

Le ricerche sul comfort e sulla stabilità delle trattrici agricole

A. Guarnieri, A. Fabbri

DEIAgra – Dipartimento di Economia e Ingegneria Agrarie – Università di Bologna
(<http://www.agrsci.unibo.it/deiagra/ingagr/>)

Riassunto

Il testo riassume, molto sinteticamente, quanto è stato fatto, nell'ultimo ventennio, su alcuni problemi tecnologici, in settori di particolare attualità, quali quelli relativi al rumore, alle vibrazioni ed alla stabilità delle trattrici, con il tentativo di confrontare i dati sperimentali con i parametri di riferimento delle normative generali e specifiche inerenti l'omologazione e la tutela della salute degli operatori.

In tale ottica, nella parte finale della relazione, si è cercato di riassumere le attuali linee di sviluppo della ricerca in un settore della meccanica agraria nel quale molte istituzioni italiane hanno contribuito molto positivamente alla generale soluzione del problema della sicurezza nell'uso delle macchine agricole, che ha risvolti sociali ed economici molto rilevanti.

Parole chiave: trattrici agricole e forestali, stabilità statica e dinamica, rumore, vibrazioni

Summary

The text briefly shows a survey of the last twenty years research activity about the static and dynamics stability of the agricultural tractors and on the noise and vibrations isolation. It is also made an attempt to compare the experimental data with the reference parameters reported in the safety standards.

The final part of the paper consider the present advances in a research field in which several Italian institutions have carried a very positive contribution.

Key words: agricultural and forestry tractors, static and dynamic stability, noise, vibration

1. INTRODUZIONE

Prima ancora di entrare nel merito del tema assegnato, ci è parso interessante riportare alcuni dati relativi all'indagine svolta da Hegg [Hegg; 1991], direttore del *Department of Agricultural Engineering* dell'Università di Clemson-Nebraska nel 1991, sulla base di un questionario inviato a tutti i dipartimenti di ingegneria agraria in U.S.A., allo scopo di individuare le principali linee di tendenza nella meccanizzazione agricola. Tra i principali fattori in grado di incidere sullo sviluppo delle nuove trattrici, si trovano nell'ordine: minor costo iniziale, riduzione del fabbisogno energetico, alta tecnologia applicata, sicurezza e

qualità del prodotto. Per quanto riguarda invece i cambiamenti principali che hanno interessato la trattrice, si trovano non in ordine: l'idraulica, la riduzione del costo iniziale, la standardizzazione tra le varie marche, l'applicazione della sensoristica e dell'elettronica, la riduzione delle dimensioni, la polivalenza, l'attacco a tre punti anteriore, la guida reversibile, la variazione dei rapporti sotto carico, la sicurezza.

Lo stesso Autore riporta anche i risultati di un'indagine svolta su un gruppo di venti tecnici di alta qualificazione (direttori tecnici ed amministratori delegati) di altrettante aziende americane produttrici di macchine agricole, circa i fattori che maggiormente possono influire sullo sviluppo di un nuovo prodotto. In ordine di priorità, sono risultati: l'affidabilità, la qualità, la durata, le prestazioni, i costi di progettazione e costruzione, le nuove tecnologie, la sicurezza, i problemi ambientali, la concorrenza, l'impiego di energia. Per quanto riguarda invece l'indagine specifica sulla trattrice spariscono i fattori prestazioni e sicurezza.

Francamente quest'ultimo aspetto, visto a dieci anni di distanza, desta qualche perplessità, non già sulle modalità dell'indagine, quanto piuttosto sul risultato in sé, considerato l'impegno dei costruttori nel tentativo di aumentare la sicurezza delle trattrici anche sotto la spinta della legislazione internazionale su un problema che ha risvolti sociali ed economici molto rilevanti.

In ogni caso, dovendo procedere all'analisi delle ricerche nell'ambito della sicurezza nell'impiego delle trattrici agricole, ci si rende facilmente conto della necessità di un confronto con una realtà assai vasta e diversificata, e quindi si è preferito rinunciare ad un'ottica generale, con l'obiettivo invece di portare un contributo più puntuale concentrando l'attenzione su alcune tematiche ormai ben radicate, e tuttavia sempre di interesse, quali quelle connesse con l'isolamento del posto di guida da rumore e vibrazioni, per quanto riguarda il comfort, e con la stabilità statica e dinamica, per quanto riguarda gli aspetti di sicurezza.

2. LE VIBRAZIONI SUL POSTO DI GUIDA

Nonostante il problema delle vibrazioni trasmesse dal sedile all'operatore sia stato ampiamente studiato, sotto diversi aspetti a partire dagli anni '50, resta tuttora una questione aperta sulla quale occorre porre particolare attenzione. A testimonianza della attualità del problema, si può considerare, con vivo apprezzamento, la recente iniziativa del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali che, sotto la costante pressione del collega ing. Santoro, sta portando a termine la realizzazione di un banco prova per lo studio della dinamica vibrazionale delle trattrici. Un identico pieno consenso non può che essere esteso anche ai colleghi del CNR di Torino che, in anni meno recenti, hanno realizzato un banco vibrante ed una pista a risalti per lo studio del sedile o del sistema sedile-uomo [Deboli, Potecchi; 1986] [Potecchi; 1986]. Le due esperienze citate, nel contesto dell'analisi delle vibrazioni trasmesse al conducente della trattrice, trovano un significativo riferimento nei decreti del Ministero dei trasporti dell'8/1/87 e del 5/8/91 (corrispondenti al recepimento delle direttive comunitarie 465/88, 764/78 CEE e succ.), relativi rispettivamente alle trattrici a carreggiata maggiore e minore di 1150 mm, riguardanti il sedile del conducente. Senza entrare nel merito di tali prescrizioni per l'omologazione del sedile - il valore efficace dell'accelerazione ponderata in frequenza, lungo l'asse verticale, misurato sul sedile utilizzando il banco-prova, per le trattrici con assale posteriore rigido, o la pista normalizzata per le altre - deve essere minore o uguale a $1,25 \text{ m/s}^2$, mentre, il rapporto tra i valori effettivi delle accelerazioni misurate sul sedile e sul suo punto di fissaggio deve essere minore o uguale a 2.

Tuttavia, superato il problema tecnico dell'omologazione del sedile, o del complesso sedile-trattrice, non tutto appare risolto, atteso che le vibrazioni trasmesse all'operatore, nelle diverse condizioni d'impiego delle trattrici sono tali da determinare, in applicazione della norma ISO 2631 [ISO; 1997], riduzioni del rendimento operativo del conducente con tempi di esposizione inferiori ad otto ore lavorative, mentre quelli per la riduzione del comfort risultano spesso inferiori a due.

Al riguardo, significativo è lo studio dei colleghi dell'*ISMA* [Nuccitelli *et al.*; 1992] nel quale sono stati calcolati, su trattrici in fase di trasporto, tempi di esposizione variabili da un minimo di due ad un massimo di sei ore, con l'asse più disturbante che nel 55% delle tesi osservate era quello verticale, e nel 25% quello longitudinale.

Pure significative sono le esperienze condotte da Cevolini e collaboratori [Azzaretto *et al.*; 1990] durante le quali sono stati osservati valori dei tempi di esposizione al limite della capacità ridotta per fatica, compresi tra 1 ed 8 h, su trattrici di differenti classi di potenza impegnate in operazioni di aratura, livellatura e trasporto su fondi differenti a velocità comprese tra 7 e 40 km/h. Sempre sul trasferimento su strada bianca o asfalto a velocità comprese tra 18 e 40 km/h, sono stati rilevati da Vassalini [Vassalini; 2000] su una trattrice di elevata potenza, dotata di sedile con dispositivo di regolazione pneumatico, livelli di vibrazione compresi tra 0,8 e 2 m/s².

Può essere pure utile ricordare le prove svolte nel corso delle normali operazioni relative alla coltivazione del tabacco [Coppi; 1994], durante le quali sono stati valutati tempi di esposizione inferiori a 2 h nelle lavorazioni primarie e secondarie del terreno.

Ancora per quanto riguarda i valori rilevati in fase di lavorazione del terreno si può ricordare quanto osservato da Guarnieri [Guarnieri, Ragni; 1990] relativamente a 17 trattrici, sulle quali la riduzione del comfort si manifestava per tempi inferiori ad 1 h nel 38% dei casi esaminati, prevalentemente per effetto dalle vibrazioni dirette l'ungo l'asse trasversale con frequenze comprese tra 1 e 4 Hz.

Per quanto riguarda le trattrici cingolate si accenna ai risultati delle prove condotte dai colleghi dell'*ISMA* [Vassalini; 2000], su una trattrice di media potenza con cingoli in gomma sulla quale è stato rilevato il modulo dell'accelerazione media ponderata in frequenza durante operazioni di trasferimento ($v < 14$ km/h) ed in aratura ($v \approx 2,5$ km/h) ottenendo rispettivamente livelli pari a 1,1 e 0,4 m/s². Pure interessanti i dati rilevati da Blandini e collaboratori su una trattrice di bassa potenza con cingolatura in gomma e sedile senza sospensione [Blandini *et al.*; 1996] impegnata nella trinciatura delle ramaglie: i tempi massimi di esposizione sono risultati inferiori alle 6-7 h, limitati sostanzialmente dalla componente verticale, in corrispondenza delle frequenze pari a 6-8 Hz.

