

On-board sensors for work-site vehicles. SAcS anti-rollover alarm system for earthmoving equipment

Alessandra Cucurnia*,
Antonio Mario Mastrangelo**

Key words: Smart Yard, Safety,
Sensors, System for Warning, Vehicle Rollover

Abstract

The paper describes the development of the prototype of an electronic instrument¹ to be used on board work-site vehicles that operate on rough and uneven land with potholes and dips, with the aim of conducting a dynamic check of the rollover risk determined by exceeding the threshold limit of the amplitude of the angle formed by the gravitational vector with the

instantaneous normal angle defined by the points where the vehicle wheels make contact with the ground. The product is one of the results of the Smart Yard research: Industry 4.0 Production Process² and is a pilot example of the testing of sensors aimed at increasing safety in the use of the equipment.

1. INTRODUCTION

An observation made by INAIL³ on the dynamics of workplace accidents caused by vehicle rollover highlighted that earthmoving equipment was responsible for 14.7% of accidents.

Rollover occurs when the lateral tilt is such that the weight of the vehicle is thrown off its transverse axis of rotation.

This mostly occurs in the case of heavy duty activities, work contexts marked by stress, specific ground conditions and the use of worn out equipment.

The risk could be mitigated by equipping vehicles with an instrument capable of measuring the tilt and warning of the threat. As regards the on-board intelligence of work-site vehicles, there are solutions that control their horizontal stability by displaying slope values on analogue or digital devices, however they require the attention of workers who are at the same time already engaged in rather complex and risky activities.

¹ The device was developed by Vincenzo Legnante and Pablo Feijoo Reis from the UNIFI operating unit.

² Financed with European funds within the scope of the Regional Operational Programme FESR 2014-2020. Tender no. I: strategic research and development projects (Regione Toscana). Scientific Managers: A. Cucurnia, V.A. Legnante.

³ Surveillance system for fatal accidents in the workplace ("Itfor.mo"), 2017.

[

By providing advance warning of potentially critical conditions, the hypothesized electronic device is able to measure the rollover risk of earthmoving equipment along its travel path and emit sound and light to signal its gradual tilt in order to induce the operator to activate the appropriate self-protection measures and alter the path or, if necessary, stop the vehicle.

2. THE ANTI-ROLLOVER ALARM SYSTEM

The SACS inclinometer⁴, designed to prevent the lateral rollover of work vehicles operating on land with slopes that are predominantly transverse to the direction of travel, consists of an integrated system of safety components. It has threefold functionality: it uses a binary detection system to record the slope determined by the tilt of the axle with respect to the horizontal plane; it emits light and sound alarm signals when specific threshold values are reached, attracting the operator's attention; it prompts the activation of further safety mechanisms such as active and passive protection devices, the interruption of electrical contacts, circuit shutdown, and the release of mechanical supports, etc.. The device is operated by a tri-axial capacitive accelerometer based on MEMS⁵ technology. This is a very small and inexpensive inertial microelectromechanical sensor that can be installed directly on a PCB⁶, which studies the dynamic principles of bodies in order to discover their causes and is capable of measuring the linear and angular acceleration of their displacement in space.

Accelerometers are used both to detect static gravitational acceleration, as tilt sensors to determine the angle of deviation from the vertical plane of the units that accommodate them, and to detect dynamic acceleration, as inertial measurement indicators of their speed and detectors of vibration, impact or shock.

In this case, it is used to estimate the change in electrical capacity according to the change in movement within a circuit formed of an electrical resistor and a capacitor connected by a voltage generator⁷, exploiting the positioning of a weight installed on springs attached at one end to the weight itself and at the other to the armatures of the device⁸. The system is fitted with a switch which, by regulating the charging and discharging processes, is able to control the intensity of the electricity on the armatures and the current within the circuit.

⁴Slope Active Safety.

⁵Micro Electro-Mechanical Systems.

⁶PCB (Printed Circuit Board) which uses copper conductors to create electrical connections between components.

⁷RC circuit, <https://www.youmath.it>.

⁸<https://www.tme.eu/it>.

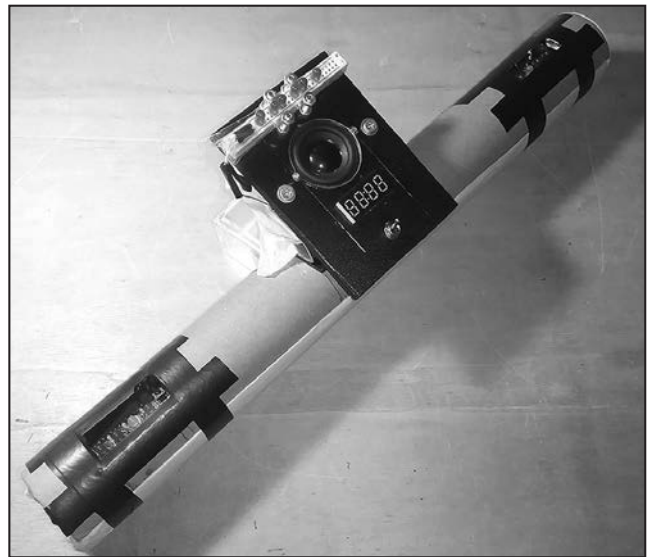


Figure 1 - Initial Prototype.

The sensor has a micro mechanical device encapsulated in a small electronic device within which orthogonal displacements of small suspended masses are produced by means of elastic micro-beams.

The electronic control systems, through the accelerometer, record changes in the vehicle's tilt with respect to the horizontal plane, and when the risk limit values are reached a series of optical and acoustic alarm signals are activated.

A detailed design of the instrument was drawn up on the basis of which an initial prototype (Fig. 1) was created which, despite functioning correctly, had some critical issues.

The power level of the acoustic signals was not effectively calibrated for the noise level of the operating contexts; the materials used meant it was not sufficiently robust during operation; the fact that the operator could deactivate it during operation did not protect their safety and security, and the display of the warning values was not immediate.

It was therefore necessary to: strengthen the acoustic emissions of the signals with the opportunity to provide differentiated intensities according to the severity of the danger and in highly critical situations activate the blue colour in all LEDs; place the components inside to minimise material discontinuity; restrict the adjustability of the display in favour of a fixed reading angle by reducing the mobile components and simplifying the implementation; divide the instrument into two distinct parts, one that could be managed by the operator and one that was inaccessible; correct software malfunctions in the microcontroller device by amending the source code to avoid slowing down the display and simplify the language.

The revision process led to updates at structural,

operational and software level. As the sensor is inertial, the functional scope was also extended which, together with its use in rollover dynamics, included additional performance features such as determination of the position, time-of-use estimation, etc.

