

Macchine agricole semoventi: statistiche incidentali e analisi del rischio d'impatto in funzione della massa e dello spazio di frenata

Leonardo Marrazzini
DICI - Unipi

INAIL

ISTITUTO NAZIONALE PER L'ASSICURAZIONE
CONTRO GLI INFORTUNI SUL LAVORO

Roma, 7 novembre 2025

Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale (DICI) - Università di Pisa



Marcello Braglia
Professore Ordinario



Roberto Gabrielli
Professore Ordinario



Marco Frosolini
Professore Associato



Leonardo Marrazzini
Ricercatore (RTDb)



Francesco Di Paco
Dottorando



Martina Olivieri
Assegnista di ricerca



Galileo Leoncini
Borsista di ricerca

Obiettivi specifici in carico al DICI

Start attività
04/04/2023

	Mese	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Obiettivo specifico 2	Attività 1: Realizzazione di un report tecnico inerente agli aspetti legislativi e normativi di riferimento con attenzione utilizzo tecnologie di identificazione operatori	█	█	█	█	█	█																		

	Mese	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Obiettivo specifico 7	Attività 1: Raccolta e classificazione degli infortuni di pertinenza della problematica in questione																		█	█	█	█			
	Attività 2: Analisi delle caratteristiche funzionali di macchine agricole semoventi più critiche per la gestione del processo di arresto automatico																					█			

Start attività
04/04/2023

	Mese	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Obiettivo specifico 2	Attività 1: Realizzazione di un report tecnico inerente agli aspetti legislativi e normativi di riferimento con attenzione all'utilizzo tecnologie di identificazione operatori																								

- ✓ Analisi degli **aspetti legislativi e normativi di riferimento** per lo scenario oggetto del progetto
- ✓ Analisi delle **soluzioni presenti in commercio** per la rilevazione e il tracciamento di ostacoli utilizzati in ambito agricolo

Realizzazione di un report che riporta gli attuali *aspetti legislativi e normativi di riferimento per lo scenario oggetto del progetto*.

- **ISO 5006:2017** — *Earth-moving machinery — Operator's field of view — Test method and performance criteria*
- **CEN/TC 144 – Part 1** — *Tractors and agricultural machines — Visibility of self-propelled machinery — General design requirements*
- **CEN/TC 144 – Part 2** — *Tractors and agricultural machines — Visibility of self-propelled machinery — Specific requirements and tests of self-propelled machinery*
- **ISO/FDIS 16001:2017** — *Earth-moving machinery — Object detection systems and visibility aids — Performance requirements and tests*
- **EN ISO 18497** — *Agricultural machinery and tractors — Safety of highly automated agricultural machines (HAAM) — Principles of design*
- **ISO/FDIS 21815 – Part 1** — *Earth-moving machinery — Collision warning and avoidance — General requirements*
- **ISO/FDIS 21815 – Part 3** — *Earth-moving machinery — Collision warning and avoidance — Risk area and risk level — Forward/reverse motion*
- **IEC 62998** — *Safety of machinery — Safety-related sensors used for the protection of persons*
- **IEC 61496 – Part 5** — *Electro-sensitive protective equipment*



ISO 5006:2017

- Metodo di prova stazionario per la determinazione e la valutazione della visibilità dell'operatore su un confine rettangolare attorno alla macchina e su una circonferenza di prova posta a 12 metri di distanza.
- Procedure per condurre prove che valutano il campo visivo dalla posizione dell'operatore utilizzando diversi metodi di prova.
- Criteri per valutare se il campo visivo soddisfa gli standard di sicurezza e di funzionamento richiesti.

