Fachbereich 7 Maschinenbau
Fachgebiet 5 Fertigungstechnik
Prof. Dr.-Ing. Dietrich Elbracht
Prof. Dr.-Ing. habil. Gerd Witt

Gerhard Mercator Universität Duisburg

Perizia tecnica

Sistema di ritenuta per il conducente di un carrello elevatore - Spondina della porta del tipo „PilotProtector“ della ditta IWS (Ingenieurgesellschaft Weiner & Schröter mbH)

1. Compito

La ditta IWS ci ha consegnato una spondina della porta del tipo „PilotProtector“ da essa costruita con il compito di esaminare e di fissare poi in una perizia, se detta spondina della porta limita il rischio del conducente di un carrello elevatore di venire colpito dal tetto del suo veicolo ai sensi della cifra 3.1.5 della Direttiva 95/63/CEE e cioè in caso di ribaltamento laterale di un veicolo per trasporti interni. La ditta IWS è un'impresa privata, di cui è cofondatore il signor Dipl.-Ing. Weiner, già collaboratore della Facoltà 'Tecnologia di produzione' dell'Università Gerhard-Mercator di Duisburgo. In seno alla sua attività, il signor Weiner ha dedicato parecchi anni alla problematica dell'accadimento di un sinistro nell'ambito operazionale dei carrelli elevatori, contribuendo così in modo determinante al successo del progetto di ricerca esposto al punto 2. Lo sviluppo del sistema di ritenuta mediante spondina della porta - oggetto di questa perizia - non è avvenuto durante la sua posizione di collaboratore di questa Facoltà.

2. Base della perizia

Questa perizia si basa fondamentalmente sulle nozioni basilari contenute nella relazione conclusiva del progetto di ricerca „Sistemi di ritenuta per conducenti di carrelli elevatori“ del 30.09.1998, progetto realizzato sotto la mia direzione dal laboratorio tecnologia di costruzione dell'Università Gerhard-Mercator di Duisburgo, per conto dell'Associazione federale delle associazioni di categoria industriali (Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossen-schaften) con la collaborazione di alcuni produttori di carrelli elevatori nonché di sedili per conducenti di carrelli elevatori. Dalla relazione conclusiva risulta che le cinghie addominali rigide, i sistemi delle cinghie con sensore meccanico di ribaltamento, i sostegni dei fianchi, le spondine integrate lateralmente nei sedili nonché le spondine delle porte integrate sui veicoli, rispondono, anche se in modi diversi, ai requisiti sopra indicati di un sistema di ritenuta per i conducenti di carrelli elevatori.

Questo progetto di ricerca consentiva degli esami sperimentali consistenti in prova di marcia con un carrello elevatore dotato di posto di guida in posizione frontale (prodotto dalla ditta Linde, tipo H30 D) e con un angolo di ribaltamento fino a 15° nonché delle verifiche su banco per prova appositamente studiato e costruito dalla FTL Duisburgo. Ecco i risultati conseguiti:

2.1 Prove di marcia con angolo di ribaltamento fino a 15°

Durante la prova „sterzatura in curva“ il carrello elevatore è stato accelerato da fermo in marcia rettilinea fino a un massimo di 24 km/h. Il conducente guida con la mano sinistra che impugna la manopola del volante; durante questa fase il braccio destro riposa sulla coscia destra. Il conducente guida il carrello elevatore in una curva destrorsa di un raggio di 5 metri. Questa prova è stata realizzata anche con marcia indietro, in questo caso tuttavia sterzando in curva sinistrorsa. Questa differenza risulta da una parte dalla disposizione del braccio di sostegno (montato sul lato sinistro del carrello, che serve per impedire un ribaltamento dell'apparecchio) e dall'altra dalla costruzione del veicolo di prova. Tutti i sistemi di ritenuta sopra riportati testati in queste prove hanno trattenuto bene il conducente nel suo abitacolo di guida, anche se un modo più o meno buono, fino all'angolo di ribaltamento di 15°.

2.2 Prove sul banco di prova della FTL a Duisburgo

Il banco di prova concepito e costruito dalla FTL di Duisburgo consente di eseguire delle prove di ribaltamento sia dinamiche che statiche con angoli di ribaltamento fino a 90°.

Il banco di prova (Fig. 1) può aumentare la velocità della cabina del conducente su raggi regolabili ed a velocità di percorso sempre crescente fino al momento in cui avviene il ribaltamento. In questo momento agisce una accelerazione trasversale pari a circa 0,6 g. Il movimento del conducente durante la fase di ribaltamento può venire analizzata in base alla videoregistrazione mediante telecamera fissa installata sul sostegno di prova. L'impatto della cabina viene smorzato da cilindri di frenaggio idraulici. Di conseguenza non è possibile esprimersi in merito ai rischi di ferimento del conducente al momento dell'impatto, a parte il fatto poi, che sul banco di prova si potrebbero mettere delle persone per delle prove solo fino a un angolo di ribaltamento di 60°.