3. DEVICE COMPONENTS AND OPERATING PRINCIPLE

The final version of the system has two separate, networked elements consisting of a terminal that the operator can switch on and off and a non-maneuvrable control unit with access to a power line that is activated when the vehicle starts up and can block it if activation of the terminal is not detected when it is used (Fig. 2). The control unit was later replaced with an application that manages communication with the terminal via wireless Bluetooth.

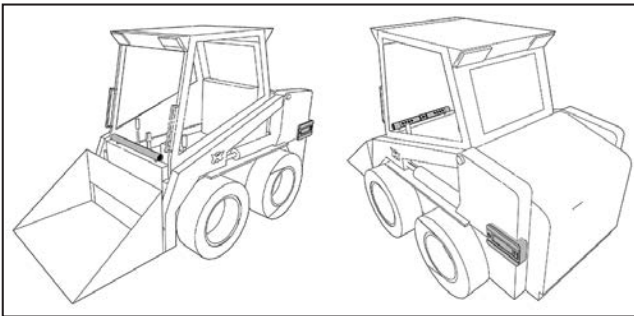


Figure 2 - Terminal and Control Unit on board the vehicle.

The terminal consists of a metal tube ($\varnothing$ 50 mm x 500) that houses within it, arranged on a frame and protected from external agents, the electronic and micro-control components and the low-power, high-resolution triaxial accelerometer used to accurately read the angular tilt of the gravity vector with respect to the horizontal plane (Fig. 3).

The element has a 7-segment central display⁹ at the

⁹ The display is inserted into the metal tube at a tilt angle of 30° to the vertical to give the operator an optimum view

front and side light units. By means of the impulse received from the microcontroller that acquires the value of the angular variation from the accelerometer, the display uses an alphanumeric code to reveal in real time the vehicle's tilt value and, by means of a calibration log, activates the light indicators with differentiated lights in sequence, coordinated with the acoustic signalling system equipped with an audio amplifier, generating progressive emissions that interpret the significance of the danger.

The sensor translates the energy into electrical signals proportional to the instantaneous acceleration of the body, reproducing the coded and shared colours that classify the probability of the risk occurring. Green indicates that there are no major phenomena, yellow advises caution and red indicates the severity of the criticality. The upper part of the display also houses an additional flashing blue indicator light, which is activated at the same time as the red one and when a more acute two-tone sound is emitted, indicating that maximum concentration is required on the vehicle (Fig. 4).

The different colours, which convey the magnitude of the impact, clearly communicate the warning and suggest the self-protection behavioural patterns to be assumed in order to ensure maximum safety.

The magnitude of the danger that prompts activation of the various acoustic and visual indicators can be altered through programming, which involves an encrypted operating sequence performed by using a button located on the rear of the display. The selector button sends the input (pull-up) to the microcontroller which assigns different degrees of intensity to the maximum tilt values, depending on the use parameters, the gauge, the specificity and state of efficiency of the vehicle, the consistency of the ground and the condition of the soil where the wheels are moving (Fig. 5).

At the top of the terminal, on either side of the display compartment, there are cooling grids and speakers; the on/off switch and the USB port for connecting it to the charging station are found at the back.

The tube, fitted with two magnetic neodymium mounts



Figure 3 - Final Prototype.

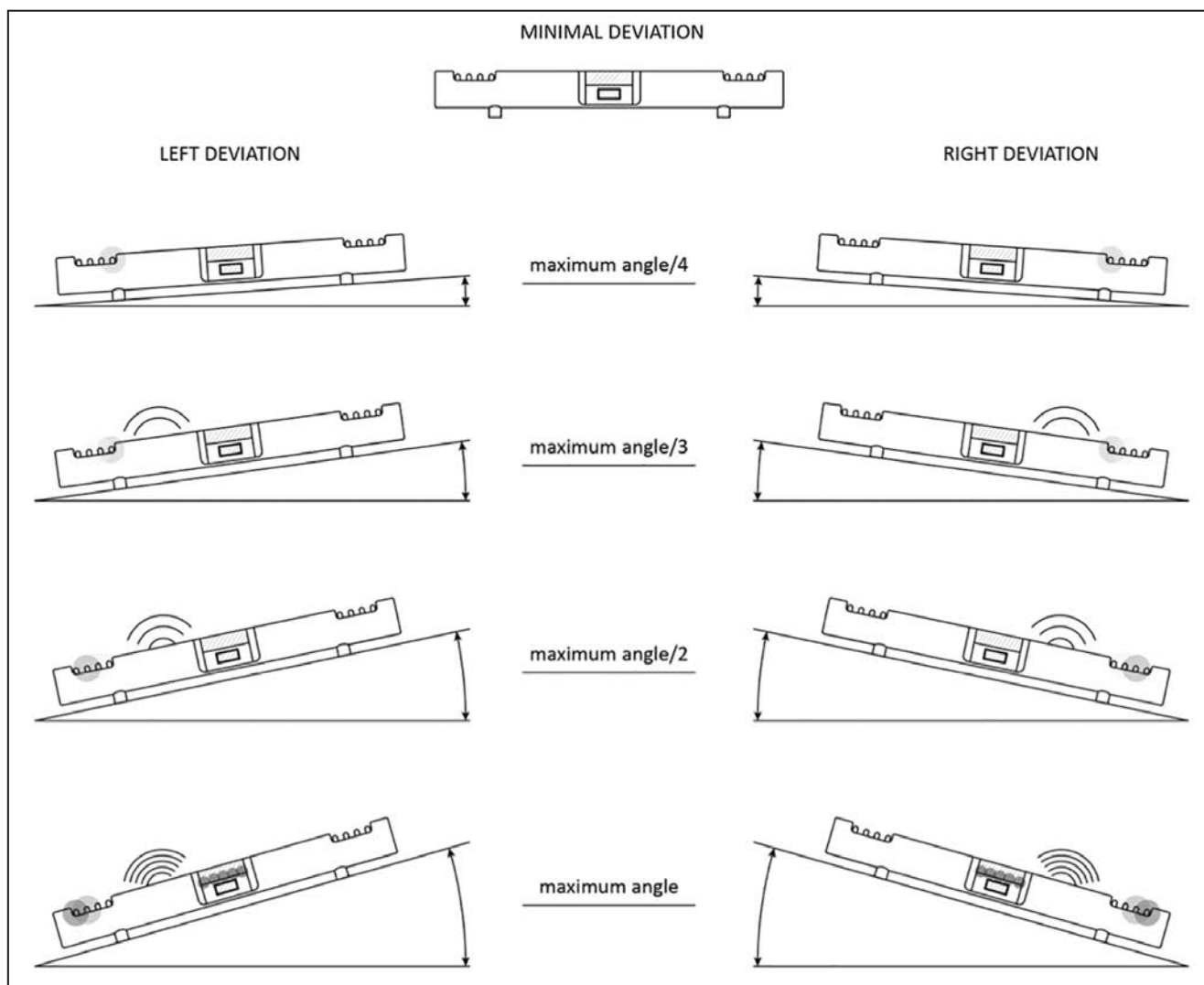


Figure 4 - Operation of the Terminal.

