

## Analisi delle caratteristiche di resistenza e di affidabilità nel tempo dei ripari contro il rischio di proiezione di oggetti nelle macchine falciatrici, trinciatrici e rasaerba

### PREMESSA

Le falciatrici con organi di taglio ruotanti su asse verticale sono fondamentalmente caratterizzate dalla presenza di dischi orizzontali in acciaio, disposti in parallelo sul telaio e dotati alla periferia di una serie di lame. L'azione di taglio è determinata dall'elevata velocità con la quale le lame investono gli steli.

La norma tecnica di riferimento in relazione ai requisiti di sicurezza e di verifica per la progettazione e la costruzione è la EN 745/1999, *Macchine agricole – falciatrici rotative e trinciatrici – Sicurezza*. La suddetta norma specifica, tra gli altri, i requisiti di sicurezza in relazione alla protezione contro contatti accidentali con gli utensili e alla protezione contro lanci di materiale oltre che a componenti della macchina. Per il rischio di proiezione di parti componenti la macchina la EN 745/1999 affronta solo i requisiti che devono essere posseduti dalle lame considerando quelli previsti al paragrafo 5 della ISO 5718-1/1989 o al paragrafo 4 della ISO 5718-2/1991. Nell'ambito della stessa norma sono descritti i metodi e i criteri per la verifica dei requisiti di sicurezza dei dispositivi di protezione contro il lancio di materiale attraverso prove di lancio di pietre e prove sui teli di protezione.

Alla luce di alcuni infortuni avvenuti e a seguito di un'indagine conoscitiva preliminare che ha evidenziato, su un campione rappresentativo di macchine falciatrici operanti su terreni particolarmente sassosi, danni sicuramente attribuibili a lancio di parti di elementi falcianti, è emerso che esiste un rischio concreto di proiezione di parti di componenti della macchina. Gli infortuni, infatti, si sono verificati per la proiezione di parti di lame a seguito di rottura

\* ISPESL Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro

per urto degli stessi contro pietre o materiale dotato di elevata resistenza meccanica. Risulta quindi di fondamentale importanza sviluppare dispositivi di protezione contro lanci di componenti della macchina oltre che di materiale e l'ISPESL ha perciò attivato una specifica attività di ricerca per valutare le sollecitazioni cui sono sottoposti i teli di protezione e verificarne, attraverso prove di impatto, l'effettiva resistenza.

Sono state perciò condotte prove di lancio di proiettili di differente calibro e a differenti velocità su un numero significativo di teli rispondenti ai requisiti previsti dalla EN 745/1999, e si è verificata così la possibilità di applicare i teli di protezione quali dispositivi di protezione contro i lanci di parti della macchina (in particolare di parti dell'organo falciante).

## I. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per l'effettuazione delle prove programmate, sono state utilizzate macchine in dotazione al DTS nei laboratori di Monteporzio Catone. Dove è stato necessario si è provveduto a modificare o realizzare apparecchiature specifiche che consentissero l'effettuazione di alcuni test. Di seguito sono riportate le attrezzature utilizzate per ciascuna prova e le loro caratteristiche.

### I.1 *Attrezzatura per la prova di impatto*

Per l'esecuzione delle prove è stata impiegata un'attrezzatura composta da due unità fondamentali: un dispositivo di lancio ad aria compressa per prove di impatto con proiettili di vario calibro e un sistema di acquisizione immagini ad alta velocità.

Il dispositivo di lancio (figg. 1 e 2) è stato progettato e realizzato secondo specifiche tecniche tali da garantire la possibilità di lancio di proiettili alle differenti velocità, corrispondenti in linea di massima a quelle periferiche delle lame della maggior parte delle falciatrici presenti sul mercato.

Il proiettile utilizzato per le prove pesa 15 gr e ha un diametro di 10 mm.

