

Intervents len-len a sec par rinfuarcâ i solârs in len

A L E S S A N D R A G U B A N A *

Ristret. Cetantis voltis al covente fâ intervents par rinfuarcâ i solârs di len par vie che a àn pocje rigiditât te flession, che e determine vibrazions sot di carics di esercizi e freccis altis. Chestis, pe viscositât dal len, a puedin rivâ a valôrs critics.

Si sa cun di plui che tai edificis in modon tes zonis sismichis al è une vore impuartant sigurâ une rispueste scatolâr globâl di chescj e duncje i solârs a àn di garantî un compuartament a diaframe rigjit tal plan (Tomažević 1999). Une tecniche di intervent che e funzione ben e che e je une vore doprade in Italie e je fondade su la realizazion di une sezion misturade len-beton, fate cui tràfs di len e une cape di beton di 4-5 cm di spes-sôr midiant conetôrs metalics di tipologjiis diferentis (Turrini, Piazza 1983; Giurani 2004; Gutkowski et al. 2008).

La sezion misturade di len-beton e sigure une plui fuarte rigiditât e tal stes timp la cape di beton, se conetude in maniere juste cui mûrs perimetrâi, e rive a creâ un diaframe di plan e miorâ la resistence globâl dai edificis in modon cuintri des azions sismichis.

Il beton al permet ancje di ridistribui i carics, al da un bon isolament acustic e protezion cuintri dal fûc. Dut cås ancje une solete pôc gruesse e aumente i carics permanents, lis azions su lis fondis e la entitât de azion sismiche. La sensibilitât simpri plui sintude pal restaur dai edificis e à puartât intai ultins agns a cirî soluzions technichis che a podedin garantî la autenticitât e la integritât dal manufat, la conservazion dai materiâi dal intervent, la sô compatibilitât cun ce che al è za, su la fonde dai principis des Cjartis dal Restaur (*Venice Charter* 1964; *Krakow Charter* 2000; ISCARSAH-ICOMOS 2003; UNI 2004)). Ideis diferentis a son stadis studiadis di pôc par disvilupâ soluzions reversibilis e mancun invasivis, doprant par esempi profîi di açâr o soletis di malte pôc gruessis. Plui di resint a son stadis proponudis soluzions inovativis fondadis su elements di len.

Peraulis clâf. Restaur di edificis, solârs in len, struturis componudis.

* Dipartiment Politecnic di Ingegnerie e Architetture, Universitât dal Friûl, Udin, Italie.
E mail: alessandra.gubana@uniud.it

1. Intervents len-len par aumentâ la rigiditât flessionâl. L'aument di rigiditât flessionâl si pues vê colegant taulis di len o panei in CLT (Cross Laminated Timber o XLam) ai trâfs che za a esistin, cussì si pues fâ cont suntune sezion a T componude. Doprâ materiâi tradizionâi e conessions a sec al è in acuardi cui principis dal restaur come la compatibilitât, la reversibilitât o la no invasivitât dal intervent. Par dutis lis cualitâts di sezions componudis lis carateristichis mecanichis de conession a son il fatôr principâl che al influence la rispueste strutturâl.

Il projet des sezions componudis al domande di considerâ la conession parziâl, par vie de deformabilitât dai conetôrs tra la anime e la ale. La analisi e pues lâ daûr dal “Metodi γ ” indicât tal Eurocodice 5 (EN 1995:2004), dulà che la rigiditât flessionâl de sezion componude e je calcolade tignint cont dal scoriment tra la anime e la ale. Si pues doprâ ancje il “Shear Analogy Method”, dulà che il trâf componût al è dividût in doi components virtuâi metûts dongje cun sbaris rigidis (Kreuzinger, Platten 1999; Deutsches Institut für Normung 2004; Kuhlmann, Michelfelder 2006). In leterature si puedin cjatâ ecuazions semplificadis par valutâ l'aument de frece, de curvadure, dai sfuarçs, in confront al câs di conession complete, in funzion dal massim scoriment ae interface. Par esempi l'aument de frece centrâl, par valôrs ordenaris dal rapuart L/H (di 18 a 25), dulà che L e je la lungjece dal trâf e H la altece de sezion, e pues jessi stimade cun:

$$\Delta w \cong 10 \delta \quad (1)$$

dulà che Δw al è l'aument de frece e δ al è il massim scoriment ae interface. A son stâts proponûts sistemis diferents di conession pe realizazion di sezions componudis len-beton, cualchidun di chescj a son stâts analizâts e provâts ancje par sistemis len-len invezit altris conetôrs a son stâts proponûts di pueste par cheste gnove tecnica.