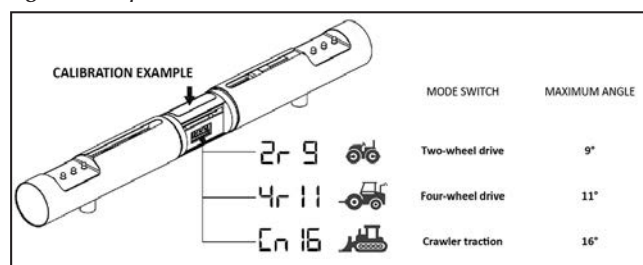


Figure 5 - Examples of Terminal calibration.

at the bottom, is removable and can be applied to any metal surface. It is fixed on the dashboard in line with the transverse axis of the vehicle, at the most appropriate height so that the operator can obtain information immediately without distracting visual attention from the trajectory. In the case of non-metallic surfaces, stabilisation is achieved by mechanically anchored brackets.

The system, powered by rechargeable batteries also positioned internally where the electronic components and the alarm sound amplifier are located, is activated automatically at the same time as the machine is operated and shows the value of the transverse angle in sexagesimal degrees on the display (Fig. 6). When not in use, or when the vehicle is perfectly horizontal ($\pm 2^\circ$), the terminal automatically goes into stand-by and does not consume any power.

The control unit, made up of a casing with a sealed top cover, acts as a bridge between the terminal and the active drive system and is electrically powered.

At the front, coinciding with the cover, there is a large backlit LCD display while the software processor, relay, wireless transmitter and calibration button are housed inside (Fig. 7).

The casing receives data on the level of tilt from the terminal, remotely records the position and speed of the

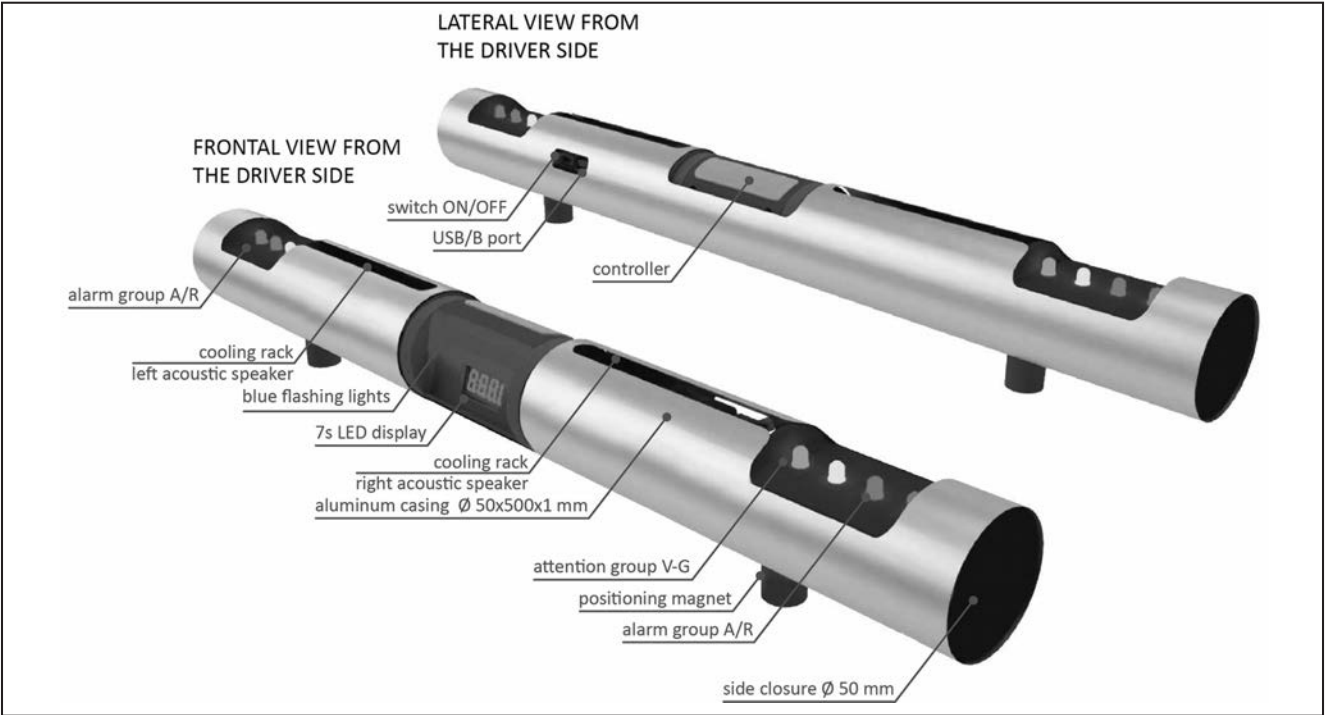


Figure 6 - Constituent components of the Terminal.

machine and, in hazardous situations, produces impulses that recommend activation of the appropriate safety measures while at the same time alerting the personnel responsible for protecting the health and safety of workers. The instrument is also capable of preventing the machine's ignition if the terminal is switched off or incorrectly positioned.

The on-board installation using safety screws and the configuration, which involves opening the device by removing the cover, can only be carried out by qualified personnel and involves an initial action connected with starting up the vehicle and switching on the terminal and a subsequent check of the communication process between the terminal and the control unit. If communication is standard, the technician proceeds with the calibration by setting the attention parameters

according to the type of vehicle and the specific context and then carefully closes the casing. (Fig.8) The programmed values remain in the memory until the next calibration procedure.

4. TESTING OF AN APPLICATION

In order to make wider use of the information transmitted by the terminal and allow the Safety Coordinator to have control, even remotely, over the actions of the vehicle operator during the Execution phase, the possibility of using the Bluetooth wireless communication system was assessed. To this end, an application capable of dialoguing with the terminal via Bluetooth protocol was developed, for use in the Android environment, in full screen mode. In the new

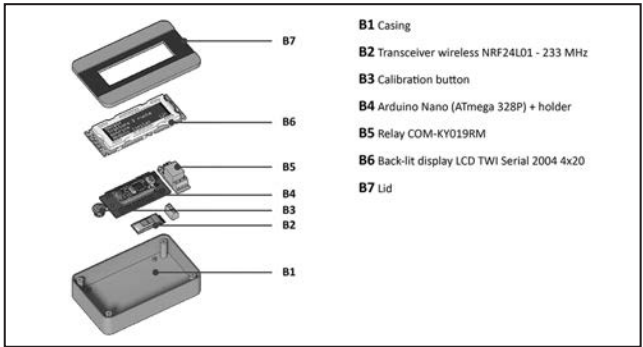


Figure 7 - Constituent components of the Control Unit.