Soluzioni presenti in commercio

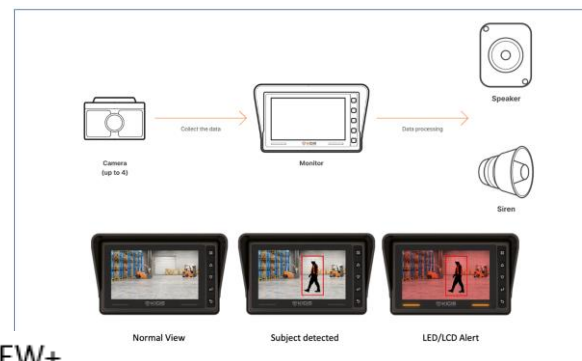
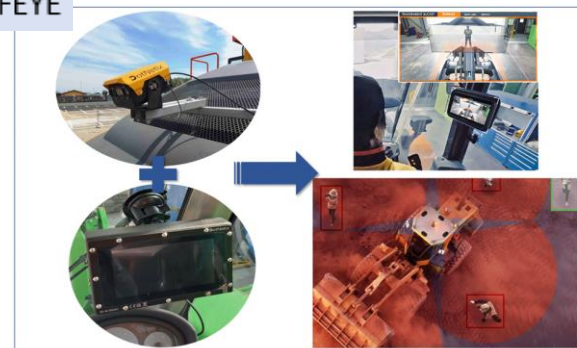
Realizzazione di un report inerente alle *soluzioni presenti in commercio per la rilevazione e il tracciamento di ostacoli utilizzati in ambito agricolo.*



SISTEMA	TECNOLOGIA	FUNZIONE	HARDWARE-SOFTWARE
SAFEYE	Sistema di visione basato su AI	Rilevamento ostacolo e distinzione tra veicolo e pedone. Precisione: pedone 25m - macchina 50m	Telecamera tridimensionale a lungo raggio; Sistema di AI; Dispositivo monitor; Dispositivo di allarme acustico e visivo
IVIEW+	Sistema di visione basato su AI	Rilevamento ostacoli in tempo reale e capacità di distinguere figura umana da oggetto. Precisione: pedone- macchina 10m	Telecamera a 4 aree di rilevamento; Sistema di AI; Dispositivo monitor; Dispositivo di allarme acustico e visivo

Tabella. Confronto tra sistemi di visione.

SAFEYE



- ✓ Analisi degli **incidenti verificatisi in ambito agricolo** con focus sulle macchine agricole semoventi con operatore a bordo
- ✓ Analisi delle caratteristiche funzionali di macchine agricole semoventi più critiche per la **gestione del processo di arresto automatico**

		Mese																								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Obiettivo specifico 7	Attività 1: Raccolta e classificazione degli incidenti di pertinenza della problematica in questione																									
	Attività 2: Analisi delle caratteristiche funzionali di macchine agricole semoventi più critiche per la gestione del processo di arresto automatico																									

Start attività
04/04/2023

Incidenti verificatisi in ambito agricolo

Realizzazione di un report che analizza gli *verificatisi in ambito agricolo con focus sulle macchine agricole semoventi con operatore a bordo*.



US Database USA

NIOSH – National Institute for Occupational Safety and Health.
Titolo completo della banca dati: *NIOSH Fatality Assessment and Control Evaluation (FACE) Program Database.*

Descrizione: raccoglie e analizza i casi di infortuni mortali negli Stati Uniti, inclusi gli incidenti agricoli con macchine semoventi con operatore a bordo.

Periodo analizzato: 1992–2023.

Riferimento bibliografico:

NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health). *Fatality Assessment and Control Evaluation (FACE) Program Database*. U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention. Available at: <https://www.cdc.gov/niosh/face/>



IT Database Italia

INAIL – Portale IN.FORMO (Informazione e Formazione per il Monitoraggio degli Infortuni).

Titolo completo della banca dati: *Sistema di sorveglianza degli infortuni mortali e gravi sul lavoro – IN.FORMO.*

Descrizione: banca dati nazionale che raccoglie e classifica gli infortuni mortali e gravi sul lavoro in Italia, con particolare attenzione ai settori ad alto rischio come l'agricoltura.

Periodo analizzato: 2015–2021.

Riferimento bibliografico:

INAIL. *Sistema di sorveglianza degli infortuni mortali e gravi – Portale IN.FORMO*. Istituto Nazionale Assicurazione Infortuni sul Lavoro. Available at: <https://www.inail.it/informo>