Fig. 1: Banco per le prove di ribaltamento sia statiche che dinamiche

I sistemi di ritenuta testati nel corso di questo progetto di ricerca hanno trattenuto le persone di prova entro l'abitacolo di guida delimitato dalle colonnine di sostegno del tetto e dal tetto stesso.
Successivamente sono state eseguite varie prove di ribaltamento con manichini e un angolo di ribaltamento di 90° (v. Fig. 2).

Fig. 2: Prova di ribaltamento con manichino

3. Descrizione della spondina della porta del tipo „PilotProtector“ della ditta IWS

La spondina della porta da esaminare (Fig. 3) è stata fissata al montante posteriore del tetto mediante piastre cernierate al montante anteriore mediante una serratura con saliscendi cadente. Ciò crea un abitacolo protetto delimitato dai montanti anteriori e posteriori del tetto e delimitato a sinistra del conducente. Inoltre il conducente non può lasciare il suo posto di guida quando la spondina della porta è bloccata in posizione. Questo non limita comunque la piena libertà di movimento del conducente, particolarmente in caso di marcia indietro. La spondina della porta messa a nostra disposizione si lasciava aprire e chiudere in modo quanto mai semplice. La spondina inoltre offre al conducente nelle regioni del bacino, dei fianchi e delle spalle risp. della parte superiore del braccio una ulteriore protezione contro un ferimento grazie all'imbottitura interna e contro un scivolamento laterale dallo spazio protetto formato dalla spondina della porta.

L'altezza di montaggio della spondina della porta è stata stabilita in conformità alla direttiva VDI 2198 (Associazione tedesca degli ingegneri) in base all'altezza del sedile h7. Attenendoci alla norma DIN 33402, parte II, abbiamo considerato l'altezza della coscia di 165 mm (95 percentile, maschile, da 26 a 40 anni). La mediana del supporto inferiore della spondina deve quindi passare tra 80 e 90 mm al di sopra dell'altezza del sedile del conducente (cabina originale del carrello elevatore con sedile frontale della ditta Linde AG, tipo E16).

Fig. 3: Spondina della porta per le prove

Le dimensioni riportate sono da cambiare a seconda del tipo di carrello elevatore nonché del rispettivo produttore. Inoltre si deve tenere conto soprattutto della deformazione della eventualmente divergente molla del sedile del conducente. Solo così si potrà conseguire lo speciale effetto di una ritenuta ergonomica da parte della spondina della porta.

4. Descrizione delle prove svolte

Abbiamo provato la spondina messa a nostra disposizione in varie serie di prove dinamiche con manichino fino a un angolo di ribaltamento di 90°. L'abitacolo del conducente, raggiunto l'angolo massimo di 90°, attiva i cilindri del freno idraulico e durante i successivi 10° viene frenato con un ritardo uniforme.

Fig 4: Manichino durante il prova

La velocità gestita dall'esterno della piattaforma per prove che marcia su una corsia circolare è stata aumentata fino a raggiungere il punto di ribaltamento. Ciò corrisponde al principio della marcia con carrello elevatore, che in una curva

con raggio costante aumenta la velocità fino a raggiungere il limite della velocità di ribaltamento.

Di ogni prova vengono registrati l'angolo di ribaltamento e le accelerazioni agenti sulle tre assi. Queste misurazioni servono soprattutto come controllo dei parametri di prova preimpostati e da rispettarsi. In base al raggio della pista della cabina di 2,57 m (ruota esterna della pista) e del valore del centro di gravità della cabina, dispositivo di ribaltamento e manichino risulta una velocità limite di ribaltamento di ca. 3,9 metri/secondo Questo valore corrisponde a una accelerazione trasversale (anche della ruota esterna della pista) di circa 0,6 g. Raggiunto l'angolo di ribaltamento di 7,5° viene avviato il processo di frenatura, per avvicinare il valore della velocità di una piattaforma durante un reale evento di ribaltamento. (Queste curve della velocità sono state calcolate e simulate nel corso del progetto di ricerca). La Fig. 5 evidenzia le curve dell'angolo di ribaltamento e le accelerazioni trasversali o verticali rispetto al sedile. Il sensore di accelerazione è installato a destra del sedile del conducente e vicino alla leva di accelerazione per il dispositivo di sollevamento (che dista ca. 0,9 m dal bordo di ribaltamento esterno).