1.1. Conession midiant pivots di len. La tecnica e previôt di leâ une taule cetant gruesse par ogni trâf (Figure 1) midiant pivots di len cun altis carateristichis mecanichis (Valluzzi et al. 2007). Cuntun projet coret de conession dai trâfs ai mûrs perimetrâi e taulis su la superficie si pues ancje realizâ un diaframe di plan. Il trâf cussì componût al presente une

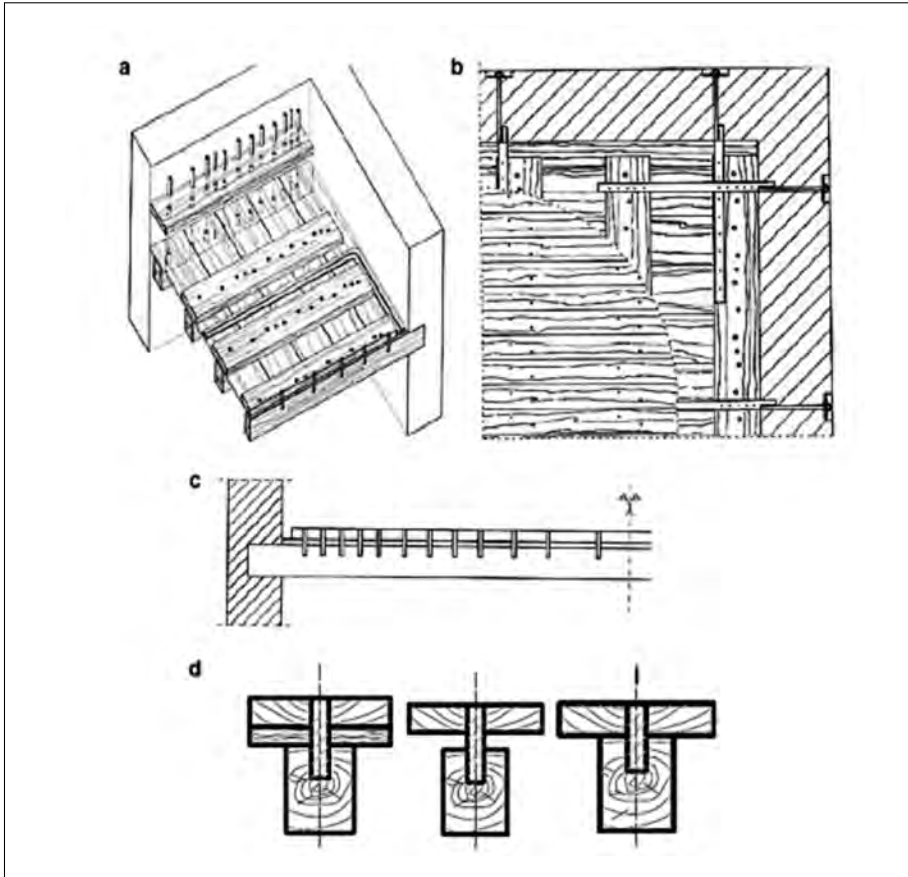


Figure 1. Intervents di rinfuarç fats cun taulis di len leadis cun conetôrs di len (Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia 1980).

conession che si pues deformâ tra la anime e la ale superiôr. Il breâr che al esisteve si pues conservâ. Lis taulis a influencin il mecanisim di colàs dai pivots, e provis sperimentâls a àn mostrât cemût che la prestazion miôr si le à vude cuant che il breâr al jere presint.

1.2. Trâfs conetûts cun vîts di len autofiletantis. Tra i diferents conetôrs che si puedin doprâ, lis vîts autofiletantis inclinadis a somein chês plui justis su la fonde di diviersis campagnis sperimentâls realizadis su trâfs a sezion misturade len-len fatis cun cheste conession (Bejtka et al. 2001,

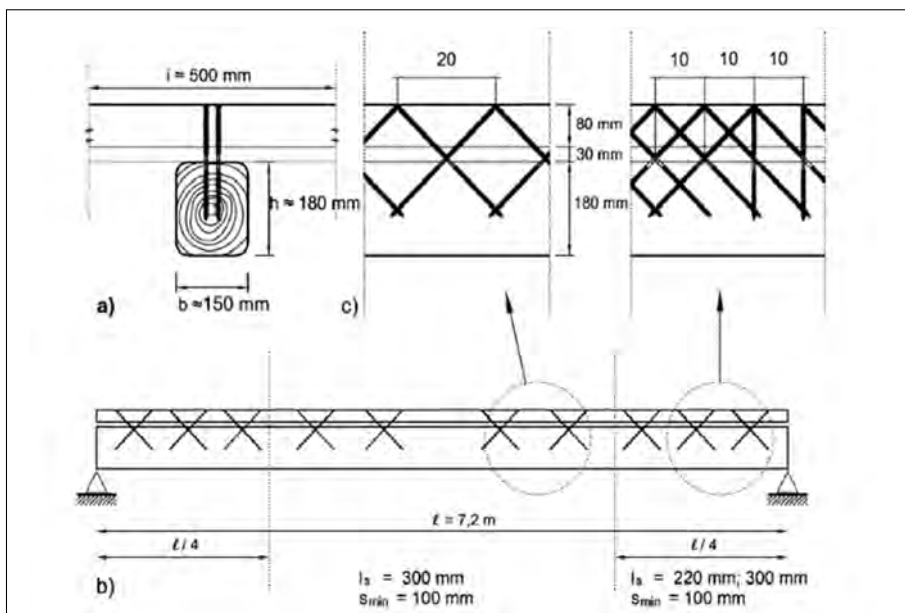


Figure 2. Diagrams de (a) seziun trasversâl e (b) seziun longjitudinâl de struture componude; detai de gjeometrie dal sisteme di conession. (i) Interval tra i tràfs; (l_s) lungjiece des vîts; (s) distance tra i conetôrs (Riggio et al. 2013).