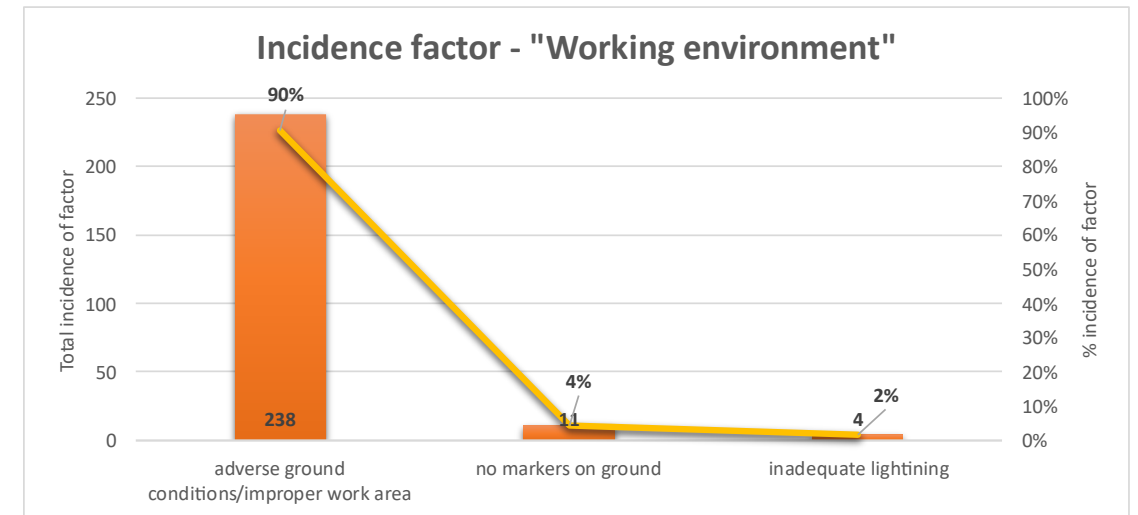
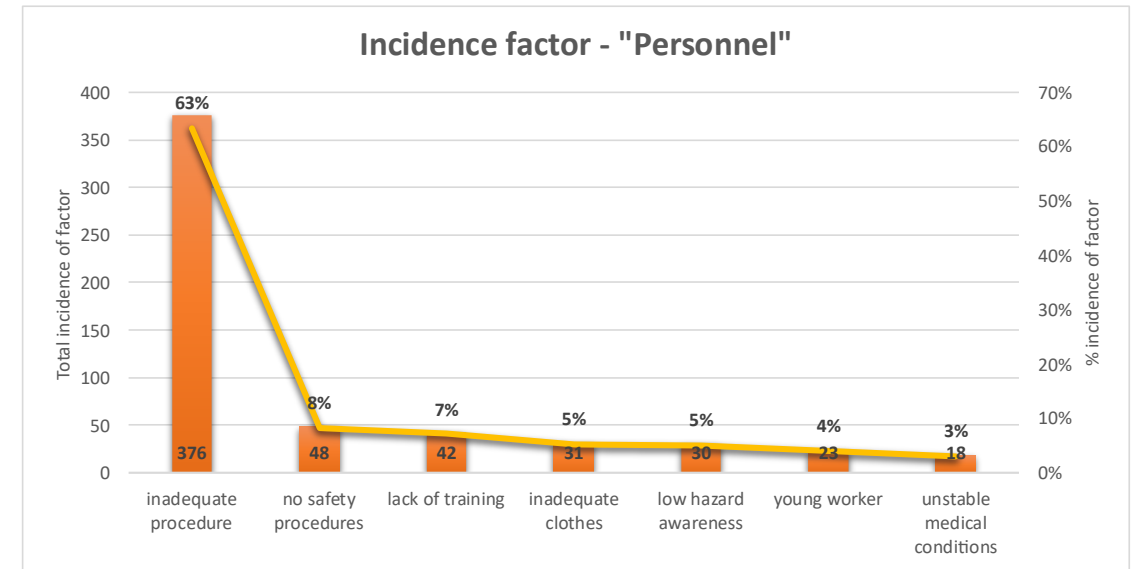