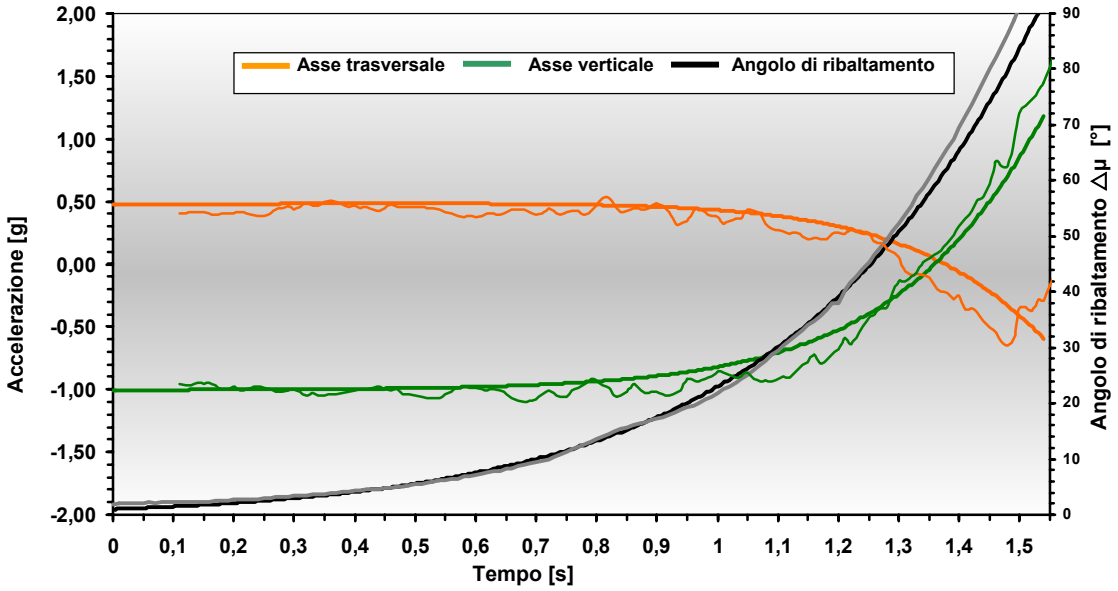

Fig. 5: Diagramma di misura durante la procedura di ribaltamento dinamica

Per ogni valore di accelerazione sono visibili due linee. Le linee con andamento irregolare rappresentano i valori rilevati e le linee più regolari invece i valori calcolati. Per l'andamento dell'angolo di ribaltamento la linea di colore grigio indica il valore misurato e quella di colore nero il valore calcolato. Il dispositivo di ribaltamento con abitacolo e manichino ha il suo punto di bilico su 27°. Fino al momento in cui viene raggiunto questo valore passa ca. 1 sec. o dal ribaltamento (1°). Fino a questo momento i valori di accelerazione quasi non variano. Sull'asse verticale viene registrata la accelerazione negativa della terra (-1g), sull'asse 1 trasversale si registra l'effetto dell'accelerazione trasversale di 0,6 g. Un ulteriore aumento dell'angolo di ribaltamento consente di riconosce chiaramente la dinamica di ribaltamento. Il tempo di ribaltamento restante dal punto di equilibrio (27°) fino all'impatto con 90° ($^2/_3$ dell'intero percorso) è solo ancora di 0,5 sec. L'influenza dell'accelerazione terrestre verticale (risp. alla posizione del sensore) diventa zero tra

un angolo di ribaltamento tra 50° e 55°. Questo è il momento in cui il manichino perde ogni contatto con il suo sedile e si muove verso il tetto di protezione dell'abitacolo.

5. I risultati delle prove di ribaltamento dinamiche

Annotazione: Le prove qui descritte sono le prove conclusive durante le quali vengono simulate la massima velocità e quindi anche la massima esposizione del manichino e con ciò anche del sistema di ritenuta a spondina della porta.

Già prima di iniziare il ribaltamento il manichino viene spinto leggermente verso la spondina della porta. Il manichino perde il contatto col sedile quando l'angolo di ribaltamento giunge tra 45° e 50° (Fig. 6), tuttavia non viene spinto di più contro la spondina.

Fig. 6: Prova di ribaltamento dinamico con un angolo di ca. 45°

Abbiamo eseguito questa prova parecchie volte mantenendo le medesime condizioni di prova. Durante alcuna delle prove il corpo sperimentale nella fase di ribaltamento ha toccato visibilmente la spondina della porta; ciò che si può vedere bene sulla Fig. 7, dove il manichino mostra la sua posizione in modo esemplare per tutte le prove eseguite durante la seconda fase dell'evento di ribaltamento. Il manichino che si vede in una posizione con angolo di ribaltamento di ca. 75° si trova ancora completamente all'interno dell'abitacolo delimitato dalla spondina della porta e dai montanti, e senza alcun visibile contatto con la spondina della porta. Il manichino non tocca la spondina della porta neanche immediatamente prima dell'impatto (v. Fig. 9).