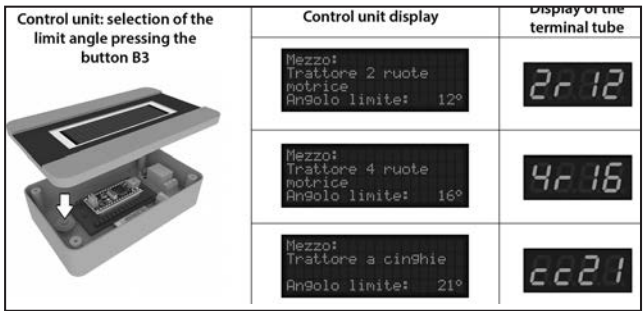


Figure 8 - Control Unit.

scenario, the control unit can therefore be replaced by a smartphone or tablet. The communication established between the two components once the terminal is connected and the APP launched allows the device that supports it to display both the measured values and the light signals, as well as to reproduce the acoustic emissions proportional to the magnitude of the tilt angle and, if the operator does not activate the appropriate safety measures, to intensify the sound signal (Fig. 9)

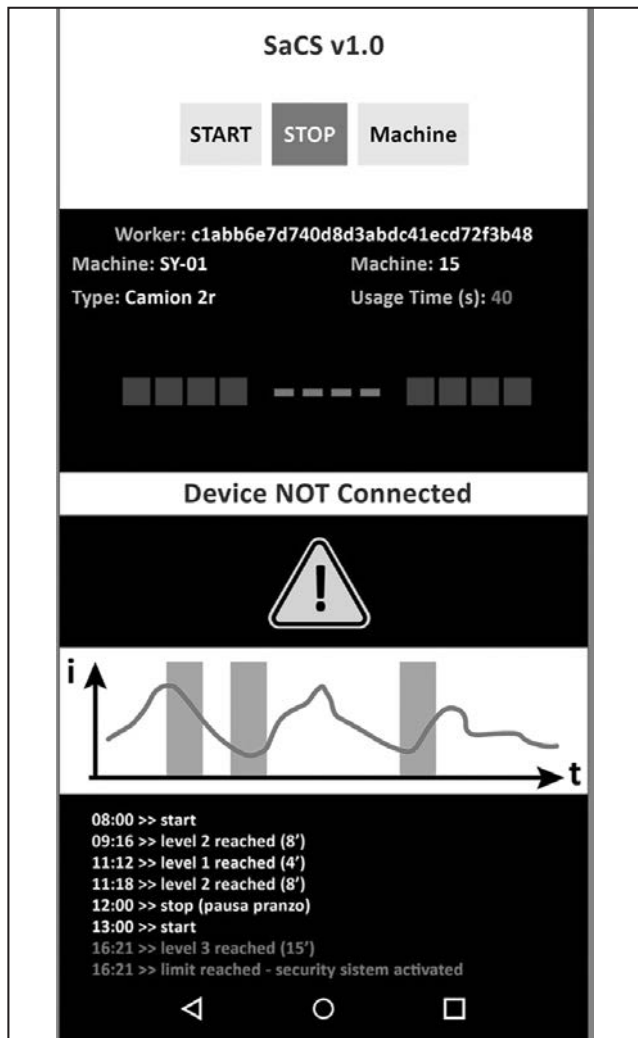


Figure 9 - Application interface.

Smartphones and tablets, by taking advantage of inertial sensors (accelerometer, gyroscope and position), can also replace the terminal, leading to benefits in terms of cost which would only refer to purchasing the support for them to be fixed on board. They can be very useful in vehicles where the dimensions of the metal tube are excessive and installation difficult (Fig.10).



Figure 10 - On-board placement of smartphone.

In these circumstances, by downloading the application that updates the values as the transverse tilt of the machine changes, the operator can use a mobile phone which, with respect to the terminal, provides effects such as vibrations, pulses, colours and customisable sounds and determines the position, temperature and speed components and, with appropriate algorithms in place, it can examine further variables that help to provide greater reliability in estimating the risk.

The screen «landscape» format also displays the information more clearly (Fig. 11).

5. THE PROTOTYPE

In order to check the technical and economic feasibility, on the basis of the project developed and using a suitable market survey, a estimate was made to establish the presumed economic value of the device with a view to determining the price to be set as a basis for the tender in order to identify the entity to be entrusted with manufacturing the prototypes.

Bidders were asked to produce two prototypes, one in steel ($\varnothing$ 50 mm, $\pm$ 15/10 mm, length 590 mm) and one in aluminium ($\varnothing$ 60 mm, $\pm$ 2 mm, length 600 mm), cut and machined with the appropriate openings on the casing surface for the display of the light signalling elements (green, yellow, orange, red, as well as a central flashing blue indicator light), complete with electronic components – microprocessor to read the angular values, sensors, LED signallers, loudspeakers, activation of signals and sensors input, USB port, Bluetooth connection to the relay box and calibration with adjustable intervals – and equipped with anchoring systems bound to the casing made with neodymium

On-board sensors for work-site vehicles. SAcS anti-rollover alarm system for earthmoving equipment ...

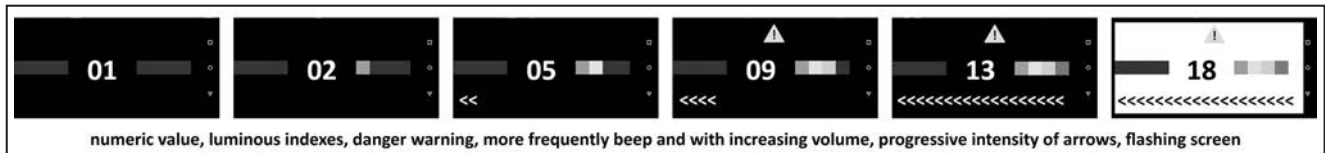


Figure 11 - Android device as the Terminal: application interface.