2002; Tomasi et al. 2010). Pôc timp indaûr intun intervent di consolidament di un solâr tal cjistiel di Belasi a Segonzzone (TN) (Angeli et al. 2010; Riggio et al. 2013) i tràfs a son stâts compagnâts cun taulis in len lamelâr di classe GL 24, di 80 mm di spessôr (Figure 2). E je vignude fûr cussì une seziun a T cuntune conession che si pues deformâ tra la flangje e la anime, dividudis di un gnûf breâr grues 30 mm che al à sostituît chel di prime. La conession e je stade fate cun vîts autofiletantis in açâr 10.9, inclinadis tes dôs direziions cuntun angul di 45° .

Lis operations di colaut suntune part di solâr a àn mostrât un bon compartament e une buine concuardance tra i risultâts sperimentâi e i valôrs di projet.

1.3. Seziions componudis len-panei CLT. I paneli a strâts incrosâts (XLam o CLT) a son doprâts di pôc par fâ sù mûrs e solârs in edificis gnûfs cun struture puartante di len, ma a puedin jessi doprâts in buine maniere

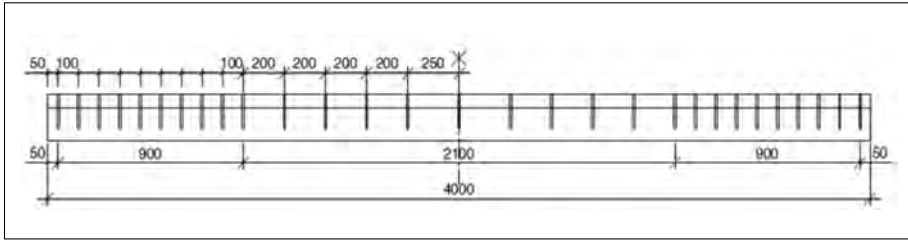


Figure 3. Scheme des busis calibradis pai pivots di açâr o distance des vîts autofiletantis (Gubana 2010, De Cillia 2013).

ancje tai intervents di restaur par otignî un efiet diaframe di plan, leantju cui tràfs che a son za.

I paneli a strâts incrosâts a son fats cuntune sucession di strâts di taulis, incolâts tra di lôr. Provis sperimentâls a àn mostrât che a àn une rigjiditât tal plan suficiente par garantî un compuartament a diaframe e par resisti a lis fuarcis di tai gjeneradis des azions sismichis. La soreposizion e il colegament dai paneli tai tràfs che a son za e pues duncje sostituî la solete in beton come intervent mancûl invasîf, mancûl pesant e plui reversibil (Gubana 2010).

I paneli XLam a son pal solits fats di une schirie di strâts che a rivin a 120 mm di spessôr. Intune campagne sperimentâl di ricercje a son stâts doprâts paneli speciâi di 60 mm par podê sedi doprâts soredut in intervents di consolidament, dulà che al è impuartant no variâ masse lis cuotis dai solârs.

Une schirie di tràfs (Figure 3) a son stâts testâts fin ae rotture: sîs a jerin leâts cun pivots di metal in busis calibradis (T1A ÷ T6A) e cuatri midiant vîts autofiletantis, metudis dentri in maniere perpendicolâr ae asse dal tràf (T1B ÷ T4B).

I tràfs a son stât testâts cjariantju in doi ponts a distance pâr a 1/3 de lûs. La prove e je stade fate a control di spostaments. La strumentazion e jere di 10 trasdutôrs potenziometricis cun precision di 1/1000 mm par monitorâ la frece in mezarie, la rotazion e il slitament dai sostegns (Figure 4). Come par dutis lis sezions componudis il compuartament al dipent de rigjiditât de conession e al varie tra lis dôs condizions limit di sezion componude cence conession $(EJ)_0$ e di sezion componude cun rigjiditât infinide $(EJ)_\infty$.

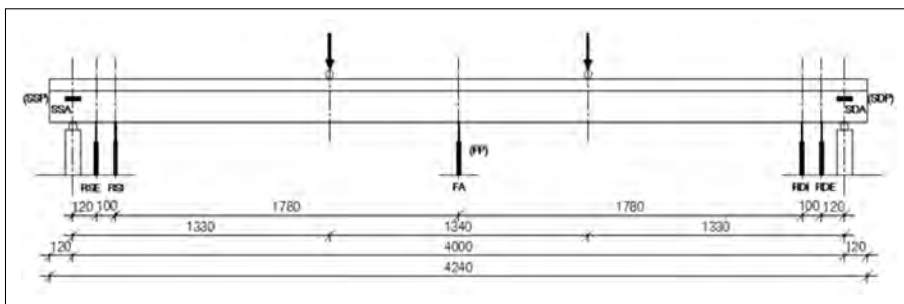


Figure 4. Configurazion di caric e strumentazion di misure (mm) (Gubana 2010, De Cillia 2013).