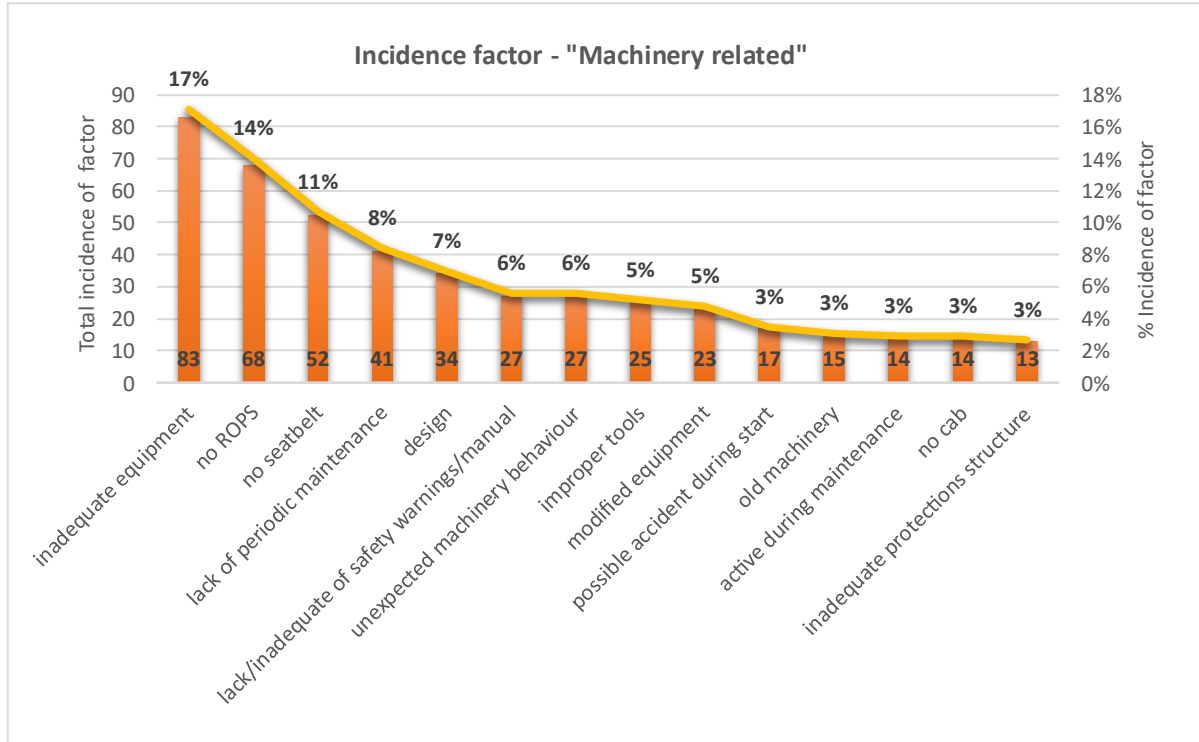
Incidenti verificatisi in ambito agricolo - Stati Uniti