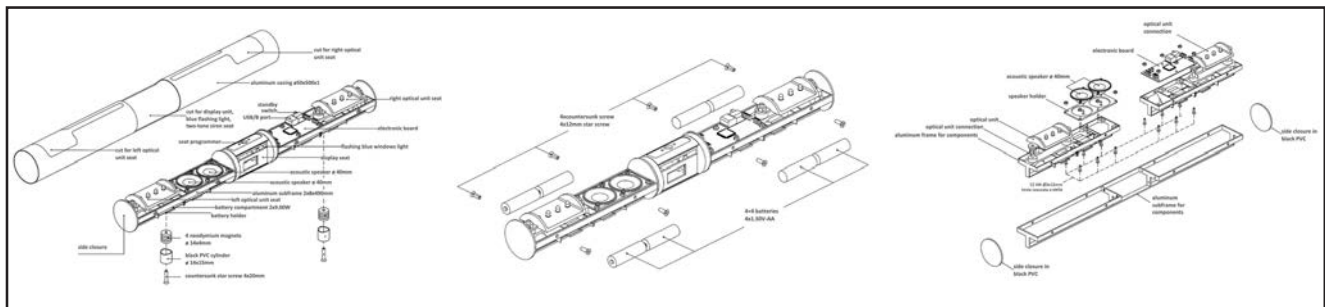


Figure 12 - Design documentation as a basis for the tender .

magnets suitable for attachment to any metal surface subjected to frequent mechanical stress (Fig. 12).

By calculating the constituent *components* indicated in the design documentation of the device the total value of the two models was quantified as €5,800.00 (Fig. 13). Being experimental samples, any further work not contemplated but that might be needed for them to work could be accounted for on the basis of an hourly cost of €55.00.

In compliance with the principle of rotation, economic operators based not too far away, with appropriate skills and operational abilities, with previous experience in

the sector and suitable equipment were invited to participate in the tender.

The contractor selected from the bids received was the one that gave the largest discount on the tender amount, which proposed a discount of 5% for a total amount of €5,510.00.

The works were carried out in observant compliance with the specific instructions set out in the design documentation given to the bidders, whose executive level of detail justified the awarding of the contract to the lowest price.

ESTIMATE COSTS OF THE TWO PROTOTYPES REALIZATION						
n.	cost items	HOURS		LABOR €/h 40,00	MATERIALS 2 models/€	AMOUNT €
		study model/h	definitive model/h			
1	Aluminum tube Ø60 THK 15/10 finished without sharp parts, with three laser cut windows. Total cut 600 mm	4	3	280,00 €	70,00 €	350,00 €
2	Completion counter-tube in polished plexiglass Ø62 THK 3 length 600 mm	5	4	360,00 €	100,00 €	460,00 €
3	Side closure to cover the ends of the aluminum and plexiglass tubes, made to measure with a 3D printer by adding polymeric material	8	7	600,00 €	80,00 €	680,00 €
4	Internal frame for stable accommodation of all components, made with laser cutting equipped with window shapes, inserts and voids on 2 mm THK sheet metal	10	6	640,00 €	120,00 €	760,00 €
5	Internal components: graduated level sensors to record the variations in the incidence angle of the SAcS device with respect to the earth's horizon, equipped with an interface on a light and sound signaling system repeated on both ends right + left, 4 + 4 LEDs with different colors (green, yellow, orange and red)	10	6	640,00 €	120,00 €	760,00 €
6	Central display for digital detection of the deviation degree	8	4	480,00 €	80,00 €	560,00 €
7	Battery holder -4 for 9 V (2 + 2) - equipped with manual on / off switch and rest state sensor	6	4	400,00 €	20,00 €	420,00 €
8	Metal supports, made to order, equipped with four holes for fixing, by means of bolts and nuts, on the dashboard of the vehicle	4	3	280,00 €	20,00 €	300,00 €
9	Component finishing, cleaning, polishing and labeling	6	4	400,00 €	10,00 €	410,00 €
10	Definition, supplier research, finding and assembly of components	12	8	800,00 €	- €	800,00 €
TOTAL						5.500,00 €

Figure 13 - Summary of costs.

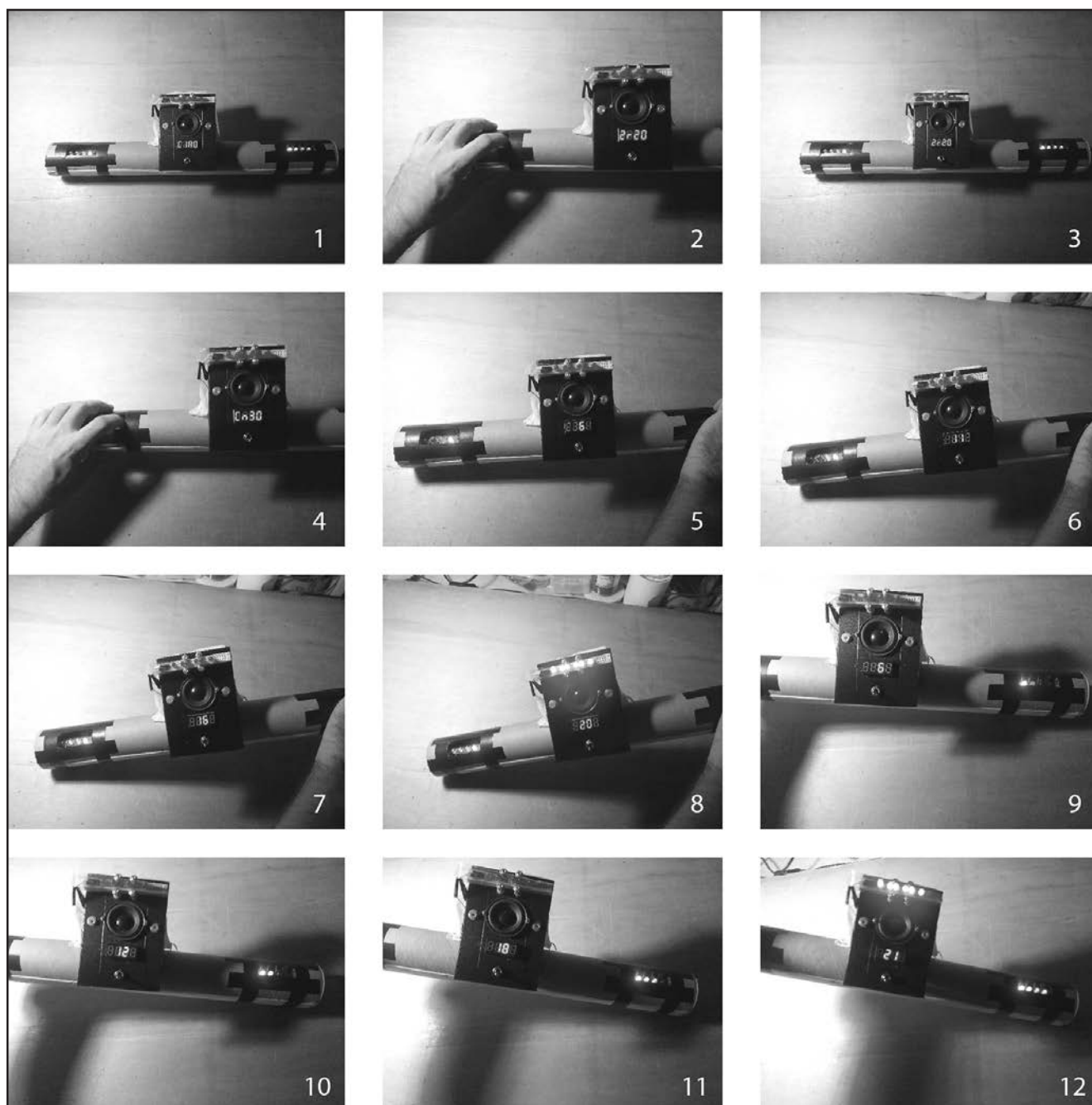


Figure 14 - Operating Prototype.

