POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Sul collasso assiale di travi in parete sottile realizzate con adesivi : primi risultati sperimentali

Original
Sul collasso assiale di travi in parete sottile realizzate con adesivi : primi risultati sperimentali / Avalle, Massimiliano; Belingardi, Giovanni; Vadori, Roberto. - ELETTRONICO. - (2001), pp. 495-503. (Intervento presentato al convegno XXX Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana per l'Analisi delle Sollecitazioni tenutosi a Alghero nel 12-15 settembre 2001).

Availability:
This version is available at: 11583/1407776 since:

Publisher:

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

20 April 2024

Sul collasso assiale di travi in parete sottile realizzate con adesivi: primi risultati sperimentali

M. Avalle, G. Belingardi, R. Vadori

Dipartimento di Meccanica – Politecnico di Torino
Corso Duca degli Abruzzi 24 – 10129 Torino

Keywords: adhesive joints, thin walled beam, axial collapse, energy absorption

Sommario

Le giunzioni incollate possono rappresentare una valida alternativa ad altri tipi di giunzioni più tradizionali, come la saldatura a punti o la rivettatura. L'uso di tali giunzioni nel settore autoveicolistico, però, è stato sinora limitato a particolari strutturali di secondaria importanza, tra le altre ragioni anche a causa della scarsità di prove sperimentali che determinino l'effettiva capacità di resistenza in condizioni normali di utilizzo e di assorbimento energetico in caso di urto di strutture realizzate per incollaggio.

In questo lavoro si confrontano le prestazioni strutturali di uno stesso elemento tipico dei telai automobilistici, realizzato con due diverse tecnologie di assemblaggio: saldatura a punti oppure incollaggio, inoltre per l'incollaggio sono stati considerati un adesivo acrilico ed uno epossidico.

Le prove sperimentali svolte hanno determinato l'efficacia della giunzione incollata dal punto di vista dell'assorbimento energetico in caso di sollecitazione assiale quasi-statica, per confronto con l'analoga caratteristica di assorbimento della trave saldata a punti, in particolare con l'adesivo acrilico si è avuto un significativo aumento della forza media (+45%) e della forza massima iniziale (+52%).

Abstract

Bonded joints could be an effective choice if compared with other types of more traditional joining technologies, such as spot welding or riveting. The use of such joints in the automotive industry is limited, up to nowadays, to a not very important parts, due to the fact, among the others, of lack of experimental data describing the actual energy absorbing capabilities in case of an impact load.

In this work two different technologies for the assemblage of a typical automotive structure used in automotive frame are compared: spot-welding or adhesive bonding, moreover in the adhesive bonding both a metacrilate and an epoxy have been considered. Main goal of the experiments is to determine the effectiveness of the bonded joint with respect of energy absorption in case of axial crush, in comparison with the analogous characteristic of a spot-welded one.

The adhesive bonded beam turns out to be effective and in the particular case of the metacrilate adhesive the energy absorption capabilities increases in a noticeable way, with a 45% mean crushing force and 52% maximum force improvement.

1. INTRODUZIONE

L'assemblaggio delle travi che costituiscono l'ossatura portante della scocca degli autoveicoli è generalmente realizzato per mezzo di saldatura a punti; a tale scopo la sezione retta delle travi presenta delle flange, ricavate mediante piegatura o stampaggio, fra loro opportunamente affacciate: le dimensioni geometriche delle pinze di saldatura ed il vincolo di una facile accessibilità delle posizioni in cui deve essere eseguito il punto di saldatura ne impongono di fatto la presenza.

Nell'industria dei mezzi di trasporto sono recentemente state prese in considerazione soluzioni alternative alla saldatura a punti quali ad esempio la rivettatura [1,2], l'aggraffatura (*clinching*) [2,3] e la giunzione con adesivi [4–6]. Queste ultime, come anche le giunzioni rivettate, sono largamente utilizzate nelle costruzioni aeronautiche, anche per realizzare giunzioni strutturali di grande importanza per la sicurezza del velivolo ma nelle costruzioni autoveicolistiche sono attualmente utilizzate solo in parti della scocca di secondaria importanza rispetto alle prestazioni di resistenza ed affidabilità richieste. Ciò è dovuto a molti fattori, tra cui hanno particolare rilievo i criteri di progettazione e le problematiche di realizzazione in fabbrica.

L'adozione delle giunzioni con adesivi richiede una preparazione specifica delle superfici che devono essere congiunte, sia in termini di pulizia, sia in termini di geometria (posizionamento relativo e parallelismo), sia ancora in termini di un differente ciclo di lavorazione (le parti assemblate tramite incollaggio non possono

essere movimentate immediatamente dopo la realizzazione della giunzione ma occorre attendere qualche tempo perché la polimerizzazione abbia tempo di svilupparsi).

La progettazione delle giunzioni incollate richiede una condivisa fiducia nelle capacità dei giunti realizzati con adesivi non solo per ciò che riguarda la rigidezza strutturale ma più precisamente per ciò che riguarda il comportamento a fatica ed il comportamento a crash di tali componenti nel caso in cui siano realizzati con giunzioni adesive.