La situazione si aggrava ulteriormente quando si considerano trattrici di epoca più datata o in generale quelle di minore potenza, per le quali i tempi di esposizione alle vibrazioni risultano sensibilmente più contenuti [Guarnieri; 1983].

In relazione poi alle molte fisiopatologie segnalate sui soggetti esposti alle vibrazioni con frequenze ed accelerazioni tipiche del campo trattoristico [Betta, Peretti; 1985], pure nella consapevolezza della difficoltà nella valutazione del ruolo specifico delle vibrazioni nel determinare l'insorgenza di tali patologie, l'eventuale ma ormai certa emanazione di una direttiva comunitaria sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dalle vibrazioni (XVI Direttiva particolare ai sensi dell'art.16 della 89/391/CE), porrà quasi certamente ulteriori problemi nel campo del lavoro agricolo per ciò che attiene alle vibrazioni trasmesse a tutto il corpo. Infatti nella "posizione comune" definita dal Consiglio del 25/6/2001, sono previsti, in analogia a quanto già avviene per la rumorosità, valori limite di esposizione e valori di esposizione normalizzati alle 8 h, che fanno

scattare particolari obblighi del datore di lavoro quando l'accelerazione misurata lungo l'asse più disturbante, tenuto conto, con opportuni coefficienti, della diversa sensibilità del corpo umano alle accelerazioni nel piano orizzontale ed in quello verticale, supera rispettivamente 1,15 e 0,6 m/s². Tuttavia, anche per quest'ultimo provvedimento, sono prevedibili tempi di attuazione assai lunghi, con deroghe specifiche per il settore agricolo.

3. IL RUMORE ALL'ORECCHIO DEL CONDUCENTE

Non meno complesso risulta tuttora il problema della rumorosità all'orecchio del conducente, non solo in relazione agli aspetti tecnico-progettuali di cui si dirà tra breve, ma anche in relazione sia alle norme specifiche per l'omologazione delle trattrici sia a quelle di carattere più generale in materia di salvaguardia della salute dei lavoratori subordinati e non, per i quali non sempre si ravvisano le condizioni per l'applicabilità delle norme, atteso che i calendari di lavoro, le attrezzature utilizzate e le modalità di impiego possono variare notevolmente anche a fronte di periodi di riposo di notevole durata. In tale ottica, considerando il complesso trattrice-macchina operatrice tra le attrezzature per le quali sia applicabile la Direttiva Macchine [CEE; 1989] e successive modificazioni, e la Legge 277/91 [D.lgs. 277/91], relativa all'esposizione al rumore dei lavoratori, non ci si può dispensare dal considerare con attenzione i dati relativi ai livelli acustici rilevati sulle trattrici in diverse condizioni operative, compreso il trasporto su strada. Infatti alcune esperienze, riferite da Ragni [Ragni; 1994] indicano valori medi di 91, 86, e 95,7 dB(A), rispettivamente per trattrici a ruote senza cabina, a ruote con cabina ed a cingoli senza cabina, prodotte tra il 1962 ed il 1992. Altre prove, effettuate presso il *DEIAgra-Dipartimento di Economia e Ingegneria Agrarie* dell'Università di Bologna su trattrici a ruote prodotte nel decennio 1970-80 in condizioni di riferimento OCSE [OCSE; 2002], evidenziano valori di livello acustico equivalente compresi tra 95 e 101 dB(A) per trattrici prive di cabina, e fra 85 e 90 dB(A) per quelle con cabina [Capelli, Artuso; 1982]. Analoghi valori, sempre riferiti agli standard OCSE, sono illustrati nello studio svolto da Pessina [Pessina; 1985] su un campione di 140 trattrici a due e quattro ruote motrici, con e senza cabina, il quale riporta valori rispettivamente compresi tra 83 e 90 e tra 94 e 103 dB(A).

Pure interessanti sono i dati provenienti da una campagna di misura svolta dal *DI AF-Dipartimento di Ingegneria Agraria e Forestale* di Firenze [Santonocito *et al.*; 1994], su trattrici accoppiate a macchine operatrici, immatricolate tra il 1975 ed il 1993, in lavoro nella zona del Chianti, per le quali il livello equivalente supera nella maggioranza dei casi i 90 dB(A), per scendere sotto gli 80 dB(A) solo su trattrici con cabina. Con riferimento a tale lavoro, nell'ottica dell'applicazione del citato D.lgs. 277/91, devono anche fare riflettere i dati relativi al livello di esposizione giornaliera per l'operatore che per 30 giorni/anno risulta esposto a valori superiori a 95 dB(A), per 23 giorni/anno a livelli compresi tra 90 e 95 dB(A), e per 25 giorni/anno a livelli compresi tra 85 e 90 dB(A); mentre il livello di esposizione annuale non scende al di sotto di 89,3 dB(A). Similmente, nell'esperienza riportata dalla pubblicazione del *CONAMA* "La misura dell'esposizione al rumore in agricoltura" [CONAMA; 1999], si osserva come in presenza di un livello equivalente di esposizione settimanale pari a circa 80 dB(A), si raggiungono livelli di esposizione giornaliera che in tre casi su quattro superano i 90 dB(A); inoltre, dipendentemente dal tipo di operazione e dalla presenza della cabina di guida, sono stati registrati valori minimi di 88 dB(A) e massimi di 99 dB(A).

Pure significativi sono i rilievi di rumorosità effettuati dai colleghi delle *Università di Udine e della Tuscia* [Zoppello *et al.*; 1995], nel periodo 1991-93, su 15 trattrici cingolate e 7 trattrici a ruote, in diverse operazioni colturali, per le quali sono stati rilevati livelli

equivalenti compresi rispettivamente tra ≈ 90 e ≈ 104 dB(A), e tra ≈ 83 e ≈ 98 dB(A). Per quanto riguarda invece i livelli di esposizione annuale degli operatori, sono stati misurati valori minimi di 90,1 e massimi di 96,4 dB(A).

Gli elevati valori ricordati sono anche conseguenti alle proroghe successive concesse agli stati membri relativamente all'applicazione della direttiva 77/311, riguardante l'omologazione nazionale delle trattrici senza cabina di protezione [CEE; 1977], la quale fissava i limiti massimi di rumorosità all'orecchio del conducente in 86 dB(A) misurati in prove a vuoto, ed in 90 dB(A) misurati in prove sotto carico.

Nonostante i successivi rinvii, motivati ad esempio nel 2000 da una decisione della Commissione Europea che testualmente recita: “considerato che per la quasi totalità delle trattrici senza cabina risulta impossibile per motivi tecnici rispettare la data di scadenza del periodo transitorio, fissato dalla decisione 96/627CEE della Commissione [in data 1.10.99]”, i costruttori si sono ugualmente impegnati nel cercare soluzioni al problema della rumorosità delle macchine, nell'ottica dell'omologazione nazionale prima, e della messa in circolazione in ambito europeo poi. Ciò nella consapevolezza della gravità del problema, come molto ben specificato da numerose indagini epidemiologiche che già nei primi anni '80 indicavano in percentuali comprese tra il 30 ed il 50% la quota di salariati in agricoltura affetti da ipoacusia [Santonocito *et al.*; 1994] e che i livelli di pressione compresi tra 66 ed 85 dB(A) sono tali da provocare danno psichico o neurovegetativo ed in alcuni casi danno uditivo, in relazione alle frequenze ed ai tempi d'esposizione [Cosa, Nicoli; 1974]. Infatti sulla scorta degli studi epidemiologici degli anni '80 molti ricercatori da tempo auspicavano l'abbattimento del rumore in cabina fin sotto il livello di 80 dB(A) [Febo *et al.*; 1983], quale è possibile osservare oggi, a venti anni di distanza, sulle macchine della produzione più recente. Dato particolarmente significativo questo alla luce del valore di soglia, pari appunto ad 80 dB(A), fissato dal D.lgs. 277/91, al di sopra del quale il datore di lavoro è obbligato ad assumere significativi provvedimenti per quanto riguarda la tutela della salute dei propri dipendenti.

4. LA STABILITÀ STATICA E DINAMICA

La letteratura scientifica, tecnica e normativa oltre che legislativa, è testimone di un'intensa attività per quanto riguarda i problemi tecnici ed infortunistici connessi con la stabilità statica e dinamica della trattrice [Meijer; 1998]. Valga per esempio il confronto con i dati frequentemente riportati dalle ricerche riferite dalla specifica pubblicazione dell'ASAE, *Journal of Agricultural Safety and Health*, sulla base dei quali il ribaltamento della trattrice risulta ancora oggi, nella moderna agricoltura U.S.A., la causa primaria di infortuni con circa 200 incidenti mortali/anno [Reynolds, Grooves; 2000].