Il dispositivo di lancio risulta costituito, nei suoi elementi essenziali, da:

- telaio di supporto;
- camera di prova con supporto provini;
- canna di lancio;
- terminale della canna con fotodiodi;
- meccanismo di caricamento;

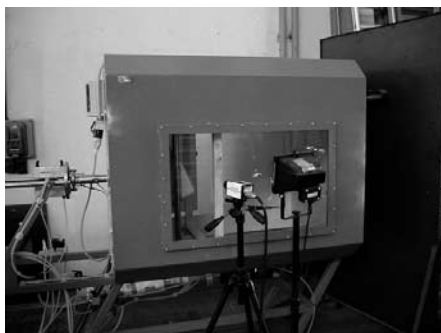


Fig. 1 *Dispositivo di lancio: pannello di controllo*

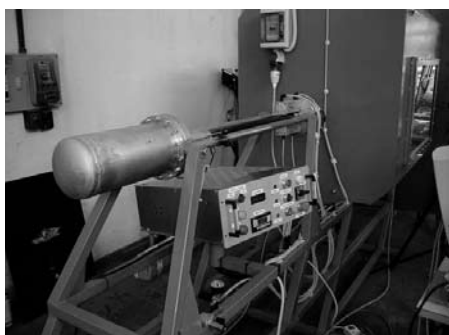


Fig. 2 *Dispositivo di lancio: camera di lancio*

- serbatoio di accumulo;
- pistone di comando della leva di scarico;
- elettrovalvola di scarico;
- rilevatore di pressione;
- pannello comandi.

Il sistema di acquisizione e gestione immagini ad alta velocità consente una registrazione dell'evento con buona risoluzione e frequenza di acquisizione molto alta (2000 fotogrammi al secondo) in grado pertanto di garantire un esame visivo dell'impatto istante per istante (fig. 3).

### 1.2 *Attrezzatura per la prova di resistenza alla perforazione*

I campioni di telo opportunamente sagomati, sono stati sottoposti alla prova di perforazione con l'apparecchiatura Alliance RT/10 MTS utilizzata per prove su elastomeri e collegata ad un computer dotato del software TESTWORKS di acquisizione ed elaborazione dati. La cella di carico utilizzata è una MTS 10 kN con sensitivity 2,36-MV/V



Fig. 3 Fotogrammi relativi alla prova di impatto

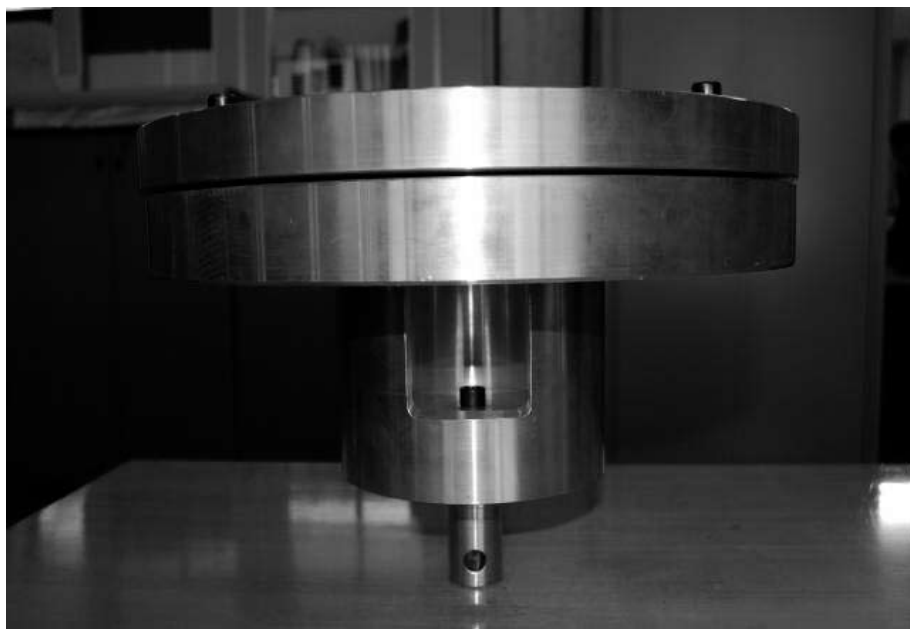


Fig. 4 Struttura porta-campione

La struttura metallica porta-campione è stata realizzata su progetto ISPESL, in quanto la Casa costruttrice era disponibile a fornire delle attrezzature capaci di sottoporre a prova solo tessuti con spessori molto limitati. Anche il punzone è stato realizzato su progetto ISPESL secondo le indicazioni fornite dallo standard europeo e con dimensioni compatibili alla struttura porta-campione.