I diagrams (Figure 5) a mostrin un bon aument di rigiditât. Lis vîts aut-tofiletantis come conetôrs a puartin a une rigiditât iniziâl une vore alte in face di chê garantide dai pivots metûts drenti in busis preforadis, stant che nol è un scoriment iniziâl par jentrâ in contact cul len ator (Gubana 2010). Cun di plui si mostre un efiet iniziâl di atrît che al garantîs une rigiditât prossime a chê de sezion cun conession infinitementri rigjide fin a valôrs dal caric di cirche il 10% dal caric di colàs.

1.4. Considerazions. Ducj chescj intervients a àn di frontâ il probleme de altece totâl de sezion daspò dal intervent, stant che tal restaur al è une vore impuartant no cambiâ lis cuotis che a son za par vie che a puedin vignî fûr problemis cui barcons, i eliminârs des puartis, lis scjalis o cun eventuâls decorazions dai mûrs. Di chest pont di viste i panei XLam di dome 6 mm o ancje mancûl a puedin jessi une soluzion interessante.

Il coeficient di eficiencie de sezion componude η al è un bon parametri par valutâ la capacitât de conession di limitâ il scoriment tra lis dôs bandis de sezion componude. La espression dal coeficient di eficiencie η si le lei cussì:

$$\eta = \frac{(EJ) - (EJ)_0}{(EJ)_\infty - (EJ)_0} \quad (2)$$

dulà che (EJ) e je la vere rigiditât de sezion, $(EJ)_0$ e je la rigiditât de sezion cence conessions, $(EJ)_\infty$ e je la rigiditât de conession tal câs di conession complete.

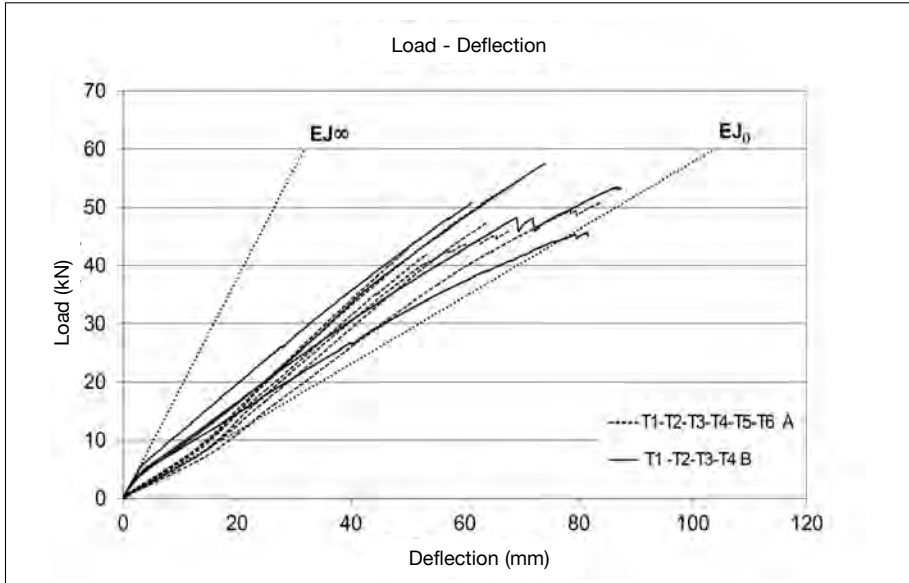


Figure 5. Curvis caric-deflession di tràfs cun seziòn componude Xlam-len.

I risultâts presentâts in literature a mostrin che valôrs tipics de eficiencie di seziòns componudis len-beton ($\eta = 0,4 \div 0,7$ [Piazza et al. 2005]) si puedin vê ancje cun soluzions len-len: il valôr massim sperimentâl in chestis provis al è stât pâr a 50%, ancje se doprant vîts inclinadis si pues rivâ a valôrs plui grancj ($\eta = 0,74$ [Riggio et al. 2013]).

Se i tràfs a àn freccis significativis par vie di carics permanents e de viscosità, a puedin vignî fûr problemis di esecuzion, stant che l'intradòs dai gnûfs elements e l'estradòs di chei che a son za a puedin no corispuindi. In chescj câs si puedin meti taulis di compensazion o si pues sfuarçâ ce che al è za.

2. Aument de rigiditât tal plan doprant elements di len o a base di len. Un bon efiet diaframe tai solârs di edificis che za a esistin al è une vo-re impuartant par vie che lis fuarcis derivadis dal sisme a puedin jessi trasferidis ai sistemis sismoresistents. Un dai prins documents che a proponevin l'aument de rigiditât flessionâl dai solârs di len al jere stât burît fûr de Region Friûl-Vignesie Julie daspò dal taramot dal 1976 (Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia 1980), stant che in chês volte lis leçs talianis

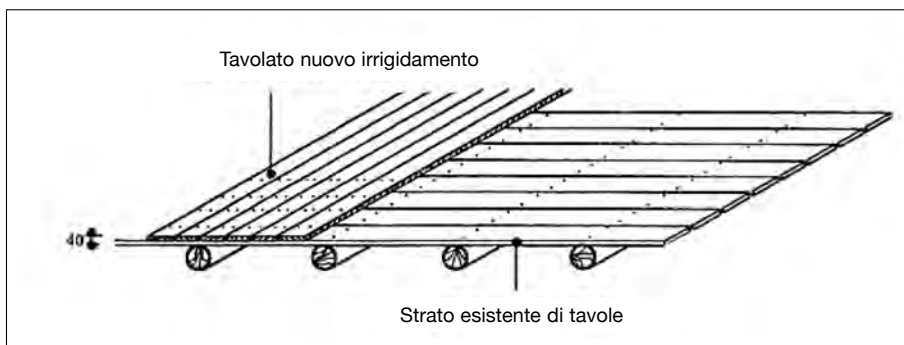


Figure 6. Gnûf breâr poiât sul esistente (Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia 1980).