E' in corso una ricerca coordinata a livello nazionale sui criteri di resistenza ed integrità delle giunzioni strutturali incollate, nel corso della quale sono affrontate varie problematiche delle giunzioni con adesivo. In particolare per le applicazioni più direttamente legate alla progettazione della struttura del veicolo, le unità operative delle Università di Ferrara e Padova stanno svolgendo studi relativi al comportamento a fatica [7] e l'unità operativa del Politecnico di Torino sta svolgendo studi relativi al comportamento di travi scatolate in caso di collasso assiale quasi-statico e ad impatto.

Inoltre le unità operative della Università di Bologna e del Politecnico di Torino stanno svolgendo studi sulle metodologie di controllo della qualità delle giunzioni adesive. In particolare l'unità operativa del Politecnico di Torino ha messo a punto una metodologia di verifica della qualità delle giunzioni fra componenti in lamiera basata sull'analisi di rilievi ad ultrasuoni [10].

In questo lavoro si intende riferire sui primi risultati ottenuti, avendo condotto alcune prove su travi ad asse rettilineo, in parete sottile, con sezione retta ad Ω realizzate con lamiera di acciaio FeP04 (UNI 10130/91) assemblate o con saldatura a punti o con incollaggio.

2. STRUTTURA UTILIZZATA

La trave che è stata presa in considerazione per lo svolgimento delle prove di collasso assiale è una trave ad asse rettilineo della lunghezza di 300 mm, in lamiera piegata dello spessore di 0.8 mm, con la sezione retta ad Ω chiusa con la giunzione di una piattabanda dello stesso materiale e spessore. La sezione è quadrata con il lato di 60 mm mentre le flange, utilizzate principalmente per la saldatura a punti, sono larghe 16 mm.

La trave è costruita in lamiera (0.8 mm di spessore) di acciaio FeP04, un acciaio a basso contenuto di carbonio ed ad alta formabilità, comunemente utilizzato per la realizzazione di parti di scocca di autoveicoli, con le seguenti caratteristiche meccaniche: tensione di snervamento 190 MPa, modulo di incrudimento nel tratto plastico 0.638 GPa, coefficienti di Cowper e Symonds per la descrizione della sensibilità alla velocità di deformazione $D=100\ s^{-1}$ e $q=4$ [8,9].

La saldatura a punti è stata eseguita con procedimento industriale, con i normali parametri geometrici per tale tipo di struttura: diametro del punto di saldatura 6 mm, passo del punto di saldatura 40 mm, posizione del punto sulla linea media della flangia, posizione del primo punto a 20 mm (cioè metà passo) dai bordi estremi. Prima della esecuzione della saldatura a punti gli operatori dell'officina hanno avuto cura di posizionare le due parti così da allineare nella maniera appropriata i bordi del profilato ad Ω e della piattabanda.

La giunzione incollata è stata eseguita con due diversi tipi di adesivo: l'adesivo Loctite 330, che è un estere metacrilato modificato, ed l'adesivo CIBA araldite 2010, che è un epossidico bicomponente. L'incollaggio è stato eseguito in entrambi i casi adottando la procedura raccomandata dai fornitori degli adesivi.

In particolare, per l'adesivo Loctite 330, le superfici delle due parti da collegare sono state accuratamente ripulite prima con carta abrasiva a grana fine e poi sgrassate chimicamente con lo specifico *cleaner* Loctite 7063, è stato quindi applicato l'attivatore Loctite 7388 ed infine l'adesivo Loctite 330. Per l'adesivo araldite 2010 invece dopo la pulitura con carta abrasiva e lo sgrassaggio chimico, si è applicato direttamente l'adesivo eseguendo la miscelazione dei due componenti nell'apposito beccuccio erogatore.

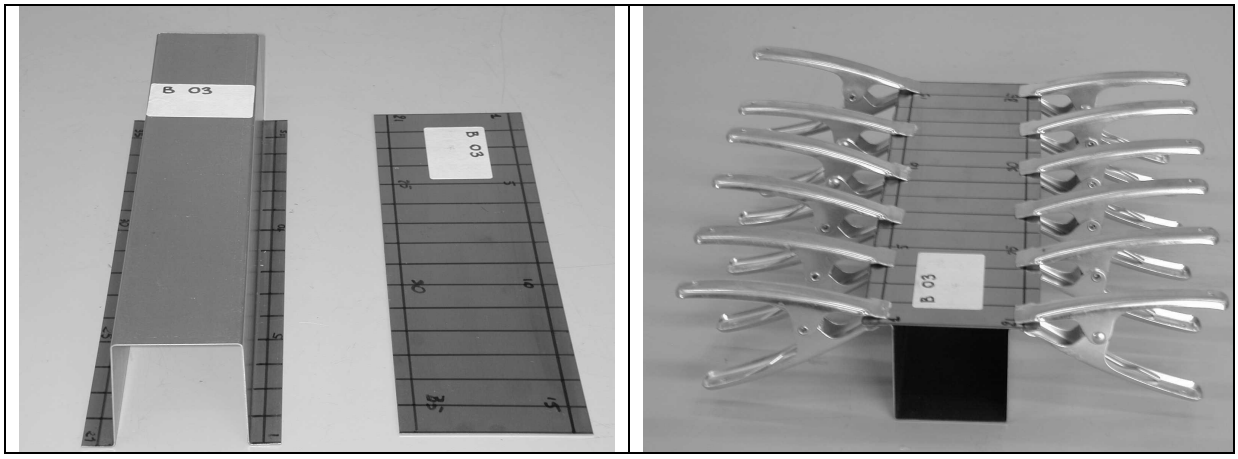

Fig. 1 Realizzazione per incollaggio con adesivo Loctite 330 di una delle travi

La preparazione delle travi è stata svolta manualmente nel Laboratorio di Meccanica Sperimentale della II Facoltà di Ingegneria del Politecnico di Torino (si veda la fig. 1).

