



adeguate coperture per i rifiuti preziosi

Il sistema di impalcato in KVH per le coperture degli impianti della Ama.

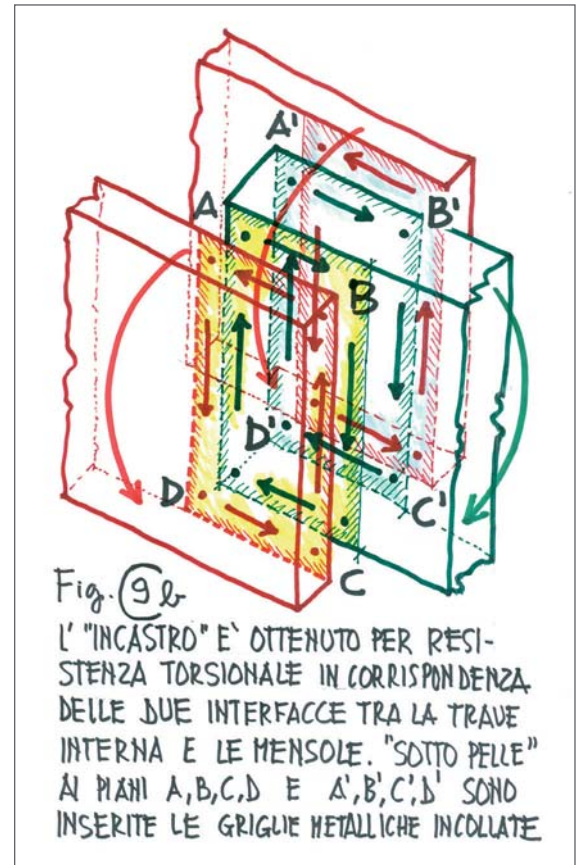
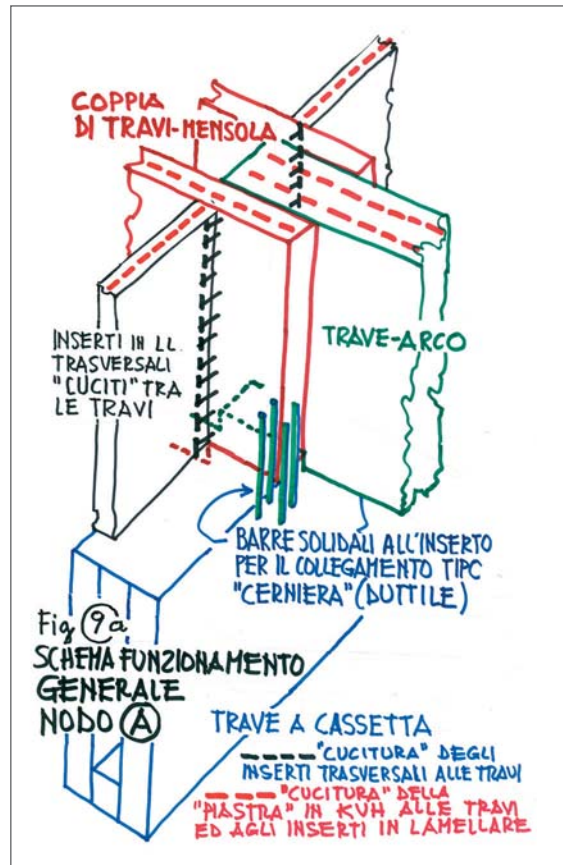
PREAMBOLO

La AMA S.p.A. di Roma ha in corso da alcuni anni la ristrutturazione ed il potenziamento degli impianti e degli stabilimenti per la gestione dei propri servizi. Agli insediamenti di Rocca Cencia e via Salaria sono stati aggiunti nuovi impianti di selezione per la raccolta differenziata ed il trattamento dei rifiuti solidi urbani finalizzato alla produzione del combustibile derivato da rifiuti (CDR) e del compost grezzo. Sono stati gli stessi tecnici dell'AMA ad occuparsi della

progettazione dei nuovi edifici, caratterizzati da gradevoli soluzioni architettoniche. E' stato molto stimolante dare il mio contributo alle prime soluzioni strutturali, riproposte in ulteriori realizzazioni.

ULTERIORI NOTE SULL'APPOGGIO-CERNIERA "A"

Riprendendo e completando la trattazione del nodo di appoggio dalla parte dell'aggetto, si ricorda che nel caso specifico le fibre delle lamelle della coppia di travi-mensola hanno lo stesso orientamento di quelle della

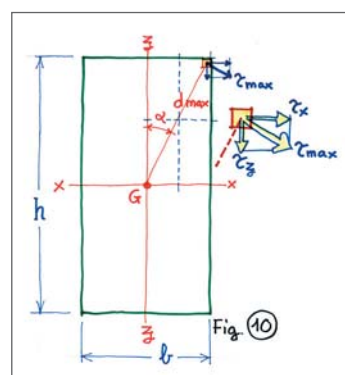




trave interna ad arco, che però in questa posizione ha un tratto ancora orizzontale.