Involved persons	Average Age	Day	Month	Season	Year	Type of contract	Performed Activity	Type of machinery/model
1	56	28/06/2023	june	summer	2020	-	operating a tractor	tractor-1971 harvester 1066 open cab row crop
1	21	19/08/2023	august	summer	2021	-	work as a "sorter"	harvester
1	11	04/08/2023	august	summer	2020	-	cleaning corn off a silo floor	auger
1	22	06/02/2023	february	winter	2021	full time	cleaning and debirs removal	shredder
1	45	-	-	summer	2017	full time	bring the harvesting equipment on the orchard	deutz 3006 farm tractor

Tabella. Estratto dei fattori generali.

Trigger/blame	Latent factor			Contingent factor	
	Machinery related	Personnel	Working environment	Socio-technical	Environmental
embankment	no ROPS, no seatbelts, lack of periodic maintenance, old equipment	lack of training	no markers on ground, road condition	night shift, lone worker, heavy load	-
inadequate lighting	FoV, inadequate equipment	inadequate clothes, communication issues	-	night shift	obstacle

Tabella. Estratto della tassonomia dei fattori.



id infortunio	descrizione incidente	cause incidente	causa 1	anno	genere	nazionalità	nazionalità 1	tipologia rapporto di lavoro	tipo incidente	agente materiale incidente	problema di sicurezza
17843	L'infortunato, al fine di poter raggiungere la quota utile per svolgere le attività di manutenzione a livello della copertura della serra, opera sulla scala portatile e scivola sul gradino inumidito della stessa.	Attività dell'infortunato	Attività dell'infortunato	2021	M	ITALIA	ITALIA	Dipendente a tempo determinato	caduta di persona dall'alto	attrezzature per il lavoro in quota	uso errato di attrezzatura
17835	Azione estemporanea del lavoratore infortunato, il quale non ha valutato correttamente la possibilità del "rimbalzo" della branca tagliata. Un pilastro (presente all'interno della serra) improvvisamente si staccava dal punto in cui era fissato all'arco della serra e cadeva addosso all'infortunato	Attività dell'infortunato	Attività dell'infortunato	2021	M	ITALIA	ITALIA	Dipendente a tempo determinato	Movimento incoordinato dell'infortunato (che provoca urto contro...)	altri utensili	uso errato di attrezzatura
17202	Un pilastro (presente all'interno della serra) improvvisamente si staccava dal punto in cui era fissato all'arco della serra e cadeva addosso all'infortunato	Ambiente	Ambiente	2021	M	ITALIA	ITALIA	Dipendente a tempo determinato	Caduta dall'alto di gravi	Altre parti di edifici/ambienti di lavoro	Cedimenti/Smottamenti/ Caduta di gravi
17099	al collega mentre si trovava sul muletto fermo, gli scivolava il piede destro dall'acceleratore facendolo ripartire di scatto.	Attività di terzi	Attività di terzi	2020	M	ITALIA	ITALIA	Dipendente a tempo determinato	Awiamiento intempestivo veicolo, macchina, attrezzatura, etc	Macchine di sollevamento, trasporto	Uso errato di attrezzatura

Tabella. Estratto dei fattori generali.

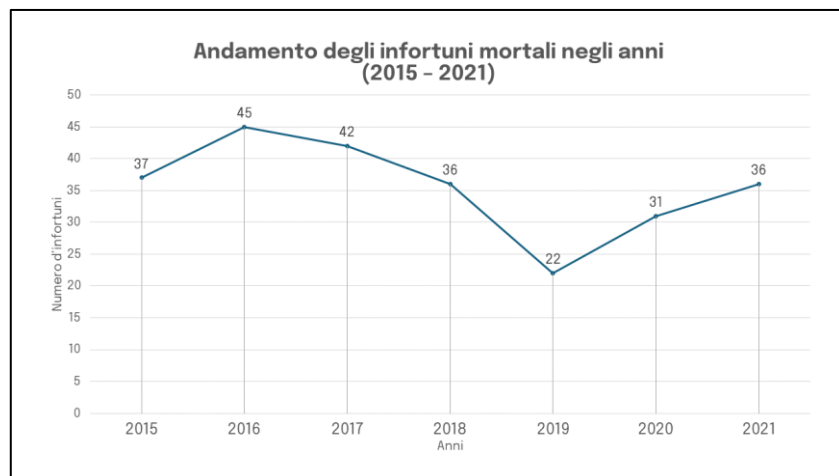


Figura. Andamento annuale degli incidenti.

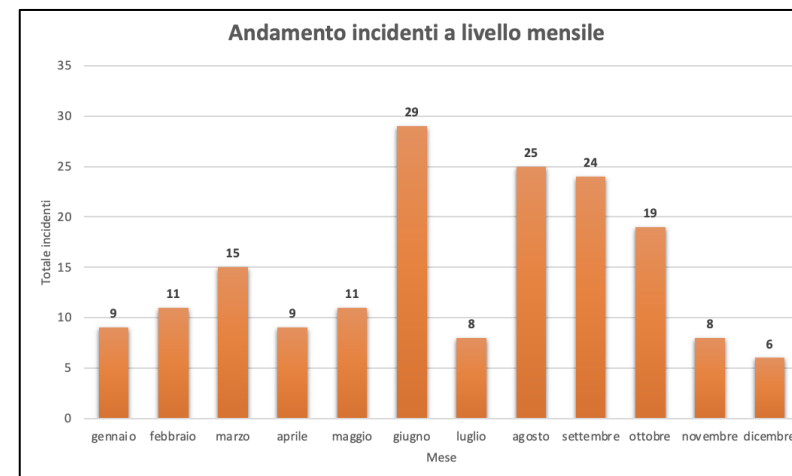


Figura. Andamento incidenti a livello mensile.