La suddetta struttura è interamente realizzata tramite tornitura, esterna e interna di un cilindro di alluminio e consta di quattro parti (fig. 4):



Fig. 5 *Attrezzatura di prova per la trazione e particolare del dispositivo di serraggio*

- perno di collegamento con il manicotto d'acciaio della macchina di prova;
- cilindro cavo collegato inferiormente tramite una vite filettata con il perno (1) e superiormente tramite quattro viti filettate al piatto (3); il cilindro presenta un'apertura sul lato frontale per consentire la visibilità nella zona dove avviene la perforazione;
- piatti circolari con foratura centrale di  $\Phi = 100$  mm come da standard (3) e (4); nelle facce interne di entrambi i dischi, deputate al serraggio del campione di tessuto, intorno alla suddetta apertura, è stata praticata una corona circolare con profilo a dente di sega di altezza massima 1 mm necessaria per impedire lo sfilamento radiale del campione durante la prova; una volta inserito il campione da testare tra i due piatti essi si serrano uno contro l'altro grazie a quattro viti filettate.

### 1.3 *Attrezzatura per la prova di resistenza allo strappo*

È stata utilizzata la stessa macchina indicata nella prova di resistenza alla perforazione variando chiaramente i sistemi di bloccaggio del campione; stanti le dimensioni dei campioni (5 x 25 cm) previste dallo standard, è stato possibile adoperare i dispositivi già in dotazione al Dipartimento Tecnologie di Sicurezza. È stata utilizzata la stessa cella di carico della prova di perforazione e questo ha rappresentato l'unico limite della prova in quanto in due occasioni è stato raggiunto il fondo scala. Tale situazione però non ha di fatto compromesso l'analisi che si stava conducendo in quanto, in relazione ai valori che dovevano essere confrontati, l'indicazione fornita era più che esauriente. Il sistema di serraggio dei campioni – particolare in figura 5 – è costituito da pinze pneumatiche che, nel loro moto assiale, scorrendo su guide contrapposte e inclinate dello stesso angolo verso l'interno, avvicinano le facce parallele dei

due cunei di cui sono costituite fino a determinare il serraggio del campione tra di esse. Le due facce dei cunei hanno una superficie ruvida atta a impedire lo scivolamento del materiale da provare.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 *Prove di impatto*

L'attrezzatura di prova è stata tarata inizialmente per sparare il proiettile a una bassa velocità per verificare la resistenza del telo testato e successivamente si è incrementata la velocità cambiando di volta in volta anche la posizione del campione all'interno della camera per impedire che venisse colpito dal proiettile nello stesso punto. Raggiunta la velocità alla quale si è verificata la perforazione, si è provveduto a cambiare il campione e, su questo, a determinare altri due valori di velocità di perforazione. Dai tre valori ottenuti si è ricavato il valore medio che si è considerato caratteristico di quel telo.

### 2.2 *Prova di resistenza alla perforazione*

Dai teli a disposizione sono stati ritagliati tre campioni per ogni materiale, di dimensioni tali da essere fissabili nel dispositivo di prova; i valori calcolati dal software dell'attrezzatura di prova hanno consentito di determinare il valore medio della forza ( $F$ ) che ha determinato la perforazione nelle tre prove effettuate per il materiale analizzato e la relativa energia media ( $E$ ) di perforazione.

Le prove effettuate sono osservabili nelle schede allegate.

### 2.3 *Prova di resistenza allo strappo*

Così come previsto dalla EN 745, si è provveduto a ricavare cinque campioni di telo da ognuno di quelli disponibili, ritagliati per sottoporre a tensione sia la trama che l'ordito; sono stati quindi ottenuti dieci campioni, di dimensioni 50 mm x 250 mm, cinque tagliati nel verso dell'ordito e cinque nel verso della trama, e sottoposti alla prova di trazione.

Il software utilizzato ha permesso di calcolare i valori medi sia della forza che ha determinato la rottura e sia dell'energia che si è resa necessaria per giungere alla rottura stessa.