Il meccanismo che si instaura è quello ravvisabile nello schema in figure 9a e 9b. Risulterà sufficientemente chiaro perché sono stati inseriti in appositi incavi quei doppi graticci di tipo particolare, ai quali viene affidata la ripresa delle forze trasversali e che evitano l'insorgere di fessurazioni longitudinali, in assoluta condivisione dei concetti di affidabilità proposti anche dalla stessa normativa sismica per le strutture in legno. L'analisi porta a definire l'entità di tali forze.

Sarebbe stato diverso se si fosse trattato di rendere rigida la connessione di elementi decisamente angolati tra loro, ossia con una accentuata angolazione delle rispettive fibrature delle superfici interfacciate ed incollate (es. $45^\circ < \alpha < 90^\circ$), perché, in tal caso, si instaurerebbe un meccanismo di "ingrappatura" reciproca tra le fibre appartenenti ai piani interfacciatati, orientati con un'ampia angolatura ed incollati con l'adesivo epossidico.



In un meccanismo di connessione rigida, ottenuto interfacciando tra loro delle superfici esterne, oppure quelle di un inserto a pressoché totale diffusio-

ne rispetto alle superfici interne dell'intaglio che lo contengono, la posizione unitaria più sollecitata è quella più lontana dal baricentro dell'area considerata (fig. 10).

$$\tau_{\max} = \frac{Mt \cdot d_{\max}}{n^\circ \text{ facce} \cdot J_p} + \frac{\sqrt{N^2 + T^2}}{n^\circ \text{ facce} \cdot A}$$

$$\tau_x = \tau_{\max} \cdot \cos \alpha$$

$$\tau_z = \tau_{\max} \cdot \sin \alpha$$

Prendiamo in esame la superficie rettangolare interfacciata tra la mensola e la trave-arco. In valore assoluto le τ sono variabili in relazione al loro braccio (fig. 11a); però rispetto agli assi principali l'intensità massima delle τ è costante lungo i lati paralleli di una superficie di interfacciamento rettangolare ed è nulla in corrispondenza dell'asse del baricentrico interposto tra tali lati (fig. 11b).

Le figure 11a e 11b rendono esplicito il meccanismo di verifica escogitato, con il semplice raffronto di 5 posizioni su un quarto del rettangolo considerato. In base a questo principio è facile ricavare l'entità delle forze $F_{(T)}$ da riprendere (fig. 12). Quelle stesse forze cui la normativa sismica impone di prestare attenzione.

N° 2 superfici lorde interfacciate cm 60 x 126;

A favore di sicurezza si depura una fascia perimetrale di 5 cm.

N° 2 superfici utili, interessate dagli inserti cm 50 x 116;

$Mt_{\max \text{ totale}} = daN \cdot m \ 9.682$ (desunto dal calcolo generale)

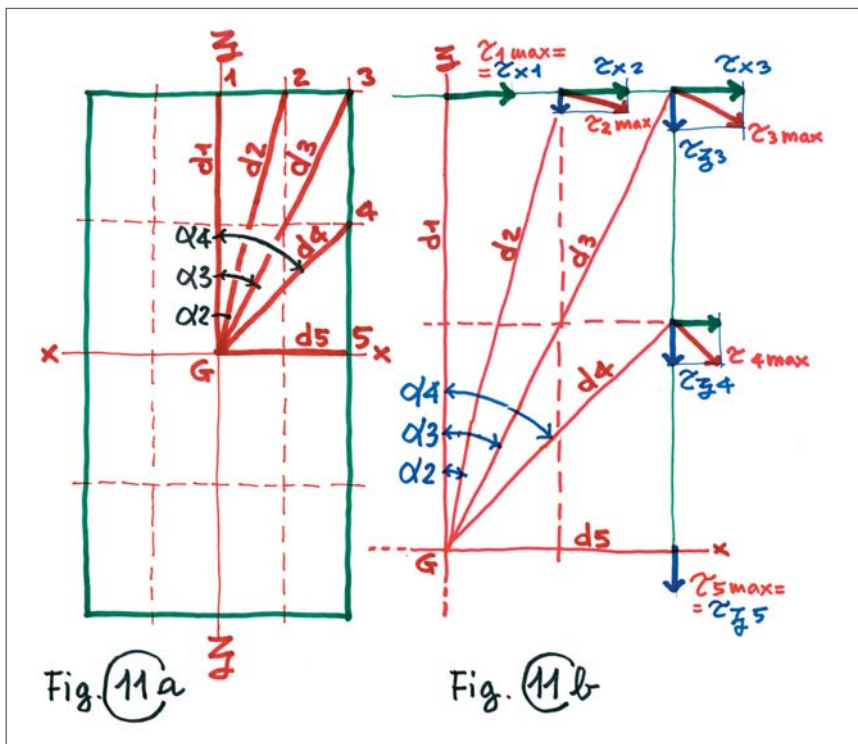
$Mt_{\max \text{ per ciascuna interfaccia}} = daN \cdot m \ 4.841$

