pioppo è inferiore non meno del 40% rispetto alle altre speci.

Comunque, ben vengano queste ricerche che, testimoniano una rinnovata intraprendenza e vivacizzazione dell'innovazione. Colgo l'occasione per complimentarmi con l'ing. Nicola Manchioni, sempre dell'Ivalsa, per il suo saggio "*Diagnostica nel Restauro delle Strutture di Legno Antiche*", che consiglio a tutti di cercare e leggere tramite Google.

Torno a pensare che la vera problematica delle strutture in legno resti quella della concezione costruttiva dei singoli elementi, del loro inserimento per la formazione di sistemi articolati ben stabilizzati (possibilmente per reciproca contrastatura) e della collocazione dei singoli elementi e dei loro insiemi rispetto agli altri ordini strutturali. Trattasi quindi di problematiche progettuali, costruttive, di montaggio e delle prestazioni dei singoli elementi e d'insieme delle strutture, tenendo in massimo conto la funzione attribuita ai nodi interni dei sistemi in legno ed ai nodi esterni di collegamento alle altre realtà statiche, al suolo, ovvero alle posizioni inamovibili.

Insomma, ritorniamo a fare della statica. Dei calcoli veri, perché non possiamo chiamare calcoli delle semplici annotazioni, come quella da me vista apposta in una relazione di calcolo che, nello specifico capitolo, recitava: "2.3.2.2. *Capriata. Il calcolo della capriata è condotto in base alle tabelle dei manuali*". Eppure trattavasi di un importante progetto di consolidamento, sviluppato a seguito di un concorso internazionale, per la parte specifica supportato da un arcinoto studio di analisi delle strutture. L'appartenenza alle commissioni che determinano le norme non può servire di copertura a questo modo superficiale di espletare la professione ed a poter affermare una idoneità di facciata. E' bene che gli Uffici Pubblici, Soprintendenze e Geni Civili facciano realmente rispettare le normative sulle riabilitazioni strutturali e pretendano sempre dei veri calcoli, da chiunque, completi ed esaurienti, diffidando delle emergenti fraseologie di comodo, che esprimono ben poco, rispetto a quanto vorrebbero far credere.

di Giovanni Cenci, strutturistica in legno