Nel preparare la giunzione incollata non si è limitata la deposizione dell'adesivo solo nella parte piana delle flange ma, sulla base delle indicazioni avute da preliminari valutazioni agli elementi finiti dello stato di tensione indotto nell'adesivo, di estendere la deposizione dell'adesivo così da interessare anche tutta la zona del raccordo.

Prima di eseguire le prove di collasso assiale le cinque travi preparate tramite la giunzione incollata sono state sottoposte a controlli non distruttivi tramite ultrasuoni secondo il procedimento specificamente sviluppato [10], così da verificare la qualità della giunzione realizzata. I controlli eseguiti hanno evidenziato la buona qualità di tutte le giunzioni eseguite.

3. ESECUZIONE DELLE PROVE DI COLLASSO

3.1 Prove di collasso sulle travi saldate a punti

Le prove di collasso assiale delle travi realizzate con saldatura a punti sono state eseguite con la macchina universale di prova materiali Schenck Trebel ad azionamento meccanico, nel laboratorio del Dipartimento di Meccanica. La forza assiale applicata è stata misurata con la cella di carico della macchina (fondo scala 100 kN), lo spostamento della traversa mobile con un trasduttore a filo. I segnali dei due trasduttori sono stati acquisiti ad una frequenza di campionamento pari a 50 campioni al secondo con un PC equipaggiato con una scheda di acquisizione della National Instruments, tramite un programma sviluppato in ambiente LabView.

La velocità di avanzamento della traversa mobile della macchina è stata tenuta fissa per tutte e tre le prove eseguite e pari a 15 mm/min.

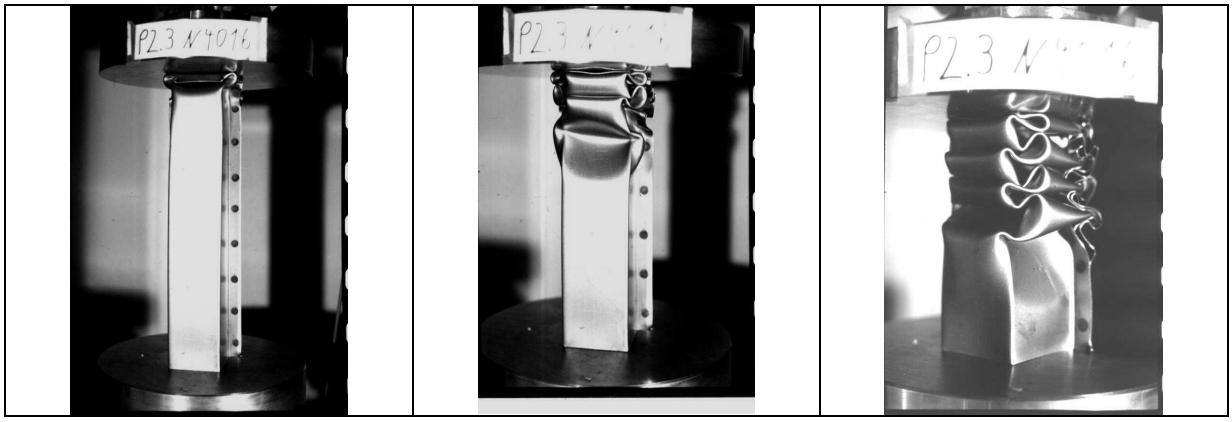

Fig. 2 Immagini in sequenza della configurazione deformata della trave N4016003 durante collasso assiale

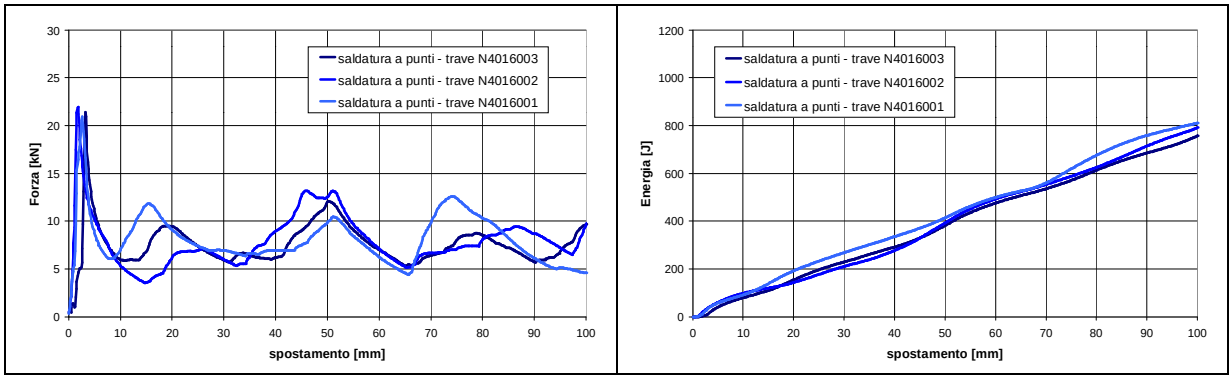

Fig. 3 Curve forza - schiacciamento ed energia assorbita - schiacciamento per le tre travi saldate a punti