Inerzia polare di una faccia:

$$J_p = \frac{50 \cdot 116^3 + 50^3 \cdot 116}{12} = cm^4 7.712.000$$

Foto 11 e 12 - Formazione di un giunto di continuità CNP® di tipo "bipolare" (coppia di forze). Questo tipo di giunzione è preferibile quando insorgono problemi di trasportabilità e si vuole mantenere la continuità elastica della struttura piena, come se l'elemento ricomposto fosse stato da sempre di un sol pezzo.

Foto 14 e 15 - Preparazione, prima del montaggio e successiva resinatura, della sede per l'incasso di una griglia in tondino da cemento armato, che verrà applicata nella mensola garantirne l'attacco alla trave principale ove è già stata inserita l'altra griglia.



La sollecitazione periferica massima di un'area interfacciata rettangolare, impegnata da torsione, si mantiene costante sul lato in esame e sul suo opposto.

$$\text{Siccome } d_{\max} = \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + \left(\frac{h}{2}\right)^2}$$

varrà anche:

$$\tau_{(x)} \text{ costante} = \frac{M_{t \text{ tot}} \cdot h/2}{n^{\circ} \text{ facce} \cdot J_p}; \quad \tau_{(z)} \text{ costante} = \frac{M_{t \text{ tot}} \cdot b/2}{n^{\circ} \text{ facce} \cdot J_p}$$

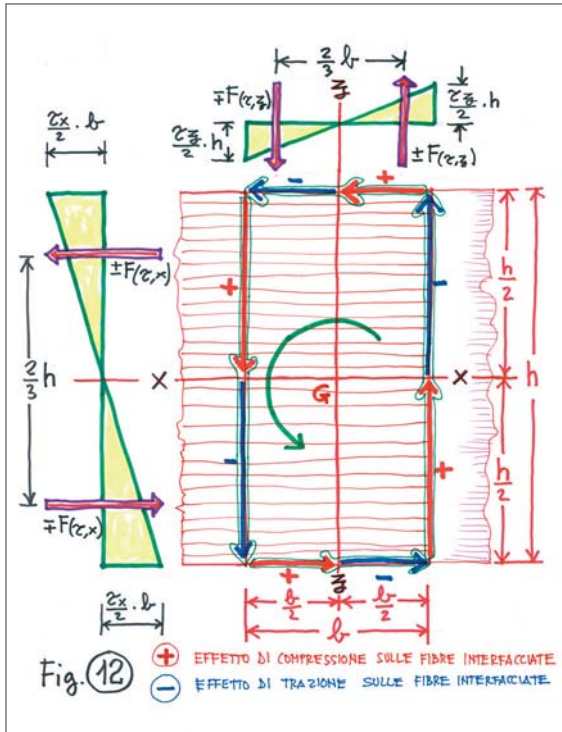
Ritornando all'esame della singola superficie utile Interfacciata (fig. 12), le rispettive forze $F_{(\tau,x)}$ e $F_{(\tau,z)}$ sono consequenziali alla geometria del sistema e alle massime tensioni periferiche τ_{u} , come già visto, costanti su un lato ed il suo opposto.

$$F_{(\tau,x)} = \pm b \cdot \frac{h}{2} \cdot \frac{\tau_{(x)}}{2} = 50 \cdot \frac{116}{2} \cdot \frac{3,64}{2} = 5.278 \text{ daN}$$

$$F_{(\tau,z)} = \pm \frac{b}{2} \cdot h \cdot \frac{\tau_{(z)}}{2} = 25 \cdot 116 \cdot \frac{1,574}{2} = 2.276 \text{ daN}$$

POS.	d cm	τ daN/cm ²	α	cos α	τ_x daN/cm ²	sin α	τ_z daN/cm ²
1	$\frac{h}{2} = 58$	3,64	0°	1	3,64	0	0,00
2	59,3	3,72	12°,16	0,98	3,64	0,21	0,78
3	63,1	3,96	23°,32	0,92	3,64	0,40	1,57
4	38,3	2,40	40°,76	0,76	1,82	0,65	1,57
5	$\frac{b}{2} = 25$	1,57	90°	0	0	1	1,57