6. CONCLUSIONS

In order to validate the innovative nature of the instrument, a survey of existing products with corresponding purposes was conducted.

Following a preliminary market survey, a patent search was carried out by querying the Google Patent database. The query took place on the basis of an abstract (about

500 words) of the SAcS device and by means of a series of keywords combined with Boolean operators – AND, OR, (* ALL) – and associative properties – P1 AND P2 AND (P3 OR P4) –, which interpret the features of the designed object, declined in general features; functional features, purposes and further special features.

The first general search «electronic AND inclinometer AND rollover AND alert AND tractor» produced over 200

results from which twenty patents¹⁰, considered most appropriately comparable, were selected in order to explore their attributes corresponding to the keywords defined and observe their similarities with the developed project. The patents with the highest number of shared features were 3: *Vehicle Rollover Safety System*¹¹; *Dynamic Rollover Protection System*¹² and *System and Method for the Detection of Vehicle Rollover Conditions*¹³ (Fig. 14).

The first is a tool that, by means of the collaboration between sensors with associated microprocessor and central controller, detects the vehicle rollover risks, communicates them to operators by means of acoustic signals, suggesting steering correction and in the event of an accident, by means of a radio communications transceiver to a call center, activates the necessary emergency assistance.

The second, formed by a group of sensors and a warning system, informs of the imminence of a rollover, allows the driver to take corrective action and updates the information during and after the danger.

The third, uses sensors mounted to the vehicle frame which, together with the suspension system, detect its lateral acceleration to determine the load transfer ratio of an actual tilt moment compared to the maximum tilt moment and to calculate the effective center of gravity height and reports the acquired values to the operator by means of a display coupled to the system.

However, the comparison did not reveal portable systems fitted with a magnetic support, with plug-and-play operation, that can be updated, powered by rechargeable batteries and used for different purposes.

Digitally readable systems also were found that display the goniometric value in degrees or radians and that replace spirit level, pendulum level, flexible tube level or other work-site instruments, as well as equipment

	PATENTS																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
GENERAL FEATURES																				
PORTABLE																				✓
ELECTRONIC	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓			✓		✓						✓
MEMS ACCELEROMETER	✓						✓	✓	✓											✓
DIGITAL	✓			✓	✓		✓	✓	✓											✓
INCLINOMETER	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
FUNCTIONAL FEATURES																				
TIPT	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SLOPE	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ROLL	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓		✓	✓	✓	✓
INDICATOR	✓			✓	✓	✓	✓				✓						✓	✓	✓	✓
PURPOSE																				
LIGHT/ACOUSTIC ALARM	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
TRACTOR/TRUCK/VEHICLE	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PREVENTING ROLLOVER	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
FURTHER SPECIAL FEATURES																				
INTERACTIVE ALARM																				
ANGLE SETUP																				
FAST MAGNETIC ANCHOR																				
UPDATING							✓													
OVERALL ATTRIBUTES (16)	11	6	3	7	6	8	12	9	9	5	5	6	4	8	5	6	7	7	7	11

Figure 15 - comparison matrix.

capable of reading the amplitude of the body's tilt angle with respect to the horizontal plane used on board off-road cars or as equipment in the nautical sector. However, the communication conveyed by such devices is not progressive and the signals resort to light or sound emissions without exploiting specific codes or languages.

The SACs digital inclinometer is an integrated system of functions and components that records the transverse tilt angle of a vehicle in operation and, through the use of accelerometers, goniometric detectors and software processors (such as Arduino), it is able to generate a series of simultaneous optical light alarm signals, as well as a two-tone siren, which prompt the operator to activate safety measures in order to counteract the risk of rollover. The instrument activates autonomously as a function of an increase in the stabilising moment with respect to the rollover moment in the dynamics of masses in motion.

For these specific functions, the product is suitable for use with accident prevention purposes.

The analysis conducted showed that there is no slope detection device on the market integrated with an alarm signal system that aims to have the operator activate self-monitoring and risk assessment processes, therefore SACs was found to be an original solution compatible with the technological and economic feasibility and consistent with the expected application.

¹⁰ The patents references are indicated in the bibliography.

¹¹ <https://patents.google.com/patent/US6377133B1>. Shared keywords 11 of 16 for an overall consistency of 68.75%.

¹² <https://patents.google.com/patent/WO2015063307A1>. Shared keywords 12 of 16 for an overall consistency of 75%.

¹³ <https://patents.google.com/patent/EP0942839A1/en>. Shared keywords 11 of 16 for an overall consistency of 68.75%.

* **Alessandra Cucurnia**, Architect, PhD in Architecture Technology; University Researcher in the ICAR/12 Disciplinary Scientific Sector, Professor of Project Management and Technology, Master in Architecture, School of Architecture, Florence University, Italy
e-mail: alessandra.cucurnia@unifi.it

** **Antonio Mario Mastrangelo**, Architect, he worked as a research fellow at the Department of Architecture, University of Florence
e-mail: info@flordesign.it

Authors contributed

Alessandra Cucurnia oversaw the drafting of the text, Antonio Mario Mastrangelo oversaw the rendering of the images.

Bibliography

ATZORI E., *Macchine movimento terra: come evitare e prevenire il ribaltamento?* <https://blog.tuttocarrellielevatori.it/39501/macchine-movimento-terra-come-evitare-e-prevenire-il-ribaltamento/>, Ottobre 2021.

BAÙ M., NASTRO A., FERRARI M., FERRARI V., *I sistemi microelettromeccanico e le loro applicazioni*, Tecnologie MeMS, Sezione Elettronica, Marzo 2021, pp. 28-34.

FARRALL P., *Feasibility Studies. An Architect's Guide*, RIBA Publishing, 2022.

FORD J. AND THOMPSON J., *Vehicle Rollover Dynamics Prediction by Mathematical Model*, SAE Technical Paper 690804, 1969, <https://doi.org/10.4271/690804>.