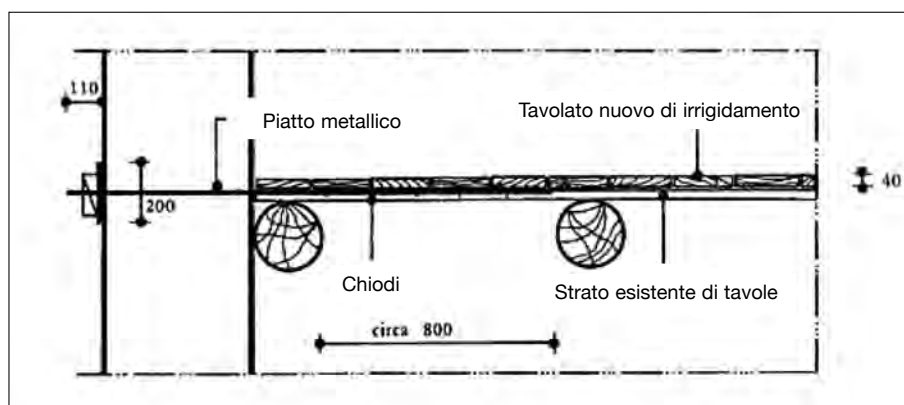


Figure 7. Detai dal colegament dai breârs cul mûr (Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia 1980).

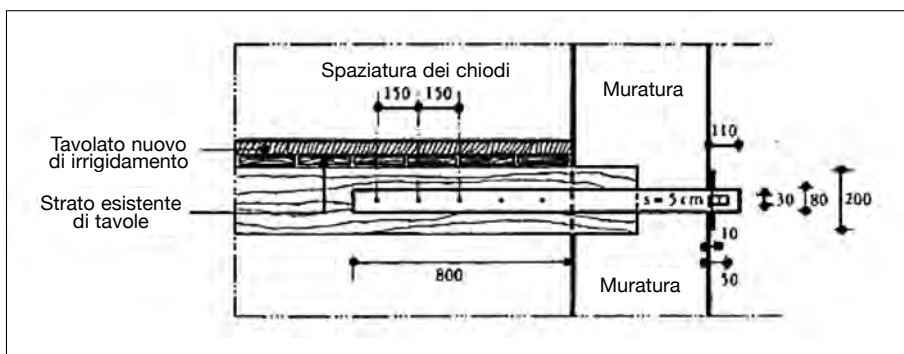


Figure 8. Detai dal colegament dai tràfs dal solâr cul mûr (Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia 1980).

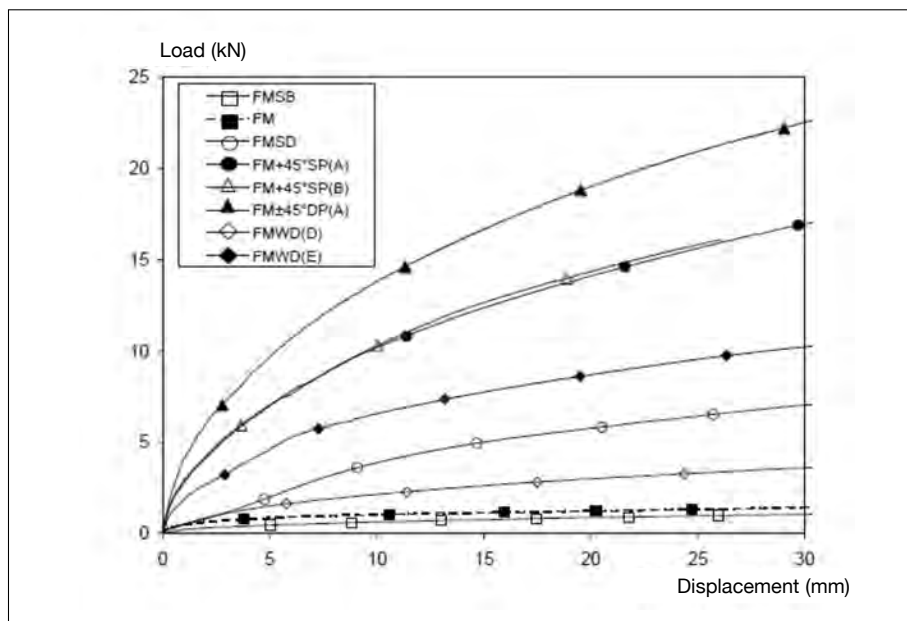


Figure 9. Curvis fuarce-deflection di campions no rinfuarçâts e rinfuarçâts (Valluzzi et al. 2010).

no davin indicazioni sui interventi tai edificis di modon ruvinâts dal sisme. La tecniche sugjeride e jere chê di soreponi un secont strât di taulis parsore di chel che al jere za, ma metût in direzion ortogonâl (Figure 6). Cheste tecniche e jere pandude tai edificis vieris tes areis sismichis de region.