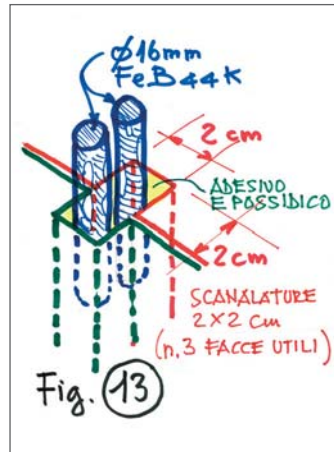
Per il progetto illustrato è stato disposto che nella direzione z la forza $F_{(\tau,z)}$ di ogni interfaccia fosse ripresa da n° 2 tondini Ø 16 FeB44k, ciascuno incassato in intaglio cm 2 x 2 (fig. 13).



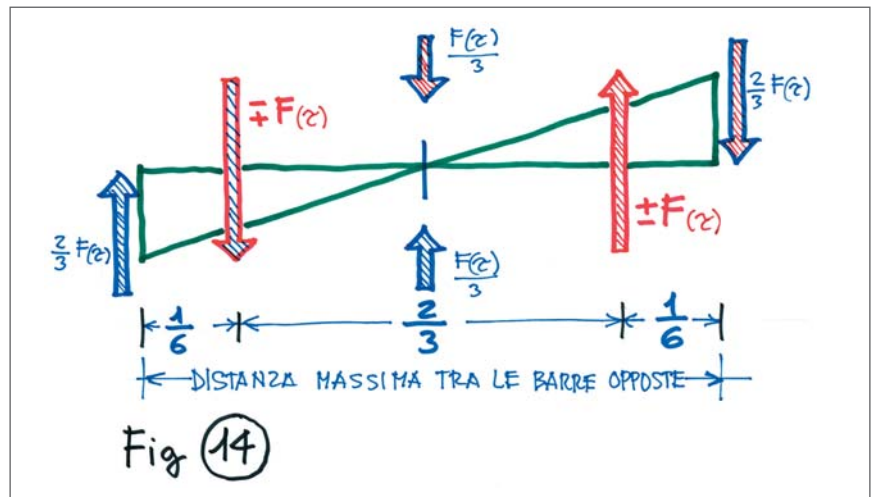
La tensione unitaria di aderenza al legno, per via della resina che involuppa la barra, risulta essere:

$$\tau_{\text{eff}} = \frac{2.276}{(3 \cdot 2 \text{ cm}) \cdot 116 \text{ cm}} = 3,27 \text{ daN/cm}^2$$

Nota:
 Le esemplificazioni assunte sono a favore di sicurezza. Nelle realizzazioni AMA, in effetti il meccanismo inserito è dotato di ulteriori tondini intermedi ed anche di barre trasversali. Poi, si consideri che le forze $F_{(\tau,z)}$ sono posizionate nel baricentro del triangolo che rappresen-



ta $\Sigma_{(\tau,z)}$, quindi si potrebbe anche accettare che la forza massima periferica (sul bordo) si riduca di un terzo (fig. 14). Però, considerare la forza piena sul bordo, equivale ad offrire maggior sicurezza. Diversa è la considerazione sul modo di riprendere $F_{(\tau,x)}$. Nella fattispecie si



consideri che in una sezione la disponibilità tensionale delle tau è massima alle estremità (bordi superiore ed inferiore) e si riduce all'avvicinarsi all'asse neutro longitudinale, con caratteristiche riduttive che seguono l'andamento delle sigma.

Foto 9 e 13 - I giunti CNP®, inseriti a scomparsa nel legno e fissati con adesivo epossidico, sono semplici da realizzare ed affidabili, perché si mantengono pienamente funzionali sotto l'azione di carichi ripetuti ed anche in caso di inversione delle sollecitazioni.

Foto 8 e 10 - Le travi lamellari utilizzate per Rocca Cencia hanno una notevole propria dimensione (quindi una rilevante inerzia) perché dovevano risultare di per sé poco deformabili e non dovevano essere spingenti nei confronti del capannone contiguo. Per tale motivo si è ricorsi all'incastro delle travi-arco sulla trave-cassetta, quest'ultima in semplice appoggio sulle mensole e quindi libera di scorrere.