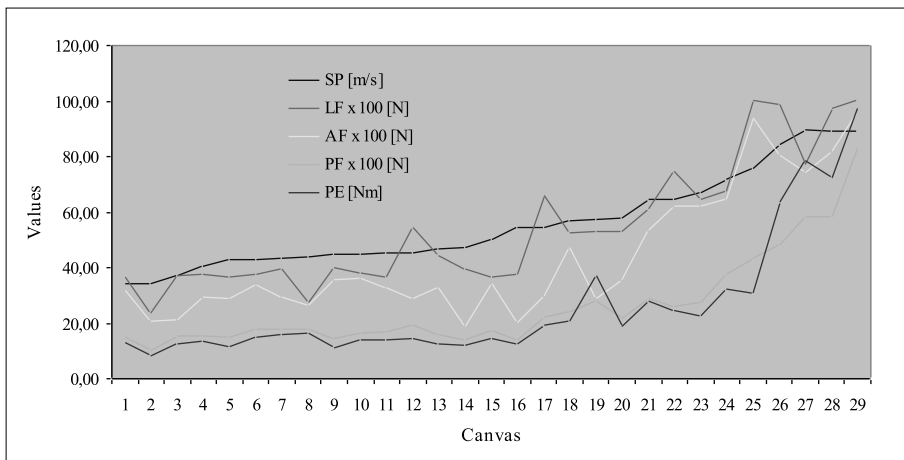


Fig. 6 Rappresentazione delle grandezze misurate nelle diverse prove effettuate

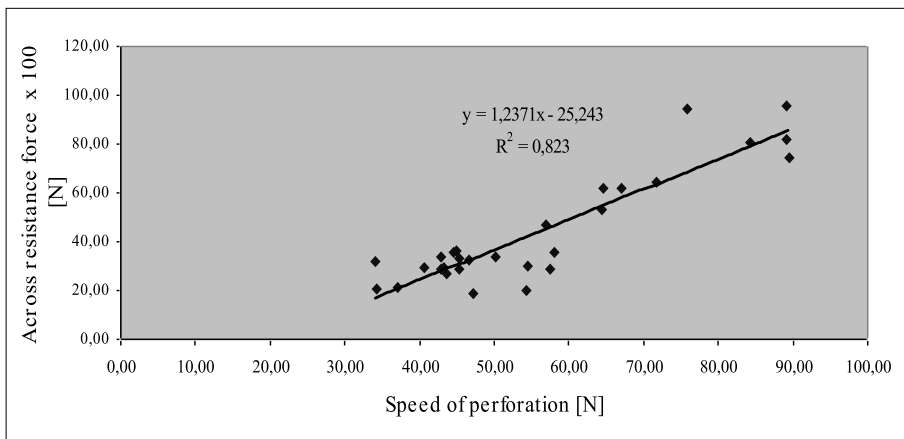


Fig 7 Correlazione tra la forza di trazione longitudinale e la velocità di impatto

Le prove effettuate con i relativi diagrammi di carico, sono osservabili nelle schede allegate.

### 3. RISULTATI

I risultati ottenuti nelle prove effettuate sono riportati nella tabella 1:

Riportando i valori di forza, di energia calcolati e quelli delle velocità di perforazione, emerge sostanzialmente che, all'incrementare dei valori della velocità di perforazione, si ha un incremento anche dei valori suddetti (fig. 6).