In un recente studio [Myers *et al.*; 1998] relativo agli incidenti denunciati agli enti di sorveglianza U.S.A. (NIOSH-*National Traumatic Occupation Fatalities* e CFOI-*Census of Fatal Occupational Injuries*) nel periodo 1969-95, hanno rilevato come circa la metà degli infortuni sono dovuti al ribaltamento, laterale o longitudinale della trattrice, registrando una media negli ultimi cinque anni di 120 incidenti mortali/anno (Fig. 1). Etherton [Etherton *et al.*; 2002] mostra inoltre come sia stato possibile osservare una sensibile diminuzione di questo tipo di incidenti nel corso degli anni '90, a fronte di un notevole aumento nel numero delle trattrici equipaggiate con telaio di protezione. Tuttavia, secondo lo stesso Autore, l'efficacia di tali dispositivi è attualmente limitata dall'assenza di sistemi di ritenzione del guidatore.

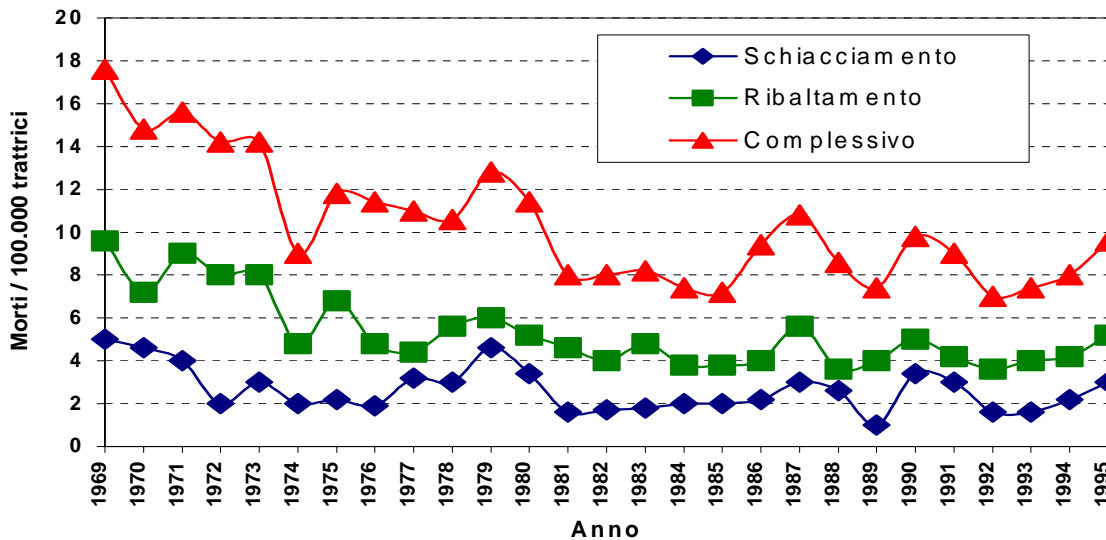


Fig. 1 – Incidenti mortali, legati all’impiego della trattrice, denunciati al National Safety Council americano, nel periodo 1969-1995 [Myers et al.; 1998].

Per quanto riguarda l’agricoltura europea invece, Thelin [Thelin; 1998], dello SFSPHA-Swedish Farmer Safety Preventive Health Association, osserva come in Svezia, dove durante il trentennio 1959-90 si è passati da una condizione di totale assenza di strutture di protezione, ad una condizione nella quale la loro installazione è pressoché generalizzata, si è determinata una conseguente diminuzione del numero annuale di incidenti mortali da 20/100'000 trattori, a poche unità (Fig. 2).

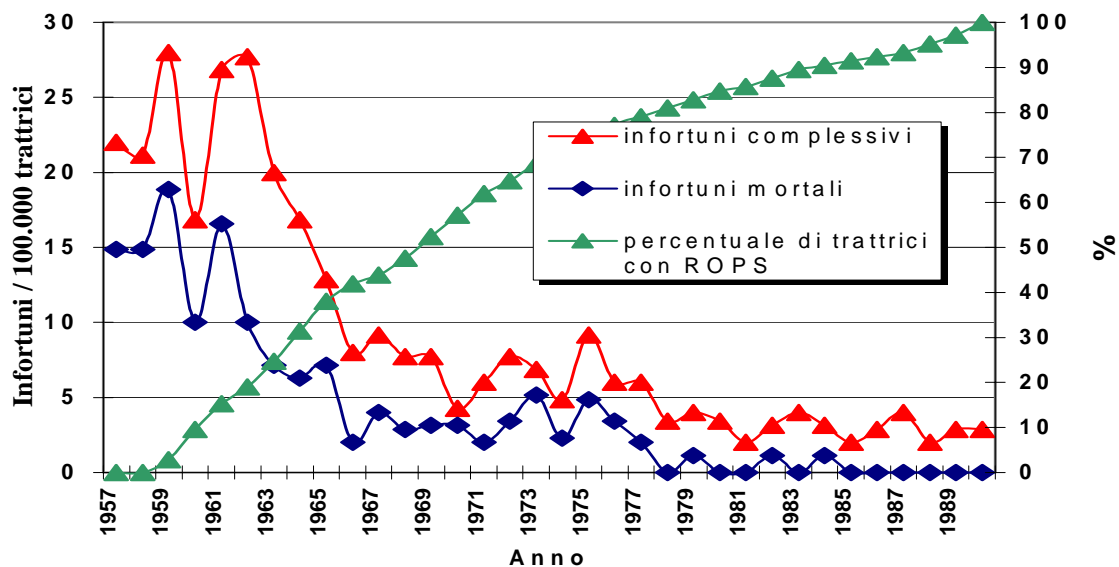


Fig. 2 - Incidenti mortali, legati all’impiego della trattrice, denunciati in Svezia, nel periodo 1957-1990 [Thelin; 1998].

Per quanto riguarda invece lo specifico panorama infortunistico italiano, purtroppo non esistono studi o repertori statistici sugli infortuni dai quali sia possibile rilevare con precisione il ruolo della trattrice. Tuttavia i dati INAIL relativi agli incidenti sul lavoro in agricoltura denunciati ed indennizzati nell’anno 2000 individuano nello schiacciamento la

prima causa di morte (circa un terzo sul totale degli incidenti con esito fatale) [INAIL; 2002], come già ben evidenziato da Febo e Pessina nel 1989 [Febo, Pessina; 1989].

Relativamente alla difficoltà di reperire i dati infortunistici con la necessaria precisione, è interessante richiamare quanto riportato nella rassegna informativa della Rivista di Ingegneria Agraria circa la riunione del gruppo di studio OCSE sui telai per trattrici a carreggiata stretta del 1974: “[...] vista la difficoltà o impossibilità in molti paesi della raccolta dei dati necessari, questi verranno reperiti attraverso i costruttori ed i loro concessionari, che conoscendo la situazione reale degli incidenti, data la necessità di riparazione dopo il rovesciamento, [...] attraverso un formulario contenente informazioni su: tipo di trattrice, tipo di incidente (laterale, impennamento, complesso), presenza o meno di telaio, tipo di telaio, conseguenze dell'incidente, eventuali attrezzi portati o trainati, carreggiata, condizioni ambientali (pendenza, condizioni di lavoro, tipo di terreno), angolo totale di rovesciamento” [Gasparetto; 1974]. A circa trenta anni di distanza si avverte ancora la necessità di un concreto coordinamento di un'analogha iniziativa, ancora basata su una efficiente formulazione del questionario, ma destinata a soggetti differenti rispetto a costruttori e concessionari. E' però interessante segnalare come alcuni dei parametri considerati sono attualmente indicati da diversi autori come adatti allo sviluppo di indici di stabilità, applicabili non solo alla trattrice ma anche alle macchine operatrici, per le quali esistono seri problemi nell'eventuale applicazione di un telaio di protezione. Al riguardo si può segnalare un recente studio russo [Spirgys, Mioldazys; 2000] nel quale viene sviluppato un indice di stabilità relativo alle trattrici impegnate in operazioni di fienagione, anche con intenti normativi.

Relativamente all'effetto della pendenza è comunque significativo quanto riportato da Febo e Pessina [Febo, Pessina; 1989] in merito agli angoli di ribaltamento misurati in condizioni statiche su un campione di 364 trattrici a ruote, da cui emerge come circa l'80% degli incidenti sia dovuto al ribaltamento laterale o laterale-composito, ed il restante 20% all'impennamento.