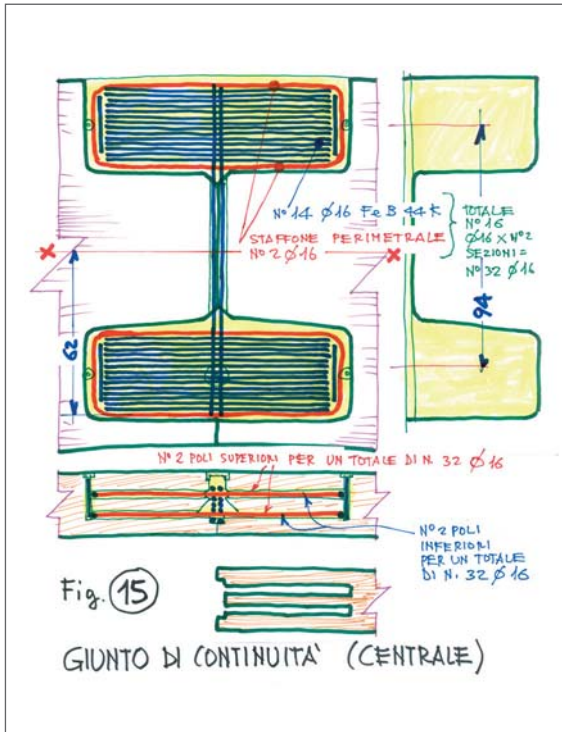


E' già stato definito che

$$\tau_{x \max} = 3,64 \text{ daN/cm}^2 < (9 \div 12)$$

GIUNTO CENTRALE

Per la verifica del giunto centrale, si è preferito adottare, a favore di sicurezza, una doppia connessione di tipo bipolare (coppia di forze) con barre Ø 16 mm FeB44k (fig. 15). La sezione lignea, al netto degli intagli, offre la disponibilità di:



Tale assito, perché funzioni al pari di una grande trave rigida continua, deve essere avvitato (mai chiodato) nell'arco e sempre avvitato (mai chiodato) tra tavola e tavola, all'occorrenza con piccoli tratti di adesivo tra i denti. In proposito si rinvia agli atti di un convegno promosso dalla Gatta Marco s.r.l., tenutosi il 20.02.2004 a Roseto degli Abruzzi. Gli atti sono scaricabili dal sito www.cenci.com - sezione piastraforma®.

$$l_o = 1,25 \cdot 26,95 / 2 = 16,84 \text{ m}$$

$$\lambda = 16,84 / 0,404 = 41,7; \omega = 1,05$$

$$N_{giunto} = 2.166 \text{ daN}$$

$$N \text{ nel "punto di quarto", secondo DIN 1052} = 8.043 \text{ daN}$$

$$M_{max} \text{ nel giunto} = 5.551,40 \text{ daN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_{eff(BS 11)} = \frac{8.043 \cdot 1,05}{2.800} + \frac{5.551.400}{65.333} \cdot \frac{85}{110} = 3,0 + 65,7 = 68,7 \text{ daN/cm}^2 < 85$$

Sempre a favore della sicurezza, non si è tenuto conto del contatto legno-legno e viene attribuita al solo ferro FeB44k la capacità di riprendere le forze. Ciò va molto bene ai fini sismici, anche fosse il caso di inversione di segno delle forze.

$$(E_{Fe}/E_{LL}) \cdot \sigma_{fless_{legno}} = (2.060.000/110.000) \cdot 110 = 18,7 \cdot 110 = 2.060 \text{ daN/cm}^2 < 2600$$

Con doppio attacco bipolare, per ciascun polo si adottano n° 2 x 16 barre, distanziate tra loro 2 cm, braccio medio 94 cm. Applicando $m = E_{Fe}/E_{LL} = 18,7$ si dispone:

$$A = 2.406 \text{ cm}^2$$

$$J = 5.527.273 \text{ cm}^4; \text{ distanza max dall'asse neutro} = 62 \text{ cm};$$

$$W_x = J_x / 62 = 89.149 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{(Fe)} = 18,7 \cdot \left(\frac{8.043}{2.406} \pm \frac{5.551.400}{89.149} \right) = 18,7 \cdot (3,34 \pm 62,27) =$$

$$= +1.227 \text{ daN/cm}^2 \text{ (compr.); } -1.102 \text{ daN/cm}^2 \text{ (traz.)}$$