La figura (2) mostra tre immagini in sequenza della configurazione deformata di una trave, la N4016003[1], durante il collasso assiale. Si può notare che la forma di collasso è molto regolare e caratterizzata dalla formazione in successione dei classici lobi di deformazione [11–13].

La figura (3a) mostra l'andamento delle tre curve forza – schiacciamento rilevate mentre la fig. (3b) mostra l'andamento delle tre curve energia assorbita - schiacciamento, dove i valori della energia assorbita sono ottenuti per semplice integrazione dei valori della forza nello spostamento della traversa; è evidente una elevata ripetibilità dei risultati sperimentali.

L'andamento del diagramma della forza in funzione dello schiacciamento è tipico del collasso assiale di strutture in parete sottile: il primo picco di forza si ha in occasione del raggiungimento delle condizioni di instabilità di parete (a seconda dei casi si potrà verificare una instabilità elastica ovvero una instabilità plastica), i picchi successivi segnano la formazione di ogni nuovo lobo (fold).

La tabella (1) raccoglie i valori di due parametri caratteristici ottenuti analizzando le curve di fig. (3a). La forza massima, che corrisponde al primo picco, è un indice della forza necessaria per inizializzare il collasso mentre la forza media dà una misura della capacità di assorbimento di energia durante il collasso plastico.

		Forza media (kN)	**Forza max (kN)**
Saldatura a punti	N1	8.09	20.92
	N2	7.92	21.92
	N3	7.57	21.41
	valor medio	7.86	21.42
	deviazione standard	0.26	0.50

Tab. 1 Parametri caratteristici per le travi saldate a punti

3.2 Prove di collasso sulle travi incollate

Le prove di collasso assiale delle travi realizzate con incollaggio sono state eseguite con la macchina universale di prova materiali Dartec ad azionamento oleodinamico, nel laboratorio di Meccanica Sperimentale della II Facoltà di Ingegneria. La forza assiale applicata è stata misurata con la cella di carico della macchina (fondo scala 100 kN), lo spostamento della traversa mobile è stato misurato con il trasduttore di spostamento della macchina stessa. I segnali dei due trasduttori sono stati acquisiti ad una frequenza di campionamento pari a 100 campioni al secondo per le travi da B1 a B4 e 5000 campioni al secondo per la trave B5, rimando invariata l'elettronica di acquisizione.

[1] Ciascuna prova è stata etichettata con una sigla in cui compaiono le seguenti informazioni: Nxxyyzzz, dove xx è il passo di saldatura, yy la larghezza della flangia, zzz il numero progressivo identificativo della prova effettuata nelle specificate condizioni.

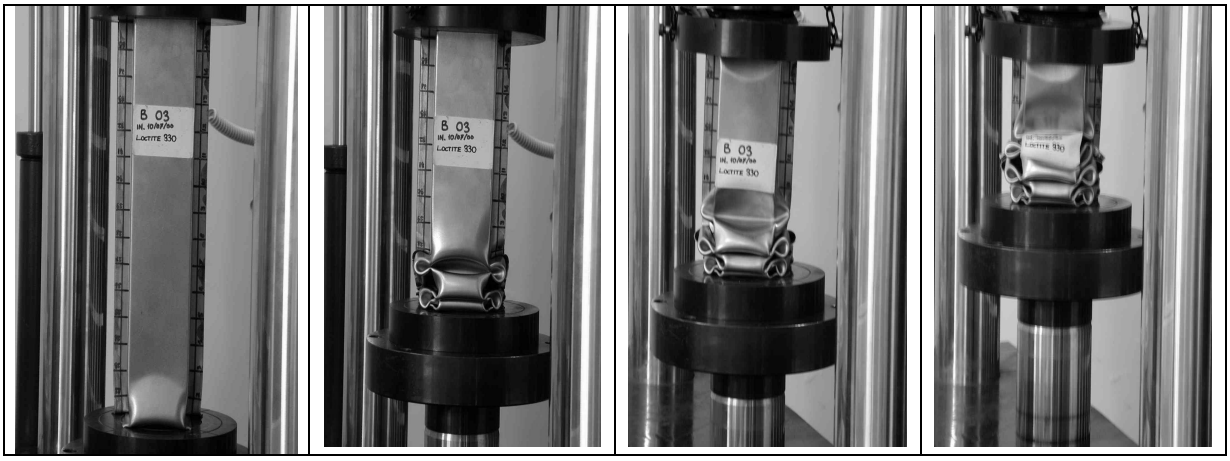

Fig. 4 Immagini in sequenza della configurazione deformata della trave B3 durante il collasso assiale

La velocità di avanzamento della traversa mobile della macchina è stata fissata pari a 30 mm/min per le travi B1 e B2, 15 mm/min per le travi B3 e B4 e 4800 mm/min per la trave B5. Pertanto le prime quattro prove sono state condotte a bassa velocità di deformazione, sostanzialmente uguale a quella adottata per le tre prove eseguite sulle travi saldate a punti; la quinta prova (B5) è invece stata eseguita quasi alla massima velocità consentita dalla macchina di prova Dartec allo scopo di studiare il comportamento in condizioni più elevate velocità di deformazione ed evidenziare eventuali effetti della sensibilità del materiale allo *strain-rate*.