Il tema dei rischi connessi con il ribaltamento della trattrice risulta inoltre di pressante attualità, visto che, come evidenziato da Ricci [Ricci; 2002], a meno di diverse interpretazioni della norma, e salvo ulteriori proroghe, il decreto di recepimento della direttiva comunitaria 95/63/CE, ovvero la Legge n.39 del 1/3/2002, stabilisce l'obbligo per il datore di lavoro di installazione delle cinture di sicurezza su tutte le trattrici, entro il dicembre 2002. Mentre, entro lo stesso termine il montaggio di una struttura di protezione sarà obbligatorio su tutte le trattrici, a cingoli ed a ruote, per le quali prima dell'entrata in vigore delle relative norme OCSE/CEE [OCSE; 2002] [CEE; 77, 79, 86, 87] l'obbligo non sussisteva [CONAMA; 1992, 1993], con un costo per l'adeguamento del parco trattoristico italiano superiore al miliardo di euro. A tale proposito è possibile citare sia due studi del NIOSH [Pana-Cryan, Myers; 2000] [Myers, Snyder; 1995] in base ai quali una politica di incentivazione, comportante una spesa complessiva stimata in circa 1000\$/ROPS¹ per circa 3000 trattrici, sarebbe in grado di prevenire più di 1000 incidenti mortali nel quinquennio 2000-2005, sia le proposte di Madsen [Madsen; 2002] e Myers [Myers; 2002] circa una serie di provvedimenti attuabili su scala nazionale comprendenti sgravi fiscali, incentivi economici finanziati con la tassazione delle macchine prive di ROPS, così come una politica di veloce sostituzione del parco trattoristico, in linea con le aspettative dell'UNACOMA, in ambito italiano, per quanto riguarda la rottamazione delle macchine agricole in generale (*Tab. 1 e 2*). Del resto, il problema dell'adeguamento delle macchine più datate sussistono anche gravi incognite di tipo tecnico per quanto riguarda la capacità degli assali di resistere alle sollecitazioni trasmesse dall'applicazione di una struttura ROPS, come ben evidenziato da Wen [Wen *et al.*, 1994],

¹ Acronimo di *Roll-Over Protective Structure*.

nella cui ricerca sono stati sottoposti ad analisi strutturale gli assali di vecchi modelli di trattore con un codice ad elementi finiti, derivando anche una semplice formula analitica di verifica, utile anche per fini normativi.

Tab.1 – Numero di trattori equipaggiati con ROPS o con cabina, stimato dal NIOSH in USA nel 1993, per tipo di azienda agricola [Myers, Snyder; 1995].

Tipologia di azienda	Numero di trattori stimato	trattori senza ROPS %	trattori con ROPS %	trattori con cabina %
cerealicola	1.112.442	52,0	6,2	41,8
colt. erbacee	688.770	62,3	15,4	22,3
ortofrutticola	447.673	68,1	17,0	14,9
vivaistica	76.589	62,6	21,6	15,8
zootecnica	1.743.891	67,3	11,7	21,0
avicunicola	62.273	65,8	13,9	21,3
casearia	523.914	63,4	10,6	26,0
altro	54.543	59,8	20,8	19,4
media	4.710.095	62,7	14,6	22,8

Tab. 2 – Numero di trattori equipaggiati con ROPS o con cabina, stimato dal NIOSH in USA nel 1993, per anzianità [Myers, Snyder; 1995].

gruppo di età delle trattori anni	numero di trattori stimato	trattori senza ROPS %	trattori con ROPS %	trattori con cabina %
0-4	320.657	8,5	34,0	57,5
5-9	386.565	23,9	31,0	45,1
10-14	627.751	35,2	14,0	50,8
15-19	762.587	42,5	12,2	45,3
20-24	683.567	65,6	8,2	26,2
25-29	606.742	84,4	5,3	10,3
30-34	391.949	92,6	3,5	3,9
35-39	319.813	97,8	1,5	0,7
40-44	376.712	98,0	0,9	1,1
45-49	152.236	98,0	1,5	0,5
> 50	81.527	99,0	1,0	0,0

5. PROSPETTIVE E CONCLUSIONI

In linea generale attorno al problema della **riduzione dei livelli di vibrazione** sono in sviluppo soluzioni tecniche sostanzialmente riguardanti la sospensione totale o parziale della cabina e la sospensione degli assali. In ogni caso i più significativi progressi, sulla

maggioranza delle trattrici in circolazione, sono dovuti al notevole miglioramento delle sospensioni dei sedili, evidentemente anche per motivi di costi.

Già negli anni '80 Guarnieri analizzando l'efficienza di quattro sedili, normalmente utilizzati sulle piccole trattrici, segnalava tempi di esposizione alle vibrazioni verticali, relativamente alla riduzione della capacità operativa, di 3-4 h [Guarnieri; 1983], oltre alla maggiore efficacia del sistema di sospensione dei sedili dotati di cinematisma a pantografo nell'attenuazione delle vibrazioni nel campo di frequenza compreso tra 3 e 10 Hz. Tali osservazioni possono essere utilmente confrontate con uno studio di Sabanci [Sabanci; 1985] presentato all'8th International Symposium on ergonomics, a Silsoe nel 1985 nel quale sono state riportate le frequenze proprie misurate al banco di 15 sedili per trattrice, rilevando valori massimi di 8 Hz e comunque mai inferiori a 1,5 Hz, anche per i sedili dotati di sospensione a parallelogramma e regolazione del carico. A tale proposito non si può non ricordare l'impegno dei colleghi Potecchi e Deboli sulla caratterizzazione statica e dinamica dei sedili in relazione a diversi parametri come per esempio la massa e la postura del conducente [Deboli, Potecchi; 1986]. Tema quest'ultimo particolarmente interessante anche in relazione all'adozione delle cinture di sicurezza, su cui si dovrà necessariamente guardare con più attenzione e sul quale già è stato speso un certo impegno sul versante degli studi teorici, come per esempio da Torén e Öberg [Torén e Öberg; 2001] o da Rains [Rains; 2000], il quale ha realizzato un banco prova che consente di imprimere un'accelerazione angolare al complesso conducente-sedile, in modo da poter valutare in condizioni di laboratorio l'effetto del posizionamento degli attacchi della cintura di sicurezza, sugli scuotimenti della testa e del tronco. Così come interessante al riguardo è il modello biomeccanico sviluppato Vujcic [Vujcic; 1995] in grado di considerare differenti posture del conducente, al fine di costituire un'utile base teorica per un metodo generale di buona progettazione del sedile. E' significativo al riguardo anche lo studio di Kochetov [Kochetov; 1990] il quale nel 1990 già evidenziava l'importanza di una sospensione a caratteristica non lineare, perciò non caratterizzata da una frequenza propria dominante, e tracciava un metodo di dimensionamento delle sospensioni a gas ad alta pressione. Ciò anche sulla base di studi precedenti, come quello di Vanin [Vanin *et al.*; 1983] secondo il quale, al fine di contenere la corsa della sospensione entro i ± 60 mm, e la più bassa delle frequenze proprie entro 1-2 Hz, è necessario che la componente elastica del meccanismo abbia caratteristica non proporzionale e che l'attrito statico risulti minimo. Sempre in tale ambito è pure interessante lo studio di uno smorzatore inerziale a disco, che diversamente dai dispositivi oggi comunemente adottati, risulta non dissipativo, sperimentato da Ceasznyi circa quindici anni fa [Ceasznyi; 1986]. Ancora, nell'ottica della riduzione delle vibrazioni trasmesse dal sedile di guida, può anche essere ricordato l'impegno dei colleghi del CNR [Stanzial, Fuschini; 1990] nella simulazione del controllo attivo delle vibrazioni, basato sulla sovrapposizione di segnali in opposizione di fase, in grado di dimezzare il valore originario della trasmissibilità. Così come risultano interessanti gli studi sul dimensionamento ed il collaudo di sistemi di sospensione laterale e longitudinale del sedile, anche alla luce dei molti dati sperimentali riportati, come già evidenziato, secondo i quali non è trascurabile la quota di casi per i quali l'asse verticale non è quello più disturbante [Sankar, Afonso; 1993].

In relazione poi all'aumento della potenza delle trattrici ed all'innalzamento dei limiti di velocità nella circolazione stradale, non è da escludere un maggiore impegno dei costruttori. Significativi al riguardo gli studi e le soluzioni tecniche legate alla sospensione della cabina di guida o dell'assale anteriore sviluppate nel lavoro di Hansson [Hansson; 2000] sullo studio dinamico di una cabina sospesa, così come l'attività svolta al ex AFRC di Silsoe-UK fin dagli anni '70 [AFRC; 1990], dove con l'impiego della sospensione della cabina

venivano osservate riduzioni dei livelli di vibrazione fino al 70%, contro una riduzione massima del 25% dovuta alla sola sospensione del sedile. Peraltro con lo stesso criterio, attorno agli anni '80, con la sospensione del perno dell'assale anteriore, attraverso un ammortizzatore a gas con corsa da 120 mm, si ottenevano riduzioni fino al 30%, rispetto alla trattrice con assale rigido. Quattro diverse soluzioni sviluppate in ambito di ricerca per la sospensione dell'assale anteriore [Nell, Steyn; 1998] [Prasad *et al.*; 1995] sono ormai definitivamente uscite dall'ambito prototipale (Figg. 3, 4). Ad esempio Landini con il dispositivo di controllo elettronico della sospensione dell'assale anteriore riesce a ridurre di circa il 40% i livelli di vibrazione durante il trasferimento su strada a 40 km/h, e mediamente del 15% in lavoro [Santoro *et al.*; 2001] [Vassalini; 1999].