IANNACCONE W., *Guida completa per uno studio di fattibilità per il lancio di un prodotto/servizio*, Franco Angeli, 2015.

Il ribaltamento dei mezzi, <https://www.sfbusinessadvisor.it/sicurezza-sul-lavoro/il-ribaltamento-dei-mezzi/>, Novembre 2019.

INAIL, *Andamento degli infortuni sul lavoro e delle malattie professionali*, Settembre 2019.

INAIL, *Sistema di sorveglianza degli infortuni mortali sul lavoro. Il ribaltamento dei mezzi*, Scheda 4, 2017.

ISO2631-1/4, *Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration*, 1997.

JAFARIZADEH B., *Economic Decision Analysis. For Project Feasibility Studies*, Springer Cham, 2022.

KEMP C.J., SPANGLER L., *An accelerometer interface circuit*, Proceedings of the IEEE 1-4 May, Custom Integrated Circuits Conference, 1995.

KEMPE V., *Inertial MEMS Principle and Practice*, Cambridge University Press, 2011.

KLOCKE F., REHSE M., *Intelligent Tools through Integrated Micro Systems*, Production Engineering Vol. IV/2, 1997.

LAUDI D., *Tecniche di sensing capacitivo in magnetometri MEMS a forza di Lorentz operanti alla frequenza di risonanza*, Tesi di laurea Magistrale, ING V - Scuola di Ingegneria dell'Informazione, Aprile 2013.

LEGNANTE V.A., PANEbianco O., *La gestione della sicurezza in cantiere*, in Manuale Ingegneria Civile, Zanichelli, 2006.

LENZ J., EDELSTEIN A.S., *Magnetic sensors and their applications*, Sensors Journal, IEEE, 2006.

MARIANO B., *Il cantiere. Metodi e strumenti di gestione e organizzazione*, Editore Legislazione Tecnica, Roma, 2016.

MECCA S., *Comprendere il cantiere. Verso nuovi paradigmi per l'organizzazione del cantiere edile*, Edizioni ETS, Pisa, 2002.

MENDUTO T., *Sicurezza macchine e Industria 4.0: normativa, vantaggi e criticità*, <https://www.puntosicuro.it/manutenzioni-verifiche-periodiche-C-113/sicurezza-macchine-industria-4-0->, 2017.

STMicroelectronics. *Digital Output Magnetic Sensor: ultralow-power, high performance 3-axis Magnetometer*, LIS3MDL Datasheet, 2013.

TOMO M., UTICA G., *Metodi di valutazione della sostenibilità dei progetti*, Maggioli Editore, Collana Politecnica, 2011.

PATENTS

1. US 6397133 B1 - "Vehicle rollover safety system", <https://patents.google.com/patent/US6377133B1>, PDF: US6377133B1. Shared keywords 11 of 16 for an overall consistency of 68.75%.

2. US 6273203 B1 - "Agricultural machine with a self-leveling cab", <https://patents.google.com/patent/US6273203B1>. Shared keywords 6 of 16 for an overall consistency of 37.50%.

3. WO 2002020287 A1 - "Vehicle wireless sensing and communication system", <https://patents.google.com/patent/WO2002020287A1>. Shared keywords 3 of 16 for an overall consistency of 18.75%.

4. US 8095269 B2 - "Dynamic rollover prevention", <https://patents.google.com/patent/US8075267B2>. Shared keywords 7 of 16 for an overall consistency of 43.75%.

5. US 9283825 B2 - "System, method, and apparatus to prevent commercial vehicle rollover", <https://patents.google.com/patent/US7283825B2>. Shared keywords 6 of 16 for an overall consistency of 37.50%.

6. GB 2521510 A - "System and method of preventing articulated machine roll-over", <https://patents.google.com/patent/GB2521510A>. Shared keywords 8 of 16 for an overall consistency of 50%.

7. WO 2015063309 A1 - "Dynamic rollover protection system", <https://patents.google.com/patent/WO2015063307A1>. Shared keywords 12 of 16 for an overall consistency of 75%.

8. US 20180162410 A1 - "A method and system for predicting a risk for rollover of a working machine", <https://patents.google.com/patent/US20180162410A1>. Shared keywords 9 of 16 for an overall consistency of 56.25%.

9. KR 100537981 B1 - "System for warning possibility of overturn of vehicles and method thereof", <https://patents.google.com/patent/KR100537781B1>. Shared keywords 9 of 16 for an overall consistency of 56.25%.

10. AU 2008338251 B2 - (31%) "Active rollover prevention system for construction and road machines", <https://patents.google.com/patent/AU2008338251B2>. Shared keywords 5 of 16 for an overall consistency of 31.25%.

11. EP 0312530 A1 - "Electrical detector and utilizer of inclination data", <https://patents.google.com/patent/EP0312530A1>. Shared keywords 5 of 16 for an overall consistency of 31.25%.

12. ES 2541376 B2 - "Electronic device and method of protection against overturning for agricultural, forestry and public works vehicles", <https://patents.google.com/patent/ES2541376B2>. Shared keywords 6 of 16 for an overall consistency of 37.50%.

13. RU 2115581 C1 - "Vehicle roll-over protection device", <https://patents.google.com/patent/RU2115581C1/en>. Shared keywords 4 of 16 for an overall consistency of 25%.

14. ES 2452489 A1 - "Rollover protection system for agricultural vehicles", <https://patents.google.com/patent/ES2452487A1>. Shared keywords 8 of 16 for an overall consistency of 50%.

15. AU 2013206494 B2 - "Active rollover prevention system for construction and road machines", <https://patents.google.com/patent/AU2013206474B2>. Shared keywords 5 of 16 for an overall consistency of 31.25%.

16. CN 206194089 U - "Agricultural machinery safety intelligent early - warning device", <https://patents.google.com/patent/CN206174087U>. Shared keywords 6 of 16 for

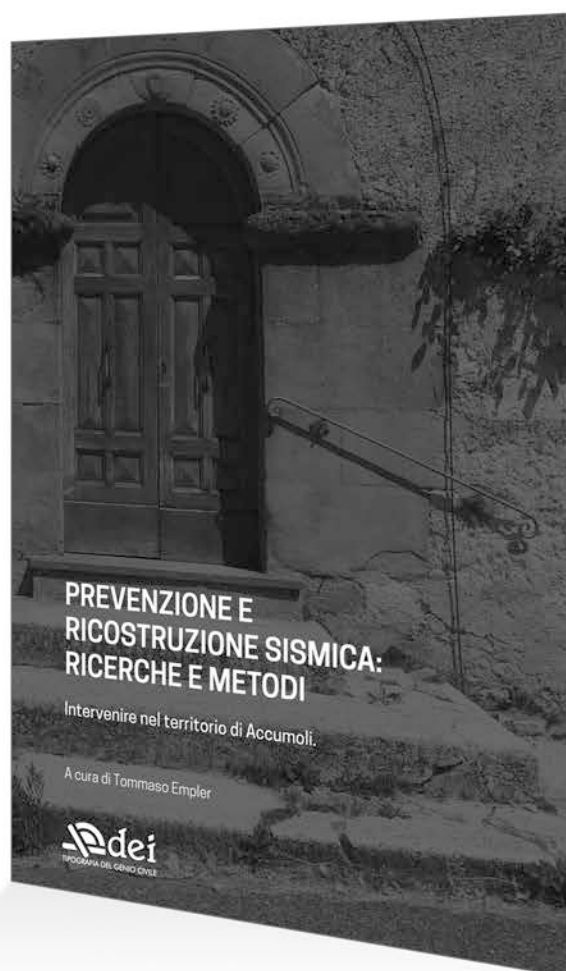
an overall consistency of 37.50%.