Incidenti verificatisi in ambito agricolo – Paesi a confronto

	USA – NIOSH FACE Database	Italia – INAIL IN.FORMO Database
Fonte ufficiale	NIOSH – <i>Fatality Assessment and Control Evaluation (FACE) Program, CDC</i>	INAIL – <i>Sistema di sorveglianza degli infortuni mortali e gravi – Portale IN.FORMO</i>
Periodo analizzato	1992 – 2023	2015 – 2021
Numero casi analizzati	211 incidenti mortali	249 infortuni mortali
Ambito	Incidenti con macchine agricole semoventi con operatore a bordo	Infortuni agricoli con focus su macchinari semoventi
Fattori principali	Mancanza di ROPS e cinture di sicurezza - Scarsa manutenzione - Procedure inadeguate - Terreno/area di lavoro impropria	Errori dell'infortunato (56%) - Macchine non sicure (25%) - Ambiente sfavorevole (8%)
Categorie più colpite	Operatori agricoli maschi	97% uomini, soprattutto autonomi e pensionati
Stagionalità	Estate e autunno (74% degli incidenti)	Picchi nei mesi di raccolta (giugno–settembre)
Evoluzione temporale	Picco nel 1995, stabilizzazione dal 2005	Flessione dopo il 2019, calo nel 2020–2021
«Improvements»	Miglioramento grazie a ROPS e standard di sicurezza NIOSH	D.Lgs. 81/2008, UNI EN ISO 25119-4:2019
Riferimento completo	https://www.cdc.gov/niosh/face/	https://www.inail.it/informo

Gestione del processo di arresto automatico

Realizzazione di un report che analizza le caratteristiche funzionali di *macchine agricole semoventi più critiche per la gestione del processo di arresto automatico*.

Regolamenti europei

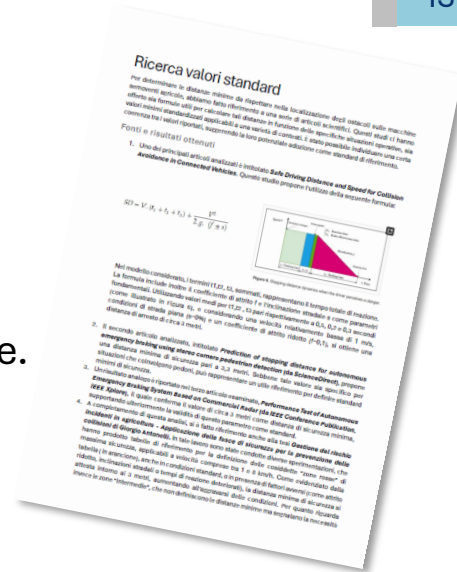
- **Reg. (UE) 167/2013** – Omologazione e sicurezza funzionale di trattori, rimorchi e attrezzature trainate.
- **Reg. delegato (UE) 2015/68** – Requisiti di prestazione e formule per la frenata dei veicoli agricoli e forestali.

Norme ISO e EN

- **ISO 18497:2024** – Sicurezza dei sistemi automatizzati nelle macchine agricole (rilevamento ostacoli, zone di rischio, indicatori visivi/acustici).
- **EN ISO 5721-1/-2:2013–2014** – Campo visivo anteriore e retro-laterale dei trattori agricoli.
- **ISO 5006:2017** – Campo visivo per macchine movimento terra e verifiche di mascheramento.

Fonti tecniche e scientifiche

- *Safe Driving Distance and Speed for Collision Avoidance in Connected Vehicles* (MDPI, 2020)
- *Prediction of Stopping Distance for Autonomous Emergency Braking Using Stereo Camera Pedestrian Detection* (ScienceDirect, 2018)
- *Performance Test of Autonomous Emergency Braking System Based on Commercial Radar* (IEEE, 2016)
- *Gestione del rischio incidenti in agricoltura* (G. Antonelli, Tesi, 2021)



Velocità (km/h)	Formula Reg. 2015/68	Spazio d'arresto (m)	Fascia proposta (ISO 18497)	Coeff. aderenza (f)	Note
1-5	$s = 0,15v + (v^2/92)$	0,3 - 1,9	Zona rossa (2,5-3 m)	0,1-0,3	Condizioni normali o attrito ridotto
6-10	$s = 0,15v + (v^2/92)$	2,4 - 4,8	Zona rossa (3 m)	0,1-0,3	Reg. 167/2013: \approx 2,5 m a 10 km/h
11-20	$s = 0,15v + (v^2/92)$	5,5 - 13,5	Zona arancione (12-15 m)	0,2-0,4	Fascia d'avviso (arresto condizionale)
21-30	$s = 0,15v + (v^2/130)$	14 - 26	Zona arancione (12-15 m)	0,3-0,5	Condizioni operative o terreno variabile
>30	$s = 0,15v + (v^2/130)$	>26	Oltre ambito ISO 18497	0,4-0,6	Richiede omologazione stradale specifica