Il manichino viene gettato contro la spondina della porta solo al momento dell'impatto della cabina. Per quanto riguarda le forze prodotte in questo evento non possiamo fare alcuna affermazione che sia valida e d'interesse per la pratica, considerando che per le nostre prove dobbiamo utilizzare cilindri idraulici per attenuare l'impatto.

6. Prova di ribaltamento statica

In merito alla prova di ribaltamento statica la cabina fissata puntualmente su una piattaforma di prova viene alzata fino a raggiungere il punto di ribaltamento. In questo caso la persona di prova scivola dapprima contro la spondina della porta. Durante la successiva fase del ribaltamento agiscono sul corpo di prova delle forze calcolate chiaramente inferiori a quelle calcolate per la prova di ribaltamento dinamico. La spondina della porta assolve in questo caso una funzione di aiuto per trattenere il conducente del carrello elevatore, il quale durante il ribaltamento statico non può cadere fuori dall'abitacolo delimitato dai montanti del tetto e dalla spondina della porta.

7. Prova della resistenza della spondina della porta

Abbiamo sottoposto la spondina della porta messa a nostra disposizione a un successivo esperimento orizzontale statico con un carico di 200 dN. La spondina della porta non si è deformata in modo irreversibile.

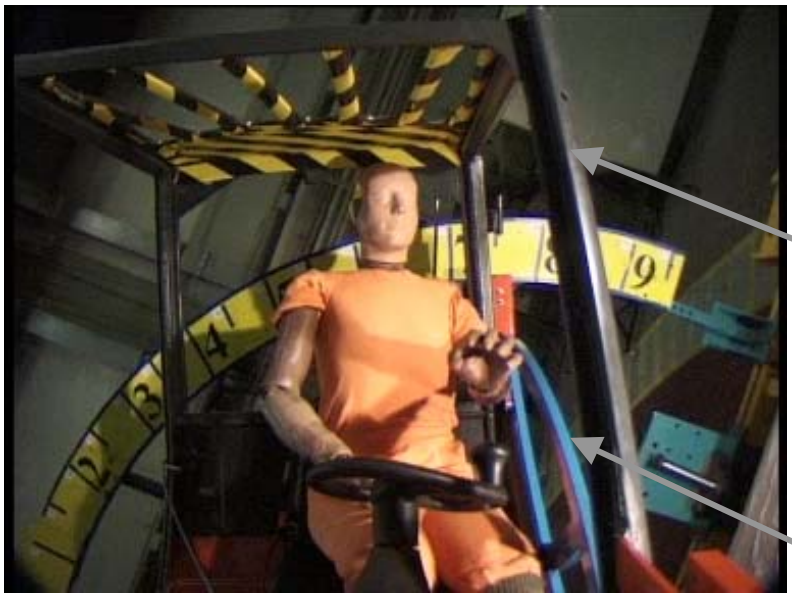

Fig. 7: Prova di ribaltamento dinamico con telecamera fissa

Fig. 8: Prova di ribaltamento dinamico fino a ca. 76°

Fig. 9: Prova di ribaltamento - urto

8. Riassunto della perizia

La spondina della porta del tipo „PilotProtector“ che avevamo il compito di esaminare è molto idonea. Fissandola su ambedue i lati del veicolo al montante posteriore e bloccaggio al rispettivo montante anteriore, essa crea un supplementare abitacolo protetto. La sua resistenza è idonea per assimilare forze laterali fino a 200 dN senza che rimanga alcuna deformazione. Grazie alla sua costruzione molto ergonomia, essa può proteggere con molta sicurezza il conducente del carrello elevatore in caso di improvvise inavvertite accelerazioni centrifugali, come sopravvengono generalmente seguendo dei percorsi con curve a raggio molto stretto, in modo che non venga catapultato fuori dal suo abitacolo. In caso di ribaltamento laterale (ad es. in seguito a errori di comando con il carico sollevato) il conducente viene trattenuto nel suo abitacolo protetto grazie alla costruzione ergonomica della spondina della porta.

A parte quanto detto sopra questo sistema di spondina evita, come abbiamo già rilevato nel corso del sopra citato progetto di ricerca, che il conducente del carrello elevatore, al momento di un inatteso ribaltamento, che possa saltare fuori dal suo abitacolo di protezione. Il rischio del conducente, se il veicolo per trasporti interni si ribaltasse sul lato sinistro, di venire colpito dai montanti del tettuccio di protezione è limitato, e viene diminuito ulteriormente grazie alla spondina della porta qui testata.

Prof. Dr.-Ing. D. Elbracht Duisburg, 30.10.2000