$$A = [24 - (2 \cdot 2)] \cdot 140 = 2.800 \text{ cm}^2$$

$$J_x = [24 - (2 \cdot 2)] \cdot 140^3 / 12 = 4.573.333 \text{ cm}^4$$

$$W_x = J_x / (140 / 2) = 65.333 \text{ cm}^3$$

$$f_c = \text{freccia di costruzione dell'arco} = 5,44 \text{ m}$$

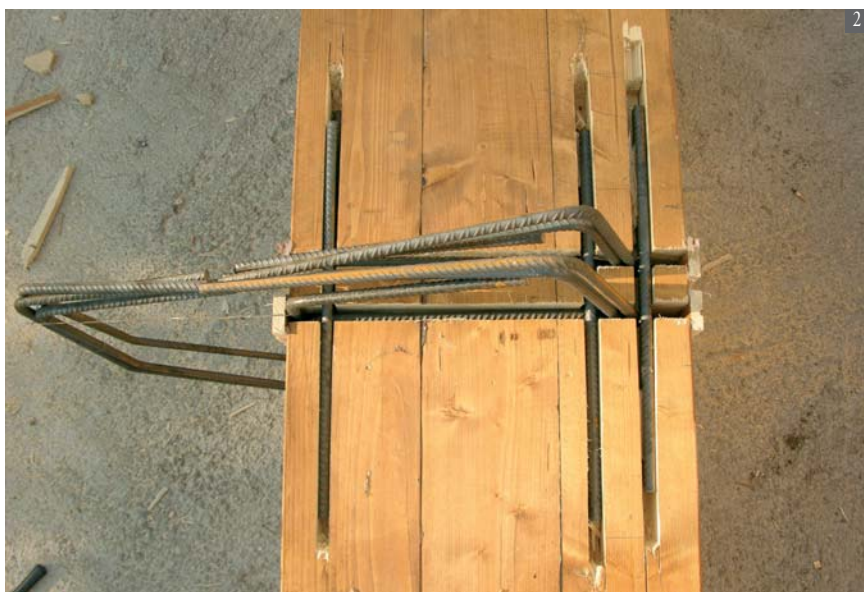
$$l_{\text{arco}} \text{ (in sviluppo tra gli appoggi)} = 26,95 \text{ m}$$

$$\text{rapporto } f_c / l = 5,44 / 26,95 = 0,20 < 0,5 \text{ (fig. 11a)}$$

Si assume $i_{max} = i_z$, stante l'assito continuo in KVH Select a doppia maschiatura, che di fatto mantiene in perfetto assetto il bordo compresso delle travi-arco, impedendone lo sbandamento.

$$i_z = \sqrt{\frac{J_x}{A}} = 140 \cdot 0,289 = 40,41 \text{ cm}$$

Foto 5, 6, 2 e 3 - Formazione del giunto che andrà a conseguire l'incastro tra la trave-arco e la trave-cassetta.



All'interno degli intagli, le superfici interfacciate devono assorbire:

$$N_{\text{compr}} = 2.116 + (5.551.400 / 94) = +61.173 \text{ daN}$$

$$N_{\text{traz}} = 2.116 - (5.551.400 / 94) = -56.941 \text{ daN}$$

Area delle tasche (50x35) cm = 1.750 cm².

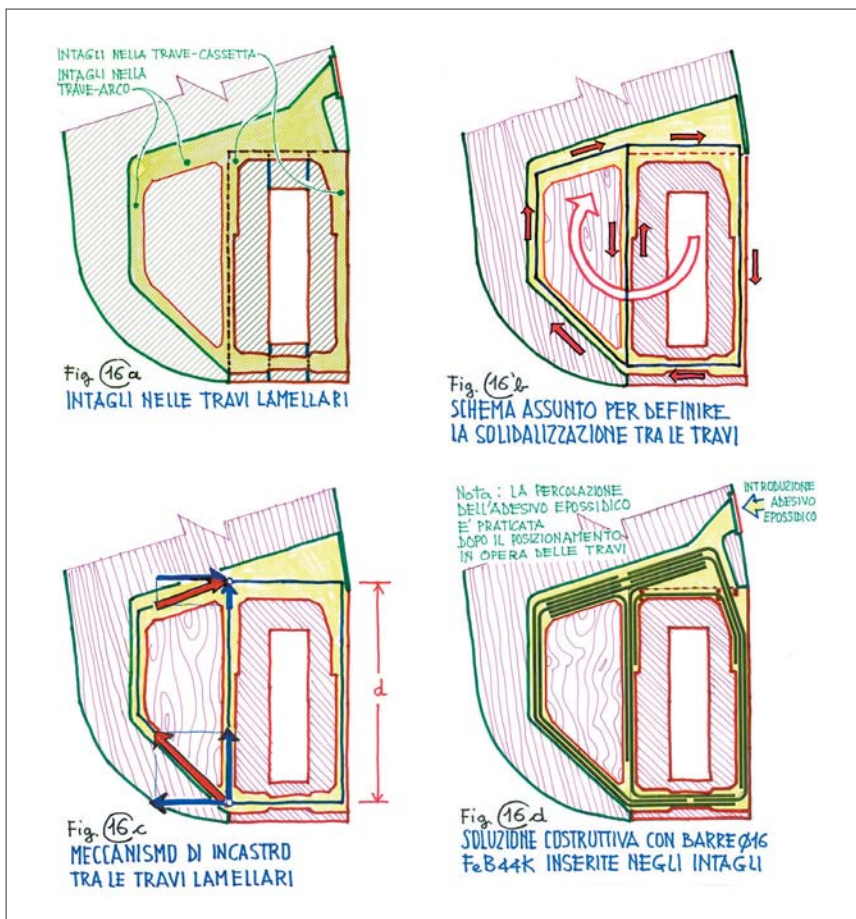
$$\tau_{\text{medio dovuto a compressione}} = \frac{61.173}{4 \text{ facce} \cdot 1.750} = 8,73 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau_{\text{medio dovuto a trazione}} = \frac{56.941}{4 \text{ facce} \cdot 1.750} = 8,13 \text{ daN/cm}^2 <$$