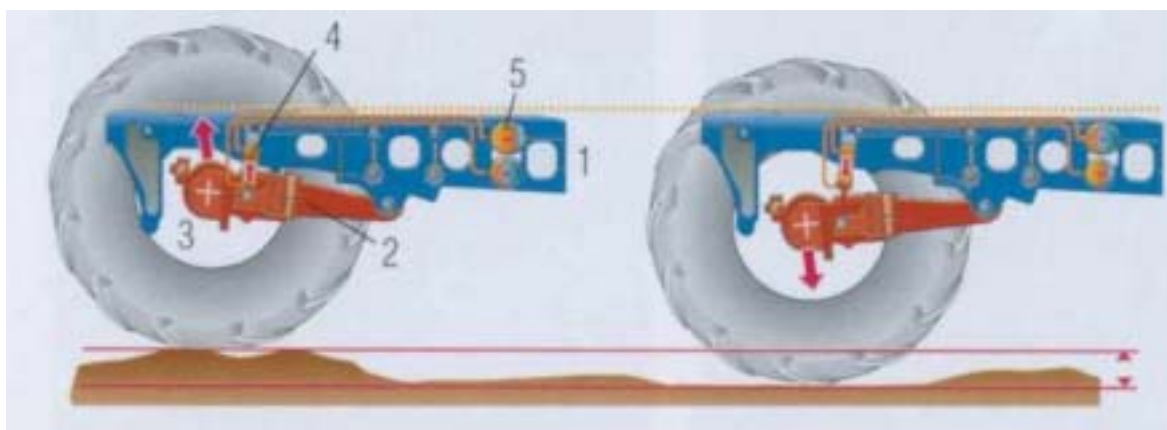


Fig. 3 – Particolare del braccio di sospensione dell'assale anteriore della trattrice Fendt Vario 700.



Fig. 4 – La soluzione Landini per la sospensione dell'assale anteriore a ruote indipendenti.

In tale contesto va certamente anche richiamato il ruolo dei costruttori di pneumatici nello sviluppo di strutture radiali a bassa pressione di gonfiamento ed elevata cedevolezza. Tra i tanti studi si può citare quello di Yong [Yong, Eiyu; 1990] circa gli effetti delle irregolarità della strada sulle caratteristiche di mobilità di un pneumatico da trattrice, per velocità di avanzamento fino a 15 m/s e per differenti pressioni di gonfiamento. Tralasciando i miglioramenti ottenuti attraverso la modifica di piattaforme e sedili non v'è dubbio infatti che le caratteristiche degli pneumatici, in termini di rigidità e smorzamento, hanno contribuito

alla riduzione delle vibrazioni sul piano verticale, lasciando ancora irrisolto il problema della riduzione delle vibrazioni sul piano orizzontale e quelle angolari dovute ai moti di rollio e beccheggio, anche in relazione alla posizione del sedile rispetto agli assi di istantanea rotazione ed all'impiego delle cinture di sicurezza. Un problema peraltro ben segnalato dagli studi di Pessina [Pessina; 1986] inerenti alla valutazione delle vibrazioni, in fase di trasporto, sia lungo i gradi di libertà di traslazione che di rotazione. Ricerche successive [Paddan, Griffin; 1994] sviluppate anche in ambito forestale [Wikstrom, Eskilsson; 1983] tengono infatti in particolare considerazione i moti di rollio e beccheggio trasmessi alla testa del conducente in funzione della postura di quest'ultimo. Fatto particolarmente interessante se posto in relazione con l'impiego delle cinture di sicurezza.

Nell'ambito poi dello sviluppo dei sistemi di locomozione per trattrici ad elevata mobilità, nel cui ambito sono ormai note le soluzioni con cingoli in gomma adottate da Claas, Caterpillar o John Deere (Figg. 5, 6, 7), [Marsili, Servadio; 2000] vanno poi segnalate le ricerche sviluppate da Malaguti [Malaguti *et al.*; 1986] su una trattrice a cingoli di costruzione nazionale, e da Dhir e Seshadri [Dhir, Seshadri; 1995] per quanto riguarda la sospensione indipendente delle ruote d'appoggio del cingolo.



Fig. 5 – Trattrice John Deere 8010T (160-220 kW), equipaggiata con cingoli in gomma di larghezza massima fino a 0,76 m. Velocità massima 30 km/h.



Fig. 6 – Claas Challenger (10 t, 150-200 kW). La cingolatura in gomma fornisce una superficie di contatto col suolo fino a 3,5 m².



Fig. 7 - Le trattrici Claas Ch55 e Ch95 E in aratura, con aratro trivomere portato.

Un settore di attività quest'ultimo particolarmente promettente in relazione alla **riduzione della rumorosità** sulle trattrici cingolate che, come noto, risultano essere generalmente più rumorose. Le soluzioni per la riduzione dei livelli di vibrazione risultano infatti spesso strettamente collegate a quelle relative al contenimento del rumore, così come avviene anche per i sistemi di sospensione della piattaforma e dei sistemi di guida. A questo proposito si può ricordare lo studio di Febo e Gobbi [Febo, Gobbi; 1985] sulla riduzione della rumorosità emessa dall'idroguida di una trattrice attraverso una più accurata selezione della componentistica idraulica e sull'isolamento meccanico del complesso di guida e di parti dell'impianto idraulico con i quali è stato possibile conseguire anche una riduzione significativa dei livelli di vibrazione sul volante e sulle lamiere della *consolle* di guida.

Il problema della riduzione del rumore all'orecchio del conducente, a meno dell'imposizione della cabina su tutte le trattrici, non ci sembra di facile soluzione. Infatti dai dati provenienti dalle prove di rumorosità condotte secondo il codice 5 OCSE si rileva come mentre sono sempre più comuni valori di livelli di rumorosità all'orecchio del conducente prossimi ai 70 dB(A) per le trattrici con cabina, restano attualmente elevati quelli delle trattrici prive di cabina, per le quali tali livelli sono prossimi a 95 dB(A). Relativamente a queste ultime, sulla base delle norme più restrittive, parallelamente all'obbligo di installazione delle cinture di sicurezza, compatibilmente peraltro con le indicazioni del D.Lgs.277, diviene perciò indispensabile ricorrere ai mezzi di protezione personale, come tappi, cuffie e caschi,

anche per far fronte al peggioramento delle condizioni di comfort delle trattrici usate [Pessina, Guerretti; 2000].

In ogni caso non v'è dubbio sul fatto che soluzioni più appropriate vadano ricercate, sin dalla fase di prototipazione delle nuove trattrici, utilizzando metodi d'indagine specifici, in grado di caratterizzare meglio i contributi delle singole sorgenti, quali quelli legati alla determinazione della intensità dell'energia sonora, nel cui ambito vanno inquadrati gli studi dei colleghi del CNR, avviati fin dagli anni '80 [Carletti *et al.*; 1980] (Fig. 8). Interessanti sono anche gli studi di Razumovskii [Razumovskii *et al.*; 1991] circa una tecnica matematica per caratterizzare il rumore prodotto da una trattrice in relazione alle diverse sorgenti, con particolare attenzione al motore, alla trasmissione ed ai sistemi di scarico ed aspirazione. Indagini di questo tipo sono senz'altro importanti nella valutazione dell'efficacia di interventi di tipo attivo o passivo, legati all'impiego ed al dimensionamento dei pannelli di materiale fonoassorbente, alla chiusura ermetica della cabina, al progetto della ventola di raffreddamento, all'abbassamento del regime di rotazione del motore, così come allo studio delle parti di lamiera costituenti il cofano, la piattaforma e parti della cabina, che poste in vibrazione, possono a loro volta divenire sorgenti di rumore.

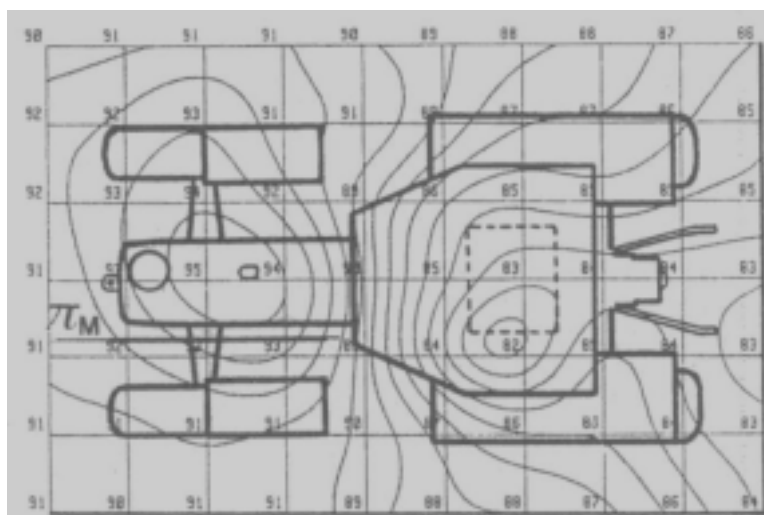


Fig. 8 – Mappa dei livelli di intensità acustica. Da: Carletti *et al.*; 1980.

Nell'ambito di questo tipo di interventi è interessante la soluzione proposta da Bacher [Bacher; 1980] relativamente alla modifica dei cofani che racchiudono il motore, spinta fino ad una soluzione di isolamento della scatola del cambio. Lo stesso Autore fornisce anche un'analisi dettagliata dell'efficacia degli schermi isolanti in funzione del loro spessore, del materiale e dello spettro del rumore. Similmente Harris presenta una soluzione di integrazione di struttura aperta a 4 montanti, con pannellature in fibra di vetro [Harris; 1979].