E vignive mostrade la impuartance de coession dal solâr cui mûrs perimetrâi cun dissens di particolârs di pussibii colegaments dai impalcâts a dome i perimetrâi (Figure 7) e dai trâfs cui mûrs (Figure 8).

Anche lis provis davueltis te Universitât di Padue (Valluzzi et al. 2008, 2010) a mostrin ben l'aument de rigiditât tal plan dal solâr grazie ae so-reposizion di taulis inclaudadis.

Te Figure 9 a son mostrâts i risultâts des provis di rigiditât di vot impalcâts: doi a son fats sù di trâfs intune direzion (campioni FMSB e FM), un al è stât consolidât cun strichis di metal diagonâls (FMSD), dôs dome cuntun strât di taulis metudis a 45° rispjet ae asse dai trâfs cun sponde [(FMSP(A) e FMSP(A)], un cun dopli strât di taulis inclinadis [(FMDP(A)], un cun taulis diagonâls di rigiditât compagne aes strissis

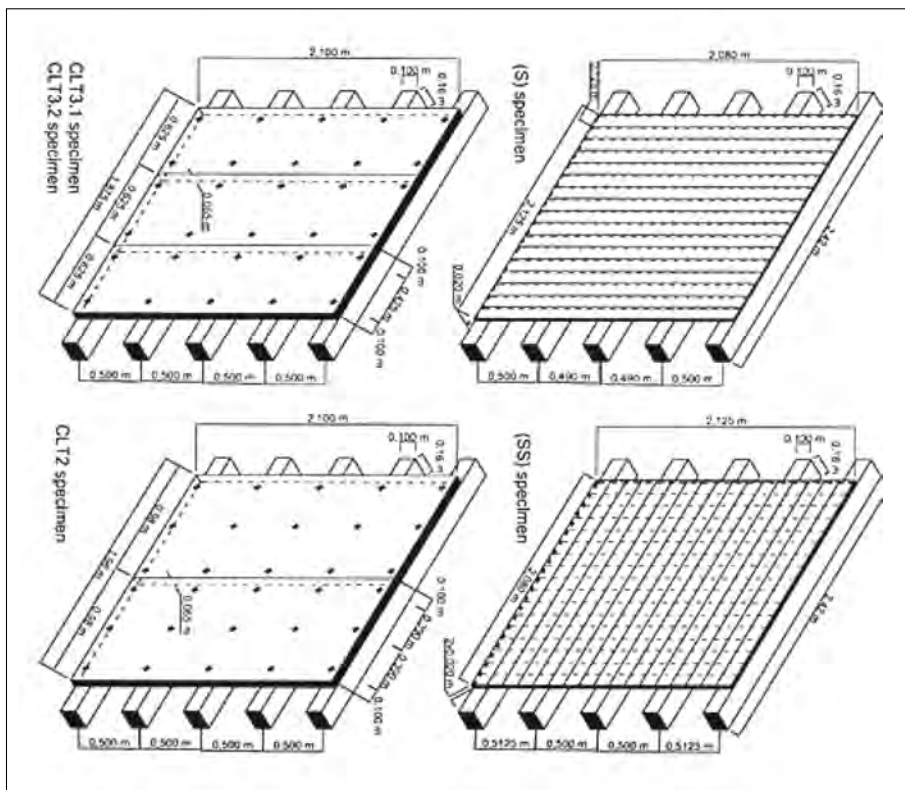


Figure 10. Campions doprâts in provis in scjale reâl (Branco et al. 2014).

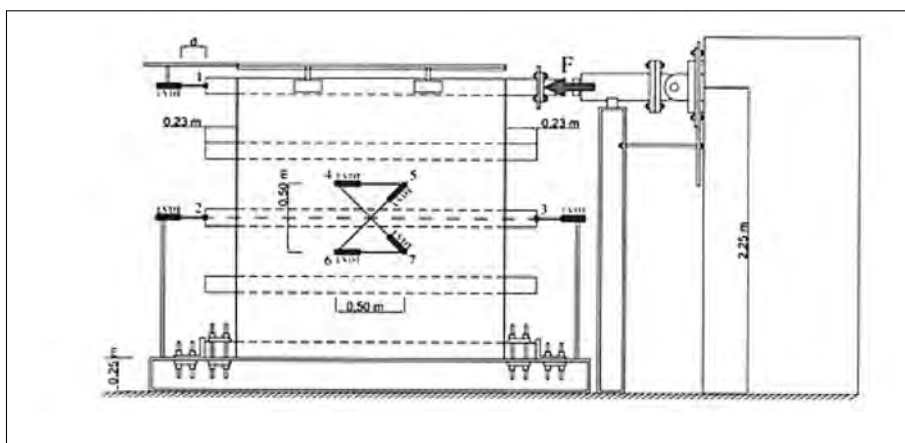


Figure 11. Configurazion des provis sul plan di solâr (Branco et al. 2014).