La figura (4) mostra quattro immagini in sequenza della configurazione deformata della trave B3 durante il collasso assiale. Si può notare che la forma di collasso è molto regolare, anche in questo caso caratterizzata dalla formazione in successione dei classici lobi di deformazione.

La figura (5a) mostra l'andamento delle tre curve forza - schiacciamento rilevate durante le prove eseguite sulle travi realizzate con adesivo Loctite 330. Si può notare che mentre le curve relative alle prove eseguite sulle travi B1 e B3 mostrano sostanzialmente gli stessi valori della forza, la curva della prova sulla trave B5 mostra un picco iniziale molto più elevato (il valore massimo è cresciuto quasi del 50%) ed anche per i picchi secondari si possono notare valori di forza più elevati sebbene non nella stessa misura. È ragionevole imputare tale comportamento, oltre che a più elevate forze d'inerzia, anche alla sensibilità del materiale alla velocità di deformazione.

Si può anche notare che il valore medio della forza, cioè la capacità di assorbire energia per deformazione plastica, limitatamente all' intervallo di valori di velocità di avanzamento realizzati in prova, non è significativamente influenzato dalla velocità di deformazione.

La figura (5b) mostra l'andamento delle tre curve energia assorbita - schiacciamento.

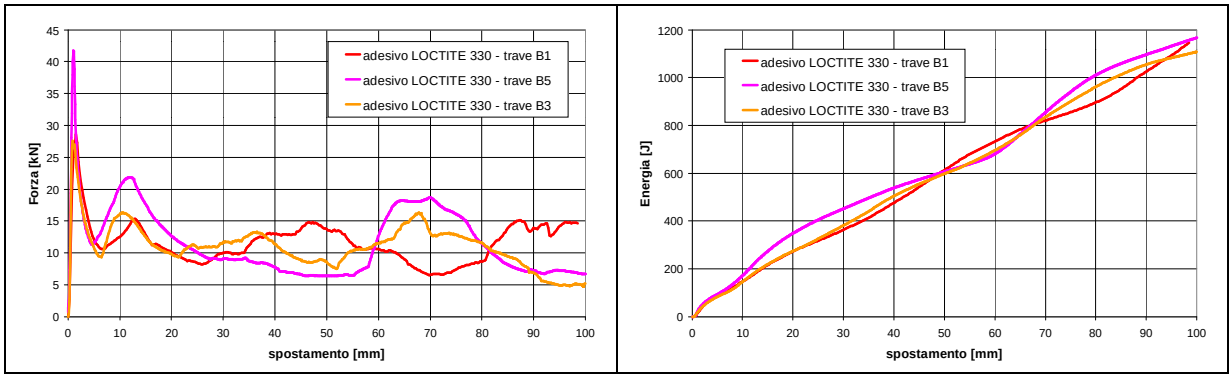

Fig. 5 Curve forza - schiacciamento ed energia assorbita - schiacciamento per le tre travi incollate con adesivo Loctite 330

		Forza media (kN)	Forza max (kN)
adesivo Loctite 330	B1	11.62	28.57
	B3	10.80	27.62
	B5	11.79	41.75
	valor medio	11.40	32.65
	Deviazione standard	0.53	7.90

Tab. 2 Parametri caratteristici per le travi assemblate con adesivo Loctite 330

La figura (6a) mostra l'andamento delle due curve forza - schiacciamento rilevate durante le prove eseguite sulle travi realizzate con adesivo araldite 2010. Si può notare che le curve mostrano sostanzialmente gli stessi valori della forza. Si può anche notare che il valore medio della forza, cioè la capacità di assorbire energia per deformazione plastica, limitatamente all' intervallo di valori di velocità di avanzamento realizzati in prova, non è significativamente influenzato dalla velocità di deformazione.

Il valore massimo della forza è significativamente vicino a quelli rilevati durante le prove sulle travi incollate con adesivo Loctite 330.

La figura (6b) mostra l'andamento delle tre curve energia assorbita – schiacciamento; i valori ottenuti sono significativamente inferiori a quelli ottenuti dalle prove sulle travi incollate con adesivo araldite 2010.