Sulla dinamica del **rotolamento**, non volendo condurre qui un'analisi che necessiterebbe di molto più tempo, siamo costretti a ricordare appena gli importanti contributi degli illustri studiosi Stefanelli, Scotton, Sarcinelli, Casini-Ropa, e Blandini, fondamentali per gli studi successivi, anche per gli aspetti tecnici, progettuali e normativi, come lo studio teorico di Ponzio [Ponzio; 1971] sulla stabilità longitudinale statica e dinamica della trattrice in relazione all'accoppiamento con le macchine operatrici ed ai carichi sugli assi.

Nell'ambito più ristretto della verifica della non continuità del rotolamento delle trattrici è stato sviluppato da Davis e Rehkugler [Davis, Rehkugler; 1974] un modello matematico a 10 gradi di libertà per la simulazione del ribaltamento della trattrice a ruote su un pendio, successivamente verificato con ottimo accordo su modellini fisici di trattrice in

scala 1/12. Pure interessante è il modello numerico sviluppato al NIAE [Chisolm; 1979] per la simulazione della dinamica del capovolgimento della trattrice.

In tale ambito Guarnieri e collaboratori [Guarnieri *et al.*; 1993] hanno condotto un'analisi di sensibilità del modello di calcolo dell'energia cinetica della trattrice a carreggiata stretta durante il rotolamento, contenuto nelle norme CEE/OCSE, individuando fra tutti i parametri considerati dalle norme quelli più influenti, evidenziando in particolare la bassa importanza del valore del momento d'inerzia longitudinale.

Nell'ottica della verifica della stabilità statica dell'accoppiamento trattrice-macchina operatrice, si segnala l'attività dello *Scottish Centre for Agricultural Engineering*, presso il quale è stata costruita una piattaforma inclinabile con portata fino a 25 t, in grado quindi di ospitare macchine semoventi di grandi dimensioni [Gilfillan; 1980].

Con analogia attrezzatura ricordiamo anche le ricerche di De Zanche [De Zanche; 1975] sulla stabilità statica trasversale delle trattrici standard e snodate a ruote, in relazione alla deformabilità dei pneumatici, alla pressione di gonfiamento ed alla carreggiata.

Nel settore della progettazione delle strutture ROPS si può segnalare il lavoro sviluppato al NIOSH da Etherton e collaboratori [Etherton *et al.*; 2001, 2002] relativamente al collaudo di un arco di protezione con montanti telescopici, i quali sotto l'azione di una molla, si estendono in caso di ribaltamento in un tempo inferiore a 0,3 s (*Fig. 9*). Sarà certamente interessante seguire lo sviluppo industriale di tale soluzione, anche per quanto riguarda i meccanismi di attivazione, i relativi sensori accelerometrici e l'affidabilità nel tempo, in ambiente agricolo, di tutte le componenti elettriche e meccaniche. Tuttavia è probabile che tale soluzione possa trovare una sua applicazione sulle trattrici a carreggiata stretta, per le quali è prevista l'abbattibilità del telaio anteriore, così come più in generale su quelle trattrici provviste di telaio posteriore parzialmente ripiegabile, per le quali potrebbe avere qualche utilità un sistema di attivazione della struttura ROPS in caso di incipiente ribaltamento laterale o longitudinale.

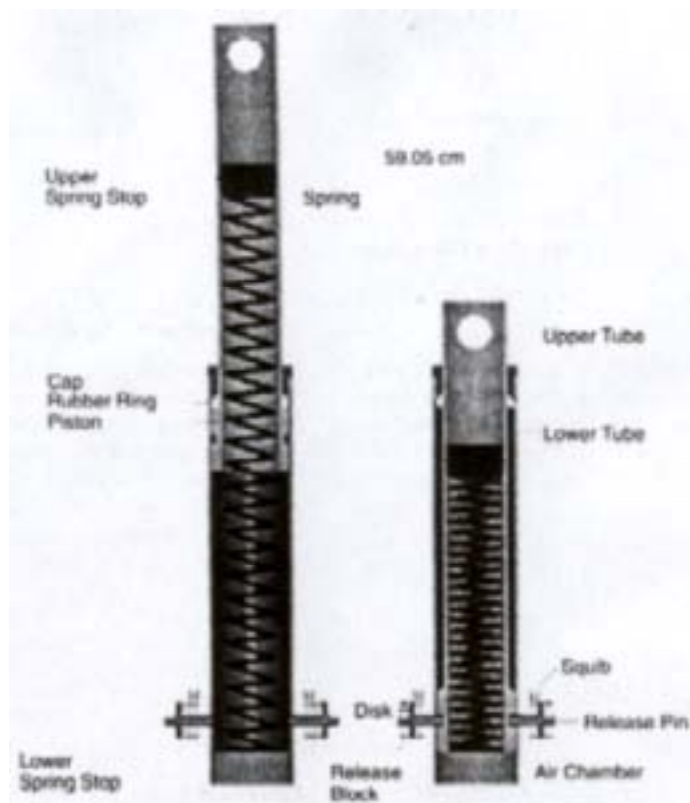


Fig. 9 – Montanti telescopici per arco di protezione. Da: Etherton *et al.*; 2001, 2002.

Per quanto riguarda invece il progetto statico e cinematico delle strutture di protezione si osserva, soprattutto sulla base degli esiti delle prove di omologazione, come tuttora si tratti di un problema ancora lontano da una soluzione generalizzata. Un semplice schema per il dimensionamento degli archi a due montanti è stato sviluppato da Kim [Kim; 2001] e da Signorin [Signorin; 1986]. In particolare in quest'ultimo studio viene sviluppato un metodo di calcolo dell'altezza minima del telaio per la non continuità del rotolamento, sulla base del modello di verifica teorica delle norme CEE/OCSE, ed anche un semplice tentativo di schema per il dimensionamento statico basato sul concetto di cerniera plastica, mutuato dall'ambito dell'ingegneria civile. Su tale ultimo aspetto, anche sulla base delle numerose esperienze riguardo alla difficoltà di adattamento di programmi di tipo commerciale [Harris *et al.*; 2000] [Coddington *et al.*; 1991], presso il *DEIAgra* di Bologna [Fabbri; 2000] è stato sviluppato un codice di calcolo non-lineare agli elementi finiti, per la simulazione del comportamento meccanico tridimensionale delle strutture ROPS, in relazione alla sequenza di carichi previsti dai codici di prova CEE/OCSE.

In definitiva, nella prospettiva di una prossima industrializzazione dei sistemi di protezione attivi, costituiti da zavorre mobili o parti strutturali ad attivazione automatica, tenuto conto anche della imminente obbligatorietà delle cinture di sicurezza, sembra di poter intravedere elementi per una maggiore sicurezza relativamente al problema della stabilità statica e dinamica nello studio di indici di stabilità, anche estesi alle macchine operatrici o al complesso trattore-macchina operatrice. La base per una definizione di tali indici potrebbe essere ricercata nei citati lavori di Davis e Reuhkung, il cui modello è sostanzialmente basato sugli stessi parametri considerati dalle norme CEE/OCSE per la verifica della non continuità del rotolamento delle trattrici a carreggiata stretta, così come sui molti lavori di Ayers e

collaboratori [Ayers, Liu; 1995, 96, 98, 99], inseriti in progetti di ricerca governativi del NIOSH (Fig. 10).

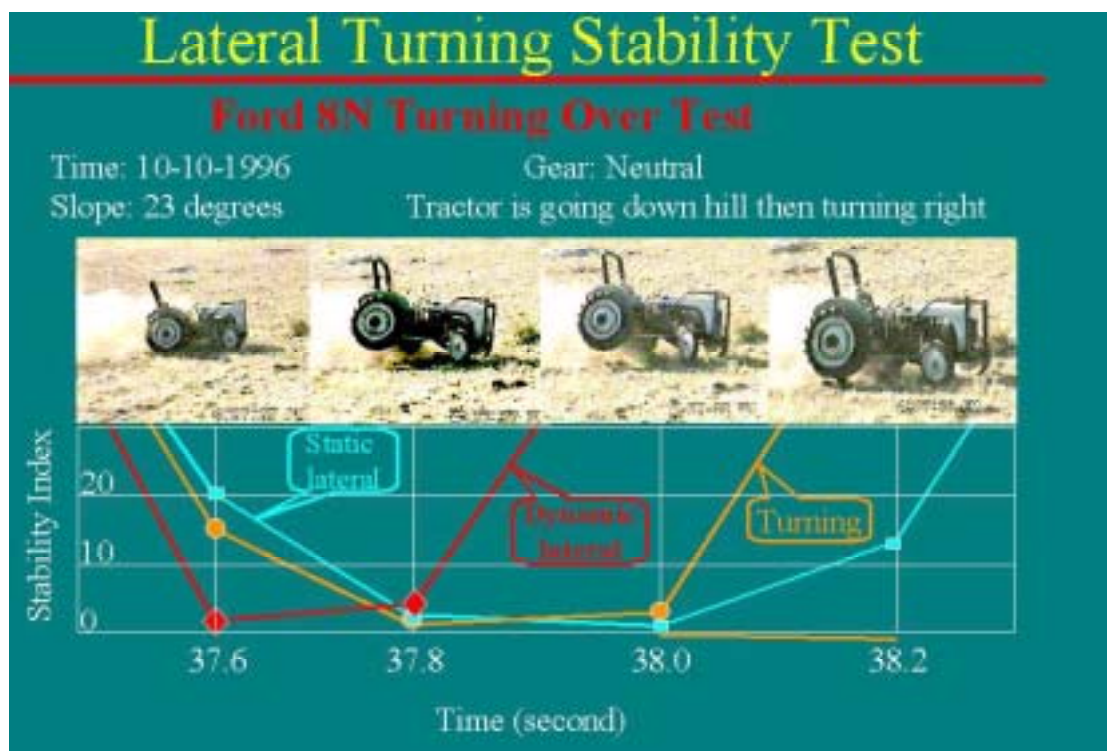


Fig. 10 – Valore di differenti Indici di Stabilità, misurati durante una brusca sterzata di una trattore radiocomandata. Da: Ayers, Liu; 1999.