PROBE - NAME	PROBE N° - COLOUR	IMPACT TEST			TEARING RESISTANCE TEST			PERFORATION RESISTANCE TEST			
		Speed of perforation [m/s]	Longitudinal Min. value: ≥ 3000 N [N]	(1)	Across Min. value: ≥ 3000 N [N]	(1)	Perforation force Min. value: ≥ 1000 N [N]	(1)	Perforation energy Min. value: ≥ 8 Nm [Nm]	(1)	
1. ELHO 2. Galfre'  3. BRESCIANI GR. 900 4. JF-STOLL 5. TONUTTI	1. dark yellow	34,00	3681,58	1,23	3186,47	1,06	1486,15	1,49	12,80	1,60	
	2. (ISPESL 4) dark gray	34,20	2370,18	0,79	2067,88	0,69	1032,53	1,03	8,37	1,05	
	3. orange	37,00	3694,20	1,23	2121,43	0,71	1531,64	1,53	12,72	1,59	
	4. (ISPESL 1) green	40,60	3773,43	1,26	2960,25	0,99	1529,08	1,53	13,35	1,67	
	5. (ISPESL 8) dark gray	42,90	3681,41	1,23	2895,92	0,97	1511,18	1,51	11,62	1,45	
6. NH (87047285) 7. MEHLER 8. FRANDENT 9. CLAAS 10. BCS	6. black	42,90	3742,75	1,25	3367,787	1,12	1786,83	1,79	15,17	1,90	
	7. (DLG 9) yellow	43,30	3935,56	1,31	2954,05	0,98	1799,43	1,80	15,73	1,97	
	8. yellow	43,64	2745,96	0,92	2673,47	0,89	1800,47	1,80	16,42	2,05	
	9. grey	44,60	3982,72	1,33	3588,07	1,20	1457,30	1,46	11,26	1,41	
	10. (ISPESL 2 ) blue grey	45,00	3831,32	1,28	3617,17	1,21	1633,55	1,63	13,80	1,73	
11. IMA LA ROCCA 12. CNH (87611716) 13. LELY 14. NH (9845000) 15. CNH MOWER 16. CNH (SINGLE PLY) 17. NH (9845001) 18. BRESCIANI (GR. 2500)	11. dark yellow	45,31	3651,93	1,22	3281,60	1,09	1696,78	1,70	13,86	1,73	
	12. black	45,38	5459,88	1,82	2901,56	0,97	1919,55	1,92	14,61	1,83	
	13. light grey	46,69	4446,63	1,48	3263,96	1,09	1608,75	1,61	12,49	1,56	
	14. black rubber	47,20	3955,512	1,32	1868,41	0,62	1417,44	1,42	12,14	1,52	
	15. (ISPESL7)black	50,25	3676,86	1,23	3405,54	1,14	1754,76	1,75	14,67	1,83	
	16. black rubber	54,40	3753,15	1,25	2013,77	0,67	1380,67	1,38	12,72	1,59	
	17. black rubber	54,46	6589,73	2,20	3000,59	1,00	2227,25	2,23	19,04	2,38	
	18. green-grey	57,00	5276,62	1,76	4702,49	1,57	2391,20	2,39	20,52	2,57	
	19. black rubber	57,47	5316,01	1,77	2887,56	0,96	2778,13	2,78	37,09	4,64	
	20. black rubber	58,02	5292,04	1,76	3554,77	1,18	2173,95	2,17	18,66	2,33	

Tab. 1 (Segue)

PROBE - NAME	PROBE N° - COLOUR	IMPACT TEST			TEARING RESISTANCE TEST			PERFORATION RESISTANCE TEST		
		Speed of perforation [m/s]	Longitudinal Min. value: ≥ 3000 N [N]	(1)	Across Min. value: ≥ 3000 N [N]	(1)	Perforation force Min.value: ≥ 1000 N [N]	(1)	Perforation energy Min. value: ≥ 8 Nm [Nm]	(1)
21. KUHN	21. (ISPESL 3)light gray	64,46	6099,60	2,03	5336,38	1,78	2911,66	2,91	27,97	3,50
22. VEMEER (ALTERNATIVE)	22. light grey	64,60	7447,92	2,48	6211,54	2,07	2584,50	2,58	24,49	3,06
23. SATTIER	23. (DLG 10) grey	67,10	6449,82	2,15	6197,34	2,07	2733,65	2,73	22,64	2,83
24. CNH (87608803)	24. red	71,73	6750,52	2,25	6455,85	2,15	3756,04	3,76	32,07	4,01
25. VEMEER (KEVLAR)	25. black (Kevlar)	75,79	> 10.000	>3,33	9407,66	3,14	4319,60	4,32	30,99	3,87
26. PSCS-PVC	26. ISPESL5)/black	84,24	9864,92	3,29	8060,24	2,69	4835,09	4,84	63,75	7,97
27. SHELBOURNE REYNOLDS	27. black rubber	87,93	-----		-----		3431,51	3,43	35,50	4,44
28. PS-PS-PVC	28. (ISPESL6)black	89,49	7718,78	3,24	7445,11	2,74	5842,50	5,84	78,61	9,03
29. KTNS-PS-PVC	29. white/black	>89,20	9715,65	2,57	8216,76	2,48	5843,92	5,84	72,21	9,83
30. PS3-PVC	30. black	>89,20	>10.000	>3,33	9577,35	3,19	8332,65	8,3	97,83	12,22

(1) Fattore che indica la corrispondenza dei valori calcolati con gli attuali relativi criteri di accettazione della EN 745