L'azione di taglio trasversale è trascurabile. Tuttavia si prevede l'inserimento di alcuni tondini verticali Ø 16 mm FeB44k, a favore di sicurezza, nell'ipotesi che la trave arcuata possa subire delle imposizioni di carico anomale. Anche se effettivamente fosse T=0, è sempre opportuno prevedere che la connessione possa riprendere una ipotesi di taglio di almeno il 20% di quello riscontrato in una qualsiasi posizione dell'intero elemento trave-arco ricostituito.

APOGGIO SULLE MENSOLE DEL CAPANNONE PREFABBRICATO

La trave a cassetta dalla parte del capannone prefabbricato appoggia su nove mensole appartenenti alla struttura cementizia, abilitate a sopportare i soli carichi verticali. La conseguenza è stata di un sistema non spingente con travi-arco dotate di rilevante inerzia propria. Questa condizione ha anche imposto che le travi ad arco fossero anzitutto solidarizzate al meglio (incastro) alla trave-cassetta continua, questa semplicemente appoggiata alle mensole e libera di scorrere trasversalmente al proprio asse longitudinale. Il meccanismo ottenuto con barre metalliche inserite in intagli praticati sia nella trave-arco che nella trave-cassetta, è illustrato in figure 16a, b, c, d.



Dapprima è stata individuata un'ipotesi costruttiva del collegamento ed è stata definita la sezione residua utile della trave a cassetta, al netto degli intagli. Quindi, come in fig. 17, si è definita una sezione ideale regolare (rettangolare), che risultasse il più possibile assimilabile a quella con gli intagli. In tal modo si è potuto accertare con procedimento semplice quale fosse la resistenza torsionale della trave cassetta.

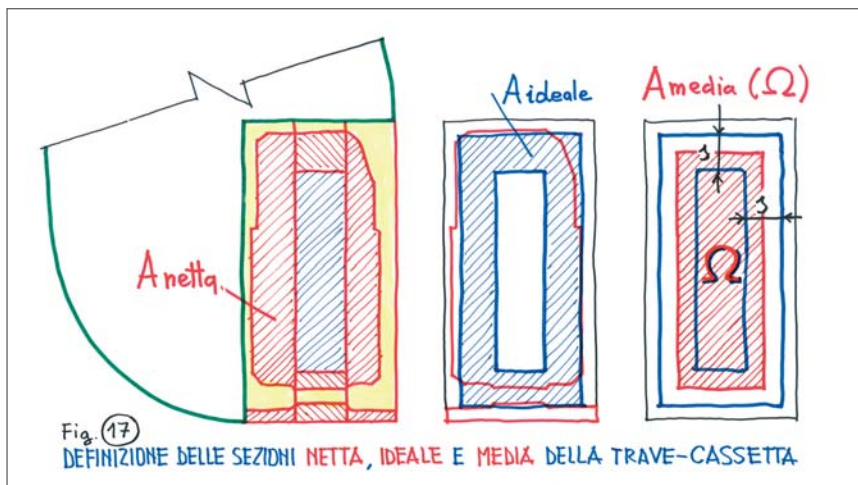


Foto 1 e 7 - Fase di montaggio e vista in opera di un tronco di trave-cassetta su appoggi scorrevoli, già dotata dei sistemi di incastro per ricevere le travi arco.