Bibliografia

- AFRC; 1990. Studi dell'AFRC engineering sulle vibrazioni del trattore – come migliorare il comfort sulle macchine agricole. *Macchine e Motori Agricoli*, 1, 64-65.
- Artuso M L, Capelli G; 1982. Il rumore in agricoltura: livello sonoro di alcune macchine agricole e dose di rumore per gli operatori. *Macchine & Motori Agricoli*, 4, 47-62.
- Ayers P D, Liu J; 1999. Off-road vehicle rollover and field testing of stability index. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 5(1), 59-71.
- Ayers P D, Liu J, Murphy D, Aherin R, Duncan J, Field W, Gunderson P, Popendorf W; 1998. Application of a tractor stability index for protective structure deployment. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 1, 171-181.
- Ayers P D, Liu J; 1996. Effect of acceleration on the stability index of tractor. *Journal of Agromedicine*, special issue-proceedings of the 3rd NIOSH conference.
- Ayers P D, Liu J; 1996. Technology for measuring tractor stability on-side. ASAE paper n.965034.
- Ayers P D, Liu J; 1999. Off-road vehicle stability mapping integrating GPS/GIS and video technology. ASAE paper n.997047.
- Ayers P D, Liu J; 2000. Database modeling of agricultural machinery safety and production based of integrating GPS/GIS and VMS technology. ASAE paper n.001106.

- Ayers P D; 1995. Development of vehicle stability index. Proceedings of the 2nd NIOSH conference, Colorado State.
- Azzaretto E, Cevolini A, Simoni M, Ferrari P; 1990. Ricerca 6/6 del piano di attività 1985-88. Modalità di misura delle vibrazioni indotte sull'operatore da macchine semoventi. Atti del convegno nazionale "dBA'90-Rumore e vibrazioni . Valutazione, prevenzione e bonifica", Bologna/Modena, 20-24 novembre.
- Bacher R; 1980. Means for reducing tractor noise by use of noise protection enclosures. Grundlagen der Landtechnik, 30 (2), 51-58.
- Betta A, Peretti A; 1985. Problemi sanitari connessi con l'impiego delle macchine agricole. Atti del seminario "Aspetti igienistici e di prevenzione del rischio da vibrazioni da macchine agricole". S. Michle all'Adige-Trento, 3/5. p.29-37..
- Blandini G, Cerruto E, Schillaci G, Petrone F; 1996. Valutazione delle vibrazioni trasmesse al sedile di una trattrice durante la trinciatura delle ramaglie. Rivista di Ingegneria Agraria, 4, 237-244.
- Carletti E, Vecchi I, Potecchi S; 1988. L'intensimetria per la caratterizzazione del rumore nelle trattrici. Rivista di Ingegneria Agraria, quaderno n.10, 592-598.
- Ceasznyi F; 1986. One possibility for reduction of agricultural tractor seat vibrations. 7th international joint symposium on ergonomics in agriculture and forestry. 13-17 settembre, Budapest.
- CEE, 1989. 392 - Sicurezza generale delle macchine.
- CEE; 1977. 311 - Direttiva del Consiglio concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli stati membri relative al livello sonoro all'orecchio dei conducenti dei trattrici agricole o forestali a ruote.
- CEE; 1978. 764 - Direttiva sul sedile del conducente dei trattori agricoli o forestali a ruote.
- CEE; Direttive 77/536, 79/622, 86/298, 87/354, 87/402, 89/681, 89/682.
- Chisolm C J; 1979. The effect of parameter variation on tractor overturning and impact behaviour. Journal of Agricultural Engineering Research, 24(4), 417-440.
- Coddington R C, Kim C, Miller R E; 1991. An energy approach to nonlinear analysis of roll-over protective structures. ASAE paper n.915005.
- CONAMA; 1992. La tutela della sicurezza nell'uso delle macchine agricole. Ed. Clueb, Bologna. 61pp.
- CONAMA; 1993. Il nuovo codice della strada e le macchine agricole. Ed. Clueb, Bologna. 89pp.
- CONAMA; 1999. La misura dell'esposizione al rumore in agricoltura. Contenuti, interpretazione ed applicazione del D.Lgs.277/91. Roma, 82pp
- Coppi P A, Magnani M, Rotondo G E; 1994. Valutazione delle vibrazioni intero corpo nei lavoratori addetti alla coltivazione del tabacco verde. Atti del convegno nazionale "dBA'94-Rumore e vibrazioni . Valutazione, prevenzione e bonifica in ambiente di lavoro", Modena, 20-22 ottobre.
- Cosa M, Nicoli M; 1974. Azione patogena del rumore urbano sull'uomo e sulla comunità. Atti del convegno nazionale "Fattori socio-patogeni del modo di vita urbano", Roma, 26-27 aprile.
- D.lgs. 277/91, Attuazione delle direttive CEE 1107/80, 605/82, 477/83, 188/86, 642/88, in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da esposizione ad agenti

- chimici, fisici e biologici durante il lavoro, a norma dell'art.7 della legge 30.7.90 n.212. G.U. 27/8/1991.
- D.lgs. 626/94, Attuazione delle direttive CEE 89/391, 89/654, 89/655, 89/656, 90/269, 90/270, 90/394, 90/679 riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro. G.U. 27/11/94.
- De Zanche C; 1975. Effetti della deformazione dei pneumatici sulla stabilità trasversale della trattrice. *Rivista di Ingegneria Agraria*. 2, 57-64 e 119-126.
- Deboli R, Potecchi S; 1986. Determinazione del comportamento dei sedili per macchine agricole mediante banco vibrante. *Rivista di Ingegneria Agraria*, 17, quaderno 7, 232-238.
- Devis D, Rehkuger G; 1974. Agricultural Wheel-Tractor Overturns. *Transactions of the ASAE*. 17(3), 477-483 e 484-488.
- Dhir A, Shesadri S; 1995. Assessment of tracked vehicle suspension system using a validated computer simulation model. *Journal of Terramechanics*. 32(3), 127-149.
- Etherton J R, Cutlip R G, Harris J R., Ronaghi M, Means K H, Howard S; 2002. Dynamic Performance of the Mechanism of an Automatically Deployable ROPS. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 8(1), 113-118.
- Etherton J R, Harris J R, Powers J R., Ronaghi M, Snyder K, Newbraugh B; 2001. Performance of an Automatically Deployable ROPS on ASAE Tests. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 7(1), 51-61.
- Fabbi A; 2000. Sviluppo di un programma di calcolo, basato sulla tecnica degli elementi finiti, per la progettazione delle strutture di protezione installate sulle trattrici agricole. *Rivista di Ingegneria Agraria*. 3, 183-195.
- Febo L, Gobbi S, Pessina D; 1983. Il rumore e le macchine agricole. *Rivista di Ingegneria Agraria*. 5, 3, 155-165.
- Febo L, Gobbi S, Pessina D; 1983. Il rumore e le macchine agricole. *Rivista di Ingegneria Agraria*. 5, 3, 155-165.
- Febo P, Pessina D.; 1989. Sicurezza ed ergonomia del trattore. *Macchine & Motori Agricoli*, 7-8, 27-60.
- Febo P, Pessina D; 1995. Survey on the working condition of used tractors in northern Italy. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 62, 193-202.
- Gasparetto E; 1974. Rassegna Informativa. *Rivista di Ingegneria Agraria*, 5, 79-100.
- Gilfillan G; 1980. Safety on slopes – a review of SIAE studies on agricultural tractors behaviour. Biennial report of Scottish Institute of Agricultural Engineering.
- Guarnieri A, Liberati P, Ragni L; 1993. Analisi teorico-sperimentale dell'energia applicata ai dispositivi di protezione dei trattori a ruote a carreggiata stretta nel ribaltamento laterale. *Rivista di Ingegneria Agraria*, 1, 8-13.
- Guarnieri A, Ragni L; 1990. Confort dinamico dei trattori a ruote nella lavorazione del terreno. *Rivista di Ingegneria Agraria*, 21, 4, 199-208.
- Guarnieri A; 1983. Analisi ergonomica dei livelli di vibrazioni verticali sul posto di guida dei trattori. *Rivista di Ingegneria Agraria*, 4, 217-226.
- Hansson P A; 2002. Working space requirement for an agricultural tractor axle suspension. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 81(1), 57-71.
- Harris J D; 1979. Sound control on J I Case 90 series non-cab agricultural tractors. SAE Paper n.790811.