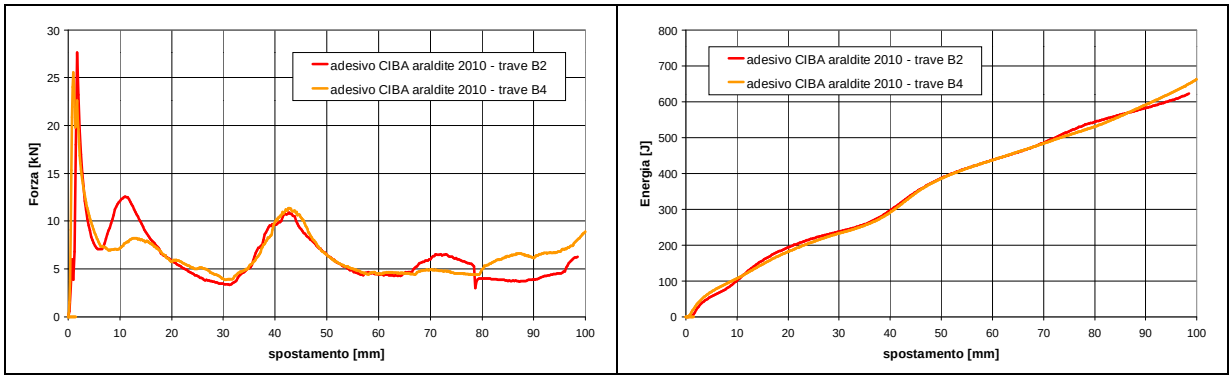

Fig. 6 Curve forza - schiacciamento ed energia assorbita - schiacciamento per le tre travi incollate con adesivo araldite 2010

		Forza media (kN)	Forza max (kN)
adesivo araldite 2010	B2	6.31	27.60
	B4	6.77	25.56
	Valor medio	6.54	26.58

Tab. 3 Parametri caratteristici per le travi assemblate con adesivo araldite 2010

3.3 Confronto fra i risultati delle prove di collasso

Le figure (7a) e (7b) raccolgono i grafici della forza e della energia assorbita in funzione dello schiacciamento per tre delle otto prove eseguite, una relativa alla giunzione saldata a punti ed una per ciascuno dei due tipi di adesivo considerati. La sovrapposizione delle curve nella stessa figura permette di evidenziare le differenze di comportamento fra le travi realizzate per saldatura a punti e quelle realizzate per incollaggio ed inoltre la differenza di comportamento che si consegue con i due tipi di adesivo considerati.

Si può innanzitutto notare che il valore massimo della forza (il primo picco nel grafico di fig. 7a) risulti nettamente più elevato per le prove condotte sulle travi incollate sia con l'adesivo Loctite 330 sia con l'adesivo araldite 2010 rispetto a quelle condotte sulle travi saldate a punti.

Si rileva inoltre che l' energia assorbita (valor medio della forza in fig. (7a) ovvero andamento delle curve di fig. 7b) risulta nettamente più elevata per le prove condotte sulle travi incollate con adesivo Loctite 330 rispetto a quelle condotte sulle travi saldate a punti e sulle travi incollate con adesivo araldite 2010.

La tabella (4) raccoglie gli incrementi sia in valore assoluto sia in valore relativo della forza massima e della forza media fra le travi assemblate secondo la tecnologia dell'incollaggio in rapporto a quelle realizzate con la saldatura a punti.

	Adesivo Loctite 330		**Adesivo araldite 2010**	
	Valore assoluto (kN)	Valore relativo	Valore assoluto (kN)	Valore relativo
incr. forza media	3.54	0.45	-1.32	-0.17
incr. forza massima	11.23	0.524	5.16	0.24

Tab. 4 Incremento dei parametri caratteristici per le travi incollate rispetto a quelle saldate a punti

Particolarmente rilevante è l'incremento della forza media (+45%) ovvero l'incremento della capacità di assorbire energia deformandosi plasticamente durante il collasso per le travi realizzate con adesivo Loctite 330. Tale comportamento trova una spiegazione nella capacità dimostrata dall'adesivo utilizzato di unire fra loro le due flange in maniera molto efficace per tutta la loro estensione, sia in larghezza sia in lunghezza, così da ottenere un comportamento in flessione molto prossimo al comportamento di una singola flangia con spessore

doppio. Questa collaborazione non si ha invece nel caso della giunzione saldata a punti dove le due flange sono fin dall'inizio della prova libere di compiere moti relativi durante la flessione di collasso, ovviamente ad eccezione di quel numero limitato di zone in cui sono stati realizzati i punti di saldatura. Si osservi a tale proposito la terza immagine di fig. (2) dove risulta evidente lo scorrimento relativo fra le due flange in seguito alla flessione delle pareti che dà luogo alla formazione dei lobi.