Tab. 1

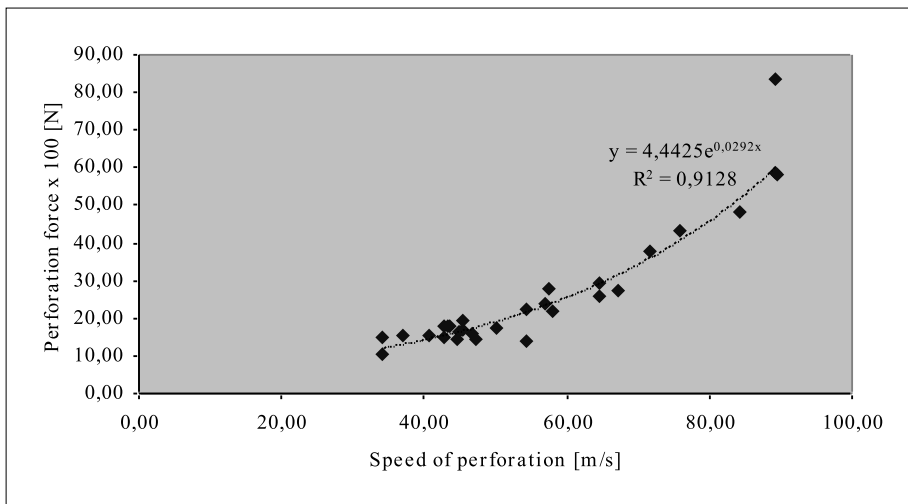


Fig. 8 *Correlazione tra la forza di trazione trasversale e la velocità di impatto*

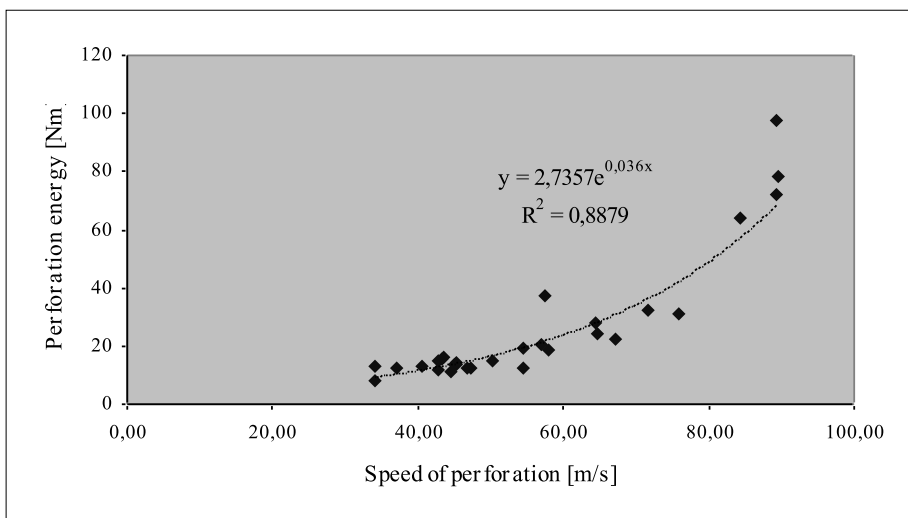


Fig. 9 *Correlazione tra la forza di perforazione e la velocità di impatto*

Si è provveduto dunque, a effettuare delle correlazioni tra le diverse funzioni rappresentative delle grandezze riportate nel diagramma e quello delle velocità.

I coefficienti di correlazione calcolati (figg. 7, 8, 19 e 10) hanno dimostrato anche analiticamente che esiste una correlazione positiva tra la resistenza all'impatto e le forze ed energie di rottura misurate nelle altre prove.