Per il fatto che le travi-cassetta possono scorrere in appoggio ai mensolini, è necessario che il vincolo interno tra le travi-arco e le travi-cassetta si mantenga assolutamente rigido (incastro). Pertanto è stato attuato un meccanismo di connessione, atto ad impedire qualsiasi movimento tra loro. Ciò è facilitato perché trattasi di elementi strutturali già dotati di una propria consistente rigidità. E' stato naturale verificare che la trave-cassetta potesse riprendere con ampio margine il momento che si verificava nell'arco ad una significativa distanza. Il concetto di un ipotetico momento di trasporto potrà sembrare molto sbrigativo, però è di diretta efficacia ed è affidabile. E' stato deciso che la trave cassetta

ta dovesse mantenere la prestantza statica, anche se interessata da un momento di almeno una volta e mezza quello accertato nell'arco a tre metri di distanza. In termini pratici è stata garantita l'assoluta solidalizzazione tra loro degli elementi lignei principali, nonostante la posizione delle travi-arco fosse trasversale rispetto alla trave-cassetta.

Per la verifica della trave cassetta si è ricorsi alla nota formula:

$$\tau_{f \text{ adm}} = \frac{Mt}{(2 \cdot \Omega \cdot s)}, \text{ ove}$$

Mt = momento torcente;

Ω = area media;

s = spessore;

$$\tau_{f \text{ adm}} = 16 \text{ daN/cm}^2;$$

$$Mt_{\text{max adm}} = 2 \cdot 16 \cdot 3.321 \cdot 14,2 = 1.509.062 \text{ daN} \cdot \text{cm} < 10.440 \text{ daN} \cdot \text{m}$$

Il successivo passaggio è stato quello di schematizzare il meccanismo statico di connessione, definendo le forze nelle posizioni polari in base al maggior braccio (114 cm), talchè tutte le altre contestualità attive disponibili sono state considerate alla stregua di ulteriori apporti a favore di sicurezza.

$$N_{\text{max}} = 1.044.000 / 114 = 9.160 \text{ daN}$$

Mantenendoci nell'ambito dello schema prescelto, si è poi passati alla definizione delle altre forze componenti, riprese dall'armatura metallica, alla loro verifica ed alla verifica della resistenza a taglio di aderenza delle relative superfici bagnate (interfacce incollate) dall'adesivo epossidico che involuppa le barre metalliche. Trattasi di aspetti ben intuibili con l'osservazione degli schizzi, che se anche specifici sono riproponibili, ovvero adottabili, per altri casi.



La stabilità omnidirezionale delle coperture Ama di Roma è stata ottenuta anche grazie all'impiego di aste KVH Select (KonstruktionsVollHolz) di abete rosso, classificato MS10, prodotto da Stallinger e commercializzato dalla Gatta Marco s.r.l. Il sistema di impalcato in KVH con funzione controventante è reso possibile dalla grande rigidezza che si consegue con l'assito continuo di elevato spessore, a giunti sfalsati, le cui tavole a doppio dente sono strettamente solidalizzate tra loro con viti e tratti di adesivo epossidico che ne impediscono lo scorrimento. Queste tavole sono fissate, sempre con viti, all'estradosso delle travi arco, ai bordi superiori delle travette di tamponamento poste sopra le travi-cassetta dalla parte degli aggetti e, dalla parte opposta, contro il bordo superiore delle altre travi-cassetta: quelle in appoggio scorrevole sui mensolini dell'edificio contiguo in C.A. Questo sistema è riconducibile alla concettualità di sussidiarietà reciproca contro lo sbandamento, ottenuto dalla ricicatura di elementi appartenenti a piani diversi e pur aventi funzioni prioritarie differenti, così da conseguire un comportamento scatolare di insieme o di stretta derivazione da tale criterio strutturale. Si noti l'assenza di travi secondarie, controventi e quant'altro, perché tutte queste funzioni sono direttamente assolte dall'assito.

**ERRATA CORRIGE - AREA LEGNO 2006 MARZO-APRILE
"ADEGUATE COPERTURE PER I RIFIUTI PREZIOSI"**

pag. 45, leggasi correttamente " $M_A \text{ max} = 9.682,03 \text{ daN} \cdot \text{m}$ "

anziché " $M_A \text{ max} = 9.682,03 \text{ daN} \cdot \text{cm}^2$ "

pag. 49, leggasi correttamente "ossia $510 \cdot 1,6^2 \cdot 0,75 = 972 \text{ daN} >$

anziché "ossia $510 \cdot 1,6^2 \cdot 0,75 = 972 \text{ daN} < 913$ "

Costruttore della struttura lamellare:

direttori tecnici:

Statice struttura lamellare:

Strutturista per i sistemi CNP con adesivi Xepox:

Coverall s.r.l. – Perugia

geom. Marco Borgioni, rag. Michele Fioroni

ing. Giovanni Orlandi – Citta' Della Pieve (Pg)

geom. Giovanni Cenci – Como