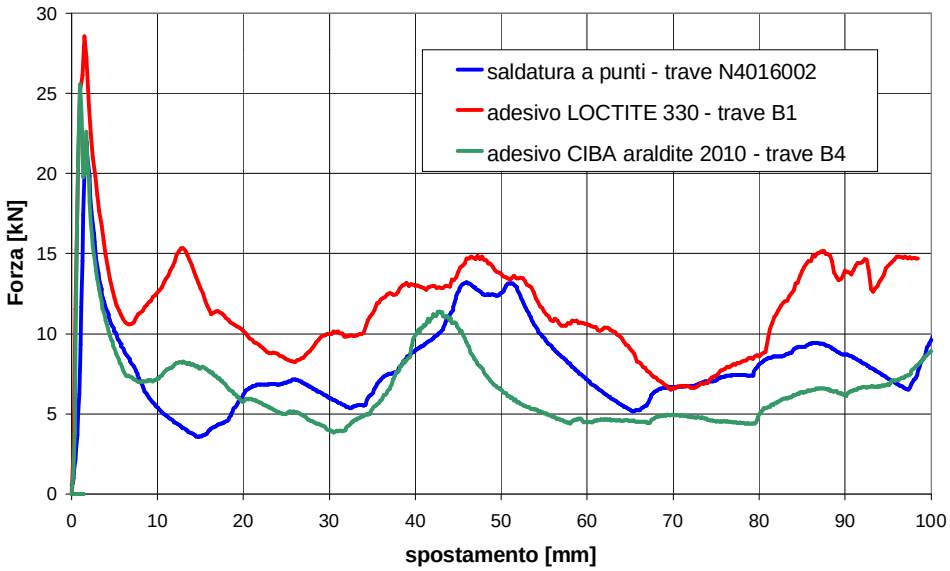

Fig. 7a Curve forza – schiacciamento per una trave saldate a punti e due travi incollate.

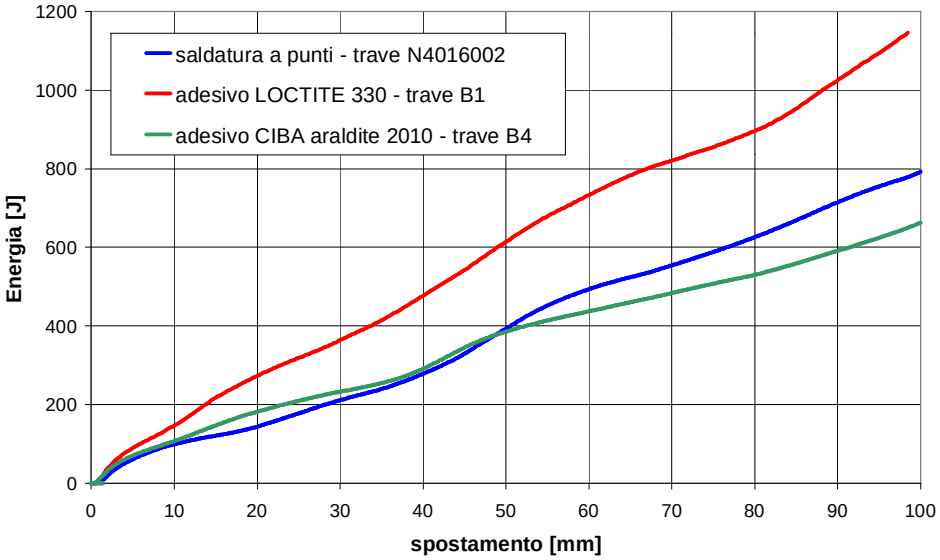

Fig. 7b Curve energia assorbita - schiacciamento per una trave saldata a punti e due travi incollate

4. CONCLUSIONI

La giunzione con adesivi può essere una valida alternativa alla classica tecnologia della saldatura a punti per l'assemblaggio di travi in parete sottile realizzate per piegatura o stampaggio di lamiera, come richiesto nelle costruzioni automobilistiche. La giunzione con adesivi permette inoltre di vincolare fra loro anche parti realizzate con materiali diversi aprendo quindi interessanti possibilità di utilizzo di materiali innovativi per la realizzazione di parti strutturali della scocca.

Con lo scopo di ottenere il massimo vantaggio dall'adozione della giunzione con adesivo, è opportuno rivedere la geometria della giunzione, modificandola rispetto a quella comunemente adottata per la saldatura a punti. Infatti non solo l'adesivo dovrà essere deposto su tutta la flangia ma anche nelle parti della piegatura di

raccordo. Ulteriori miglioramenti sono ipotizzabili attraverso una più radicale modifica della geometria che tenga conto delle peculiari caratteristiche di resistenza meccanica dell'adesivo (la giunzione incollata è più efficace quando è sollecitata a taglio piuttosto che a *peeling*) e delle differenze di tecnologia produttiva (in particolare non si devono più considerare i vincoli imposti dalla movimentazione delle pinze di saldatura).

Analisi preliminari agli elementi finiti hanno inoltre mostrato che la giunzione con adesivi è particolarmente robusta anche in presenza di difetti di produzione come la non complanarità delle flange o il non allineamento delle pareti dello scatolato.

Uno degli aspetti di maggiore interesse circa il comportamento strutturale delle giunzioni incollate riguarda la resistenza effettiva della giunzione nel caso in cui il componente sia sottoposto a grandi deformazioni e spostamenti come avviene nel caso del collasso plastico causato da impatto. E' ben noto infatti che, in tale eventualità, la struttura della scocca che sta intorno all'abitacolo dei passeggeri deve deformarsi assorbendo l'energia cinetica posseduta dal veicolo in marcia e trasformandola in energia dissipata dalla deformazione plastica o dalla fratturazione del materiale. Occorre quindi verificare attentamente che l'adozione di giunzioni realizzate con adesivi non alteri in maniera sensibile le capacità della struttura di assorbire energia deformandosi rispetto a quanto si ottiene con la tradizionale struttura saldata a punti.