Legenda:

- *Zona rossa*: distanza minima di sicurezza (arresto completo) - **2.5-3 m**
- *Zona arancione*: distanza di preavviso o avviso di rischio - **12-15 m**

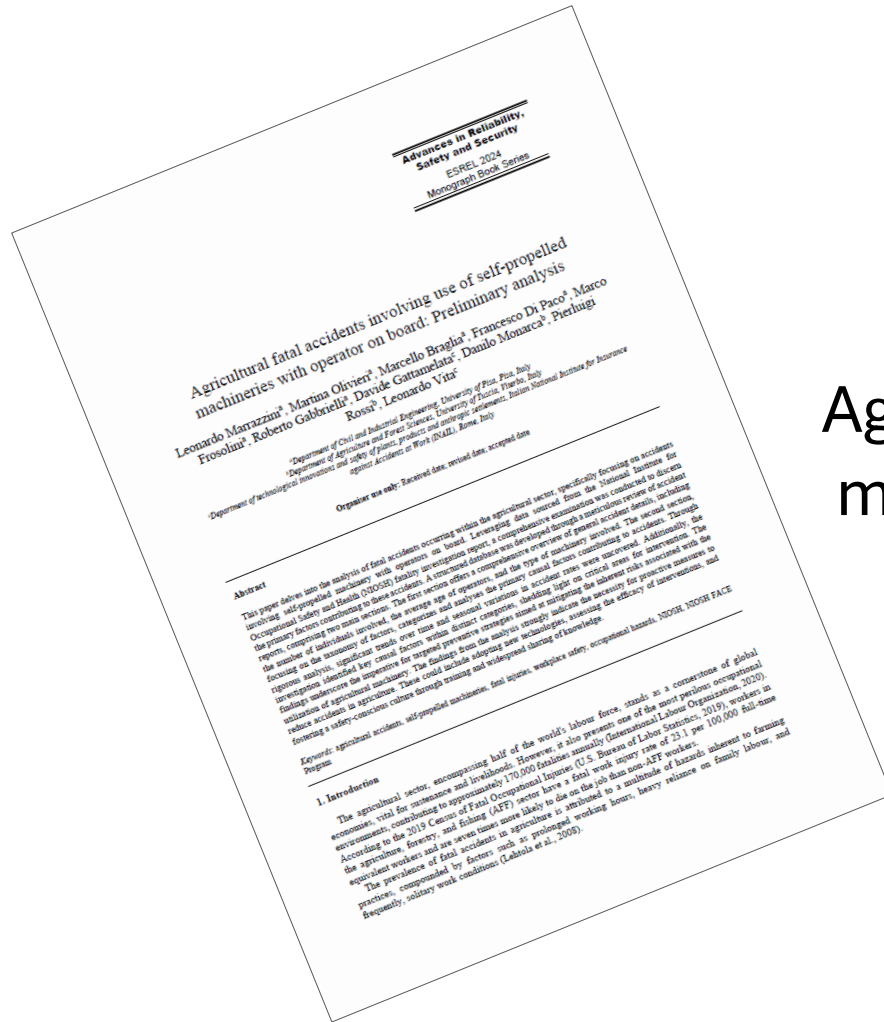
34-th European Safety and Reliability Conference

23-27 June 2024, Cracow, Poland

Agricultural fatal accidents involving use of self-propelled machineries with operator on board: Preliminary analysis

Presenter - Leonardo Marrazzini

Department of Civil and Industrial Engineering University of Pisa, Italy





UNIVERSITÀ DI PISA



Grazie a tutti per l'attenzione

Leonardo Marrazzini
DICI - Unipi

INAIL

ISTITUTO NAZIONALE PER L'ASSICURAZIONE
CONTRO GLI INFORTUNI SUL LAVORO

Roma, 7 novembre 2025