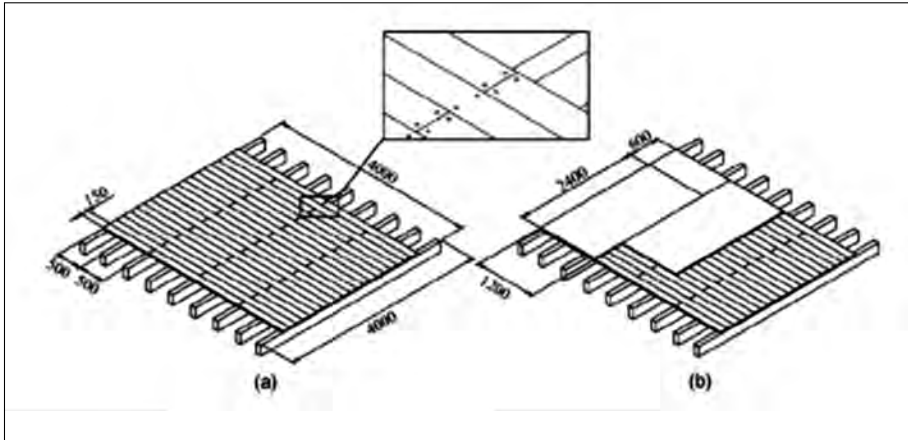


Figure 12. Disposizione del telaio (Brignola et al. 2012).

di fier [(FMWD(D))] e un cun dopli breâr une vore grues [(FMWD(E))]. Come mostrât tai risultâts sperimentâi il campion di massime rigjîditât al è chel cun doplis taulis diagonâls.

Cualchi prove sperimentâl interessante e je stade fate ancje in Portugal (Branco et al. 2014), dulà che cinc solârs a grandece reâl a son stâts provâts par analizâ il lôr comportament tal plan: un al jere fat cun trâfs e breâr (Figure 10 campion S), il secont al è stât irigjîdit cun secont strât di taulis ortogonâls al prin (Figure 10 campion SS) e chei altris trê cun doi paneli in CLT (Figure 10 campion CLT2) o trê paneli (Figure 10 campion CLT3.1 e campion CLT3.2). Lis provis a àn mostrât un bon aument de rigjîditât tal plan, fint a 5, 10 voltis chês dal campion no consolidât. Lis analisis numerichis a àn mostrât che la influence plui grande te rispueste e je par vie dal comportament des vîts di conession in direzion perpendicolâr rispjet ai trâfs.

Altris provis sperimentâls a son stadis fatis su intervents cun paneli di compensât colegâts cun vîts parsore dal breâr dal solâr di len (Figuris 11 e 12).

Bibliografie

- Angeli A., Piazza M., Riggio M., Tomasi R. (2010). Refurbishment of traditional timber floors by means of wood-wood composite structures assembled with inclined screw connectors. In Ceccotti A., Van de Kuilen J.W. (Eds) *Proceedings of 11th World Conference on Timber Engineering WCTE 2010* (Riva del Garda, TN, Italy, 20-24 June), pp. 193-201.
- Bathon L., Graf M. (2000). *A continuous wood-concrete-composite system*. Proceedings of World Conference of Timber Engineering, Whistler, BC.
- Bejtka I., Blaß H.J. (2001). Screws with continuous threads in timber connections. In S. Aicher, H.W. Reinhardt (Eds) *International RILEM Symposium on Joints in Timber Structures* (Stuttgart, Germany), pp. 193-201.
- Bejtka I., Blaß H.J. (2002). Joints with inclined screws In *Proceedings of Meeting 35 of the International Council for Building Research Studies and Documentation*, CIB, Working Commission W18 – Timber Structures, Kyoto, Japan. *CIB Paper*, 35-7-4.
- Branco J.M., Kekeliak M., Lourenço P.B. (2014). In plane stiffness of traditional timber floors strengthened with CLT. In S. Aicher et al. (Eds) *Materials and Joints in Timber Structures*. RILEM Bookseries 9, pp. 725-737.
- Brignola A., Pampanin S., Podestà S. (2012). Experimental Evaluation of the In-Plane Stiffness of Timber Diaphragms, *Earthquake Spectra*, November 2012, Vol. 28, No. 4, pp. 1687-1709.
- Clouston P., Bathon L., Schreyer A. (2005). Shear and Bending Performance of a Novel Wood-Concrete Composite System. *Journal of Structural Engineering*, 131, 9: 1404-1412.
- De Cillia L. (2013). *Experimental and numerical analysis of Timber to XLam composite section beam (in Italian)*. Master of Civil Engineering Thesis, University of Udine, Gubana A. Supervisor.
- Deutsches Institut für Normung (2004). *DIN 1052: Entwurf, Berechnung und Bemessung*.
- EN 1995: 2004. *Eurocode 5 Design of Timber Structures*.
- EN 1998-1: 2005. *Eurocode 8 Design of structures for earthquake resistance*.
- Gattesco N., Macorini L. (2008). High reversibility technique for in plane stiffening of wooden floors. In D'Ayala D., Fodde E. (Eds) *Proceedings of the VI International Conference on Structural Analysis of Historic Construction, SAHC 08, 2-4 July 2008, Bath, UK*, pp. 1035-1042.
- Gelfi P., Giuriani E., Marini A. (2002). Stud shear connection design for composite concrete slab and wood beams. *Journal of Structural Engineering*, 128, 12: 1544-1550.
- Giuriani E. (2004). L'organizzazione degli impalcati per gli edifici storici. *L'edilizia*, 134: 30-43.
- Giuriani E. (2012). *Consolidamento degli edifici storici*. Torino: Utet.
- Gubana A. (2010). Experimental tests on Timber -to- Cross Lam composite section beams. In Ceccotti A., Van de Kuilen J.W. (Eds) *Proceedings of 11th World Conference on Timber Engineering WCTE 2010* (Riva del Garda, TN, Italy, 20-24 June).
- Gutkowski R., Brown R., Shigidi A., Natterer J. (2008). Laboratory tests of composite wood-concrete beams. *Construction and Building Materials*, 22, 6: 1059-1066.
- ISCARSAH-ICOMOS (2003). *Principles for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage*. 14th General Assembly in Victoria Falls, Zimbabwe, October.
- Krakow Charter (2000). International Conference on Conservation, Krakow.
- Kreuzinger H. (1999). Platten, Scheiben und Schalen: Ein Berechnungsmodell für gängige Statikprogramme. *Bauen mit Holz*, 1: 34-39.
- Kuhlmann U., Michelfelder B. (2006). *Optimised design of grooves in timber-concrete composite slabs*. Proceedings of the 10th World Conference on Timber Engineering (Portland,