Con tale obiettivo sono state condotte delle prove sperimentali su delle travi di acciaio in parete sottile in cui una sezione ad Ω ottenuta di piegatura è scatolata con una piattabanda. Le travi sono state realizzate eseguendo la giunzione della piattabanda al profilato secondo le due tecnologie indicate, in particolare per la giunzione con adesivi è stata utilizzato il Loctite 330, un adesivo acrilico, e il araldite 2010, un adesivo epossidico.

Le travi sono quindi state sottoposte a prove quasi-statiche di collasso assiale, rilevando i valori della forza di schiacciamento in funzione dello spostamento e risalendo da tali valori a quelli della energia assorbita durante il procedere del collasso.

In tutti i casi il collasso è avvenuto con la formazione dei classici lobi di deformazione, in maniera regolare e progressiva; nelle travi con giunzione incollata va sottolineato che si sono verificati fenomeni di distacco delle flange solo quando, durante il progredire del collasso plastico, la deformazione di flessione della flangia è divenuta piuttosto elevata.

I valori della forza massima (in corrispondenza del primo picco di inizializzazione del collasso) e di forza media (significativo della capacità di assorbimento di energia) sono stati confrontati per i tre gruppi di travi. In particolare si è potuto rilevare che la capacità delle travi assemblate per incollaggio con adesivo Loctite 330 di assorbire energia risulta superiore di circa il 45% rispetto alle travi assemblate per saldatura a punti.

Tale miglior comportamento è verosimilmente da ascriversi al fatto che la giunzione per incollaggio realizza una elevata collaborazione fra le due flange così da poterle considerare sensibilmente solidali fra loro, situazione che, invece, non si può ottenere con altrettanta efficacia nel caso della saldatura a punti.

Ringraziamenti

La ricerca di cui in questo lavoro sono descritti i primi risultati relativi alle prove eseguite su componenti incollati è stato condotto nell' ambito del progetto coordinato a livello nazionale "Criteri di resistenza ed integrità di giunzioni strutturali incollate", co-finanziato dal MURST. Gli autori desiderano ringraziare il Dott. P. Mauri della Henkel Loctite per i consigli di cui è stato largo durante l' impostazione e lo svolgimento della attività e l' Ing. R. Fizzotti che ha collaborato alla realizzazione delle travi incollate ed allo svolgimento delle relative prove di collasso.

Bibliografia

[1] Langrand B., Deletombe E., Markiewicz E., Drazetic P. – "Numerical approach for assessment of dynamic strength of riveted joints", Aerosp. Science Technology, 1999, pag. 431-446
[2] Mondino I., Properzi M., Giunti T., Calderale P.M. – "La fatica di giunzioni meccaniche per strutture veicolistiche innovative", atti del XXVIII Conv. Naz. AIAS, Vicenza, sett. 1999, pag. 313-322
[3] Gao S., Budde L. – "Mechanism of mechanical press joining", Int. J. Mach. Tools Manufact, 1998, pag. 641-657
[4] Beevers A. - "Designing with adhesives", 1st meeting "Adhesive technology and joining in mechanical engineering", Torino, feb. 1999
[5] Micucci E., Di Pardo M. - "Applicazioni degli adesivi in campo automobilistico", 2nd meeting "Progettare con gli adesivi", Parma, giu. 2000
[6] Fay P.A., Suthurst G.D. – "Redesign of adhesively bonded box beam sections for improved impact performance", Int. J. Adhesion and Adhesives, vol. 10, n. 3, pp. 128-138, luglio 1990
[7] Quaresimin M., Lazzarin P., Grendele A. – "Resistenza a fatica di giunzioni incollate", XXIX Conv. Naz. AIAS, Lucca, sett. 2000
[8] Avalle, M., Belingardi, G., Vadori, R., Masciocco G. - "Caratterizzazione dinamica del comportamento flessionale di acciai da stampaggio", atti del XXVIII Conv. Naz. AIAS, Vicenza, sett. 1999
[9] Avalle, M., Belingardi, G., Vadori, R., Masciocco G., "Characterisation of the strain rate sensitivity in the dynamic bending behaviour of mild steel plates", atti del EUROMAT 2000, Tours (F), nov. 2000
[10] Goglio L., Rossetto M. – "Ultrasonic testing of adhesive bonds of thin metal sheets", NDT&E International, vol. 32, 1999

[11] Belingardi G., Chiara T., Vadori R. – "Experimental evaluation of the axial crushing behaviour of thin walled columns with different cross-sections", atti del 3rd Inter. Conf. on Innovation and Reliability in Automotive Design and Testing, Firenze, 8-10 aprile 1992
[12] McGregor I.J., Meadows D.J., Scott C.E., Seeds A.D. – "Impact performance of aluminium structures", in "Structural Crashworthiness and Failures", eds. N. Jones and T. Wierzbicki, Elsevier, 1993
[13] White M.D., Jones N. – "Experimental quasi-static axial crushing of top-hat and double-hat thin walled sections", Int. Journal of Mechanical Science, vol. 41, 1999, pp. 179-208