- Harris J R, Mucino V H, Etherton J R, Snyder K, Means K H; 2000. Finite element modeling of ROPS in static testing and rear overturn. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 6(3), 215-225.
- Hegg R O; 1991. Meccanizzazione: sviluppi negli USA, *Macchine & Motori Agricoli*, 2, 19-23.
- INAIL; 2002. Banca Dati INAIL, Tav.CAI/1.1.4, <http://www.inail.it>.
- ISO 2631; 1997. Evaluation of human exposure to whole body vibration.
- ISO 5008; 1979. Agricultural wheeled tractors and field machinery. Measurement of whole body vibration of the operator.
- Kim T H, Reid S R; 2001. Multiaxial softening hinge model for tubular vehicle roll-over protective structure. *International Journal of Mechanical Sciences*, 43(9), 2147-2170.
- Kochetov O S; 1990. Calculation of valveless systems for vibration damping control. *Tekhnika v Sel'skom khozayaistve*. 3, 52-53.
- Madsen M D; 2002. A complementary strategy to reduce tractor overturn fatalities: sell more new tractors and retire the old ones. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 8(2), 141-142.
- Malaguti F, Boccafogli C, Carletti E, Miccoli G, Vecchi I, Zarotti G; 1986. Evaluation of a new track suspension. *Proceedings of the Third European Conference ISTVS - off the road vehicles and machinery in agriculture, earthwork and forestry*, Warsaw, Poland 35-47.
- Marsili A, Ragni L, Santoro G, Servadio P, Vassalini G; 2001. Innovative systems to reduce vibrations on agricultural tractors: comparative analysis of acceleration transmitted through the drive seat. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 81(1), 35-47.
- Marsili A, Servadio P; 2000. Prova in campo – Trattore Claas Challenger 95E. *Macchine e motori agricoli*, 6, 43-55.
- Meijer D G; 1998. Overturn safety in tractors. *Landbouwmechanisatie*. 49(5), 34-35.
- Myers J R, Snyder K A, Hard D L, Casini V J, Cianfrocco R, Fields J, Morton L; 1998. Statistics and Epidemiology of Tractor Fatalities-A Historical Perspective. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 4(2), 95-108.
- Myers J R, Snyder K A; 1995. Roll-over Protective Structures Use and the Cost of Retrofitting Tractors in the United States. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 1(3), 185-197.
- Myers M L; 2002. Tractor risk abatement and control as a coherent strategy. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 8(2), 185-198.
- Nell S, Steyn J L; 1998. An alternative control strategy for semi-active dampers on off-road vehicles. *Journal of Terramechanics*. 35, 25-40
- Nuccitelli G, Santonocito E, Vannucci D; 1992. Le vibrazioni: un rischio per il trattorista. *Macchine & motori agricoli*, 6, 63-67.
- Öberg A, Torén K; 2001. Change in twisted postures by the use of saddle seats – a conceptual study. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 78(1), 25-34.
- OCSE; 1996. OECD standard codes for the official testing of protective structures according to code 5. Report on the co-ordinating centre activities.
- OCSE; 2002. Standard codes for the official testing of agricultural and forestry tractors. Paris. 370pp.
- Paddan G S, Griffin M J; 1994. Transmission of roll and pitch seat vibration to the head. *Ergonomics*. 37(9), 1513-1531.

- Pana-Cryan R, Myers M L; 2000. Prevention Effectiveness of Rollover Structures-Part III: Economic Analysis. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 6(1), 57-70.
- Pessina D; 1985. Prove OCSE di rumorosità su trattori con telai e cabine di protezione. *Rivista di Ingegneria Agraria*, 1, 33-45.
- Pessina D; 1986. Valutazione delle vibrazioni al posto di guida di un trattore agricolo in fase di trasporto. *Rivista di Ingegneria Agraria*, 4, 227-241.
- Pessina D, Guerretti M; 2000. Effectiveness of hearing protection devices in the hazard reduction of noise from used tractors. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 75, 73-80.
- Ponzio L; 1971. Ribaltamento all'indietro di un trattore agricolo. *Rivista di Ingegneria Agraria*. 2, 83-102.
- Potecchi S; 1986. Determinazione delle caratteristiche del sistema trattore-sedile mediante pista a risalti. *Rivista di Ingegneria Agraria*, quaderno n.7, 239-244.
- Prasad N, Tewari V K, Yadav R; 1995. Tractor ride vibration – a review. *Journal of Terramechanics*. 32(4), 205-219
- Ragni L; 1994. Il problema del rumore sulla trattore agricola, *Macchine & Motori Agricoli*, 10, 46-53.
- Rains G C; 2000. Initial rollover effectiveness evaluation of an alternative seat belt design for agricultural tractors. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 6(1), 13-27.
- Razumovskii M A, Andreev A F, Krzhivitskii R I, Semenov V A; (1991). Assessment of tractor noise characteristics. *Traktory i Sel'skhozyaistvennyye mashiny*, 11, 12-14.
- Reynolds S J, Grooves W; 2000. Effectiveness of roll-over protective structures in reducing farm tractor fatalities. *American Journal of Preventive Medicine*. 18(4), 63-69.
- Ricci F; 2002. Macchine usate: proroga dei termini per il loro adeguamento. *Mondo Macchina*, 5, 16-19.
- Sabancı A; 1985. Vibration problems on agricultural tractors and suspension characteristics of operator seats in Turkey. 8th international joint symposium on ergonomics in agriculture and forestry. Silsoe, UK.
- Sankar S, Afonso M; 1993. Design and testing of lateral seat suspension for off-road vehicles. *Journal of Terramechanics*. 30(5), 371-393
- Santonocito E, Vieri M, Cioni A; 1994. Problemi attuativi della legislazione sulla rumorosità delle macchine agricole. *Atti della giornata di studio su aspetti legislativi e normativi in ingegneria agraria*. Regione Toscana, Firenze, 20 giugno.
- Signorin M; 1986. Progettazione computerizzata di un telaio per trattore. *Macchine & Motori Agricoli*, 11, 135.
- Spirgys A, Mieldazys A; 2000. Investigations on wheeled tractor stability in chopped grass packing. *Zemes Ukio Inzinerija*, 32(4), 81-96.
- Springfeldt B, Thorson J, Lee B C; 1998. Sweden's Thirty-year Experience with Tractor Rollovers. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 4(3), 173-180.
- Stanzial D, Fuschini A; 1990. Simulazione del controllo attivo delle vibrazioni ai sedili dell'operatore di macchine movimento terra. *Atti del convegno nazionale " dBA '90-Rumore e vibrazioni . Valutazione, prevenzione e bonifica"*, Bologna/Modena, 20-24 novembre.
- Thelin A; 1998. Rollover Fatalities – Nordic Perspective. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 4(3), 157-160.

- Vanin V S, Ponomarev A I, Roslyakov V P, Chernyshev V I; 1983. A vibration isolation system for operator seats. *Mekhanizatsiya i Elektrifikatsiya Sel'skogo khozyaistva*. 11, 15-17.
- Vassalini G; 1999. Prova in campo – verifica delle vibrazioni – Landini Legend Deòltasix 165. *Macchine & Motori Agricoli*, 11, 111.
- Vassalini G; 2000. Prova in campo – test su vibrazioni e rumore – Landini Trekker 85. *Macchine & Motori Agricoli*, 11, 110.
- Vassalini G; 2000. Prova in campo – verifica delle vibrazioni – New Holland 8970. *Macchine & Motori Agricoli*, 3, 52.
- Vujcic M; 1995. Mathematical models of seat vibrations by tractor drivers. Conference on current problems in agricultural engineering. 7-10/2, Zagabria, Croazia. 69-74.
- Wen D, Hetzel G H, Perumpral G V; 1994. A technique for determining tractor axle housing strength for adding ROPS on older tractors. ASAE paper, n.945001, 18pp.
- Wen D, Hetzel G H, Wilson J H; 1994. Finite element analysis of axle housing strength for pre-ROPS John Deere 720 tractors. ASAE paper, n.945002, 23pp.
- Wikstrom B O, Eskilsson U; 1983. Whole-body in forest machines of year models 1981/83. Undersokingrapport – Arbeitarskyddsstyrelsen, Sweden. 44, 10pp.
- Yong R N, Eiyō F; 1990. Road surface roughness and tyre performance. *Journal of Terramechanics*. 27(3), 219-239
- Zoppello G, Monarca D, Cecchini M; 1995. Aziende agricole, il rischio da rumore ed il D.Lgs.277/91. *Macchine & Motori Agricoli*, 10, 9-16.