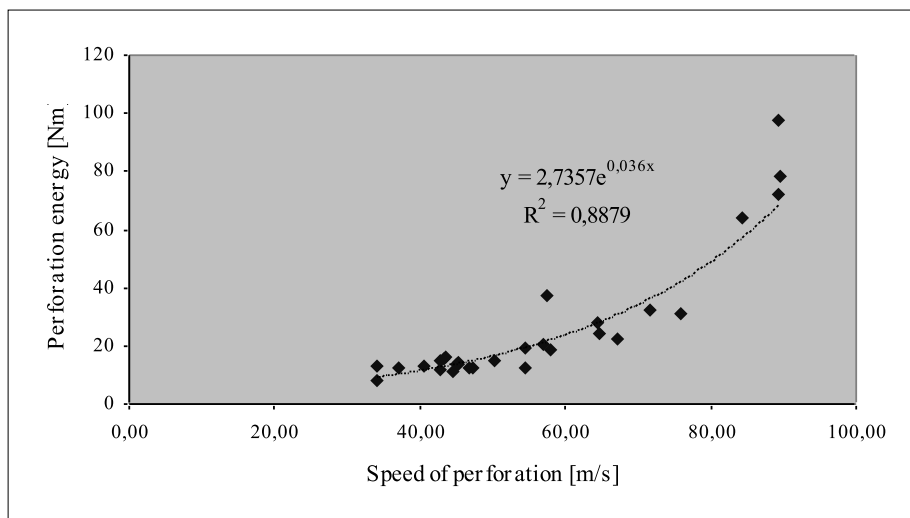


Fig. 10 *Correlazione tra la energia di perforazione e la velocità di impatto*

Esiste dunque una correlazione altamente positiva fra velocità di impatto e forza di perforazione; alcuni dubbi sui quali è necessario indagare ulteriormente emergono quando si analizzano i teli in gomma, rispettivamente campioni 14, 16, 19 e 20 responsabili dei minimi relativi del grafico di correlazione. Sulla base di quanto sopra si potrebbe ipotizzare che la metodologia di prova, di cui alla ISO 17103 risponda diversamente a seconda del tipo di materiale provato. In altre parole potrebbe essere che la prova, di cui alla ISO 17103, penalizzi i teli in gomma pur garantendo questi una resistenza alla perforazione alta come si evince dalle velocità di impatto registrate.

Dalle prove effettuate emerge inoltre che anche i teli che presentano bassa velocità di impatto, e pertanto bassa capacità di trattenere eventuali oggetti proiettati, manifestano forza media di perforazione e energia media di perforazione tale da soddisfare comunque i criteri di accettazione della ISO 17103, prova questa della non idoneità di detti criteri di accettazione a garantire la sicurezza di questi dispositivi di protezione.

#### 4. CONCLUSIONI

I risultati ottenuti permettono di affermare che, allo stato attuale, esistono sul mercato materiali che resistono a velocità di impatto superiori agli 80 m/s. Tali livelli di velocità sono molto vicini alle velocità periferiche delle lame del-

le falciatrici. Si ritiene pertanto che l'utilizzo di tali teli possa garantire livelli di sicurezza contro il lancio di parti di macchine o altro materiale sicuramente superiori ai teli attualmente utilizzati in questo tipo di macchine operatrici.

Pertanto, in relazione al rischio specifico di proiezione di oggetti, l'ISPESL ha richiesto una modifica dei criteri di accettazione delle prove di resistenza sui teli di protezione di cui alla EN 745/1999 e della norma internazionale ISO 17103 *Agricultural machinery – rotary and flail mowers - test methods and acceptance criteria for protective skirts*. Difatti, un incremento dei criteri di accettazione porterebbe ad un cambiamento sostanziale dei teli di protezione in termini di aumento di resistenza con il conseguente sensibile incremento del livello di sicurezza di tali macchine in relazione al rischio specifico.

A seguito dell'attività di ricerca svolta dall'ISPESL, il gruppo di lavoro in ambito ISO, il WG8 SC7, incaricato di valutare proprio questo aspetto della norma, in corso di revisione, ha deciso di accogliere le osservazioni dell'Italia ed ha incrementato i valori dei criteri di accettazione delle prove di perforazione e di trazione previste dalla ISO 17103 come segue:

Tearing resistance test:

Longitudinal e across force: da 3.000 N a 6.000 N (9000 N se  $v > 90$  m/s).

Perforation resistance test:

Perforation force: da 1.000 N a 2.500 N (4000 N se  $v > 90$  m/s);

perforation energy: da 8 Nm a 24 Nm (40 N se  $v > 90$  m/s).

Il confronto dei risultati ottenuti presso l'ISPESL e presso il DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft – Società Tedesca per l'Agricoltura –) con le stesse metodologie di prova, ha consentito anche di fornire utili accorgimenti per il miglioramento dei requisiti riportati nella norma come la definizione di alcune caratteristiche delle attrezzature di prova.