- Oregon, USA). Yeoh D., Fragiocomo M., De Franceschi M., Heng Boon K. (2011). State of the art on timber-concrete composite structures: Literature Review. *Journal of Structural Engineering*, 137, 10: 1085-1095.
- Modena C., Valluzzi M.R., Garbin E., da Porto F. (2004). A strengthening technique for timber floors using traditional materials. In *Proceedings of the 4th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions SAHC 04* (Padova, Italy, 10-13 November 2004). Rotterdam: Balkema, pp. 911-921.
- Natterer J., Hamm J., Favre P. (1996). Composite wood-concrete floors for multi-story buildings. In *Proceedings of the 4th International Wood Engineering Conference, New Orleans, Louisiana, October 28-31*. Madison, Wisconsin, USA: Omnipress, vol. 3, pp. 3431-3435.
- NZS 3603, *New Zealand Timber Structures Standards*, 1993.
- Piazza M., Tomasi R., Modena R. (2005). *Strutture in legno*. Milano: Hoepli.
- Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia – Segreteria Generale Straordinaria: Legge Regionale 20 giugno 1977, n. 30 – *Recupero statico e funzionale degli edifici. Documento tecnico n. 2 DT2: Raccomandazioni per la riparazione strutturale degli edifici in muratura*. Gruppo Disciplinare Centrale, maggio 1980.
- Riggio M., Tomasi R., Piazza M. (2013). Refurbishment of a traditional timber floor with a reversible technique: importance of the investigation campaign for design and control of the intervention. *International Journal of Architectural Heritage*, 8: 74-93.
- Ronca P., Gelfi P., Giuriani E. (1991). The behavior of a wood-concrete composite beam under cyclic and long term loads. In *Structural Repair and Maintenance of Historic Buildings*. Vol. 1: *General Studies, Materials and Analysis*. Southampton, United Kingdom: Computational Mechanics Publications, pp. 263-275.
- Tomasi R., Crosatti A., Piazza M. (2010). Theoretical and experimental analysis of timber-to-timber joints connected with inclined screws. *Construction and Building Materials*, 24: 1560-1571.
- Tomažević M. (1999). *Earthquake-resistant Design of Masonry Buildings*. London: Imperial College Press.
- Turrini G., Piazza M. (1983). Una tecnica di recupero dei solai in legno. *Recuperare*, 5: 396-407.
- UNI – Ente Nazionale Italiano di Unificazione (2004). UNI 11138 – *Cultural Heritage – Wooden artefacts – Criteria for the preliminary evaluation, the design and the execution of works*, Milano.
- Valluzzi M.R., Garbin E., Dalla Benetta M., Modena M. (2008). Experimental assessment and modeling of in-plane behaviour of timber floors. In D'Ayala D., Fodde E. (Eds) *Proceedings of the VI International Conference on Structural Analysis of Historic Construction, SAHC 08* (2-4 July 2008, Bath, UK), pp. 755-762.
- Valluzzi M.R., Garbin E., Dalla Benetta M., Modena M. (2010). In-plane Strengthening of Timber floors for the seismic improvement of masonry buildings. In Ceccotti A., Van de Kuilen J.W. (Eds) *Proceedings of 11th World Conference on Timber Engineering WCTE 2010* (Riva del Garda, TN, Italy, 20-24 June).
- Valluzzi M.R., Garbin E., Modena C. (2007). Flexural Strengthening of timber beams by traditional and innovative techniques. *Journal of Building Appraisal*, 3, 2: 125-143.
- Venice Charter (1964). Second International Congress of Architects and Technicians of Historical Monuments (Venice, May 25-31).
- Wilson A., Pierre J.H., Quenneville P.J.H., Ingham J.M. (2013). In-plane orthotropic behavior of timber floor diaphragms in unreinforced masonry buildings. *Journal of Structural Engineering*, 140, 1: 1-11.