17. JP 2017211707 A - "Turnover alarm device, turnover accident notification system, and turnover alarm program", <https://patents.google.com/patent/PP2017211707A>. Shared keywords 7 of 16 for an overall consistency of 43.75%.

18. WO 1989010623 A1 - "Inclination and inertia indicating apparatus", <https://patents.google.com/patent/WO1787010623A1>. Shared keywords 7 of 16 for an overall consistency of 43.75%.

19. KR 20180031147 A - "Safety accident sensing device for agricultural machine and system for spreading situation automatically using the same", <https://patents.google.com/patent/KR20180031147A>. Shared keywords 7 of 16 for an overall consistency of 43.75%.

20. EP 0942839 A1 - "System and method for the detection of vehicle rollover conditions", <https://patents.google.com/patent/EP0942839A1/en>. Shared keywords 11 of 16 for an overall consistency of 68.75%.



www.build.it

dei
TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE

Sensoristica a bordo dei mezzi di cantiere. SAcS sistema di allarme antiribaltamento dei macchinari per il movimento terra

Alessandra Cucurnia*,
Antonio Mario Mastrangelo**

Parole chiave: Smart Yard, Sicurezza, Sensoristica, System for Warning, Vehicle Rollover

Abstract

Il contributo illustra lo sviluppo di un prototipo di strumento elettronico¹ da impiegare a bordo di mezzi di cantiere che operano in terreni sconnessi e impervi e in concomitanza di buche e avvallamenti, finalizzato alla verifica dinamica del rischio di ribaltamento determinato dal superamento della soglia limite dell'ampiezza dell'angolo formato dal vettore gravitazionale con

quello normale istantaneo definito dai punti di contatto delle ruote del veicolo con il terreno. Il prodotto rappresenta uno dei risultati della ricerca Smart Yard: Industry 4.0 Production Process² e si configura quale esempio pilota di sperimentazione di sensoristica volta a incrementare la sicurezza di utilizzo dei macchinari.

1. INTRODUZIONE

Da un'osservazione effettuata da parte di INAIL³ riguardo le dinamiche infortunistiche sul lavoro determinate dal ribaltamento dei mezzi è stato evidenziato che i quelli per il movimento terra sono responsabili del 14,7% degli incidenti.

¹ Il dispositivo è stato sviluppato da Vincenzo Legnante e Pablo Feijoo Reis dell'unità operativa UNIFI.

² Finanziata con fondi europei nell'ambito del Programma Operativo Regionale FESR 2014-2020. Bando n. I: progetti strategici di ricerca e sviluppo (Regione Toscana). Responsabili Scientifici: A. Cucurnia, V.A. Legnante.

³ Sistema di sorveglianza degli infortuni mortali sul lavoro ("Itfor.mo"), 2017

Il ribaltamento avviene quando l'inclinazione laterale è tale da proiettare il peso del mezzo al di fuori del suo asse di rotazione trasversale. Questa circostanza si manifesta perlopiù in caso di attività pesanti, contesti lavorativi connotati da stress, particolari condizioni del terreno e impiego di macchinari usurati.

Il rischio potrebbe essere mitigato dotando il veicolo di uno strumento in grado di misurare l'inclinazione e di informare l'operatore della minaccia. In ambito di intelligenza a bordo dei mezzi automobili di cantiere, soluzioni che ne controllano la stabilità orizzontale mediante visualizzazione dei valori di pendenza su dispositivi analogici o digitali esistono, tuttavia, richiedono attenzione da parte del lavoratore che nel contempo si trova già impegnato in attività alquanto complesse e rischiose.

[Il sistema elettronico ipotizzato, avvertendo preventivamente le condizioni potenzialmente critiche, è in grado di misurare il rischio di ribaltamento di macchine movimento terra lungo la traiettoria di marcia e, mediante emissioni acustico luminose, ne segnala la progressiva inclinazione in modo da indurre l'attivazione delle opportune misure di autotutela presso il soggetto manovratore che può modificare il percorso o, se del caso, arrestare il mezzo.

2. IL SISTEMA DI ALLARME ANTIRIBALTAMENTO

L'inclinometro SAcS⁴, progettato per impedire il ribaltamento laterale dei veicoli da lavoro operanti su terreni con pendenze prevalenti trasversali rispetto al senso di marcia, consiste in un sistema integrato di componenti di sicurezza. La sua funzionalità è triplice: registra la pendenza determinata dall'inclinazione dell'asse rispetto al piano orizzontale mediante sistema binario di rilevazione; emette segnalazioni luminose e acustiche di allarme al raggiungimento di appositi valori di soglia catturando l'attenzione dell'operatore; sollecita l'attivazione di ulteriori meccanismi di sicurezza quali dispositivi di protezione attiva e passiva, interruzione di contatti elettrici, spegnimento di circuiti, fuoriuscita di supporti meccanici, ecc.

Il dispositivo opera per mezzo di un accelerometro capacitivo tri-assiale basato su tecnologia MEMS⁵. Si tratta di un sensore microelettromeccanico inerziale, molto piccolo ed economico, installabile direttamente su scheda PCB⁶, che studia i principi dinamici dei corpi per risalire alle cause che li determinano ed è in grado di misurare l'accelerazione lineare e angolare del loro spostamento nello spazio.

Gli accelerometri vengono impiegati sia nelle rilevazioni dell'accelerazione gravitazionale statica, quali sensori di inclinazione per determinare l'angolo di deviazione dei corpi che li ospitano rispetto al piano verticale, sia in quelle dell'accelerazione dinamica, quali indicatori della misura inerziale della loro velocità e rivelatori di vibrazioni, impatti o shock.

In questo caso il componente viene utilizzato per stimare la variazione della portata elettrica in funzione del mutamento di movimento all'interno di un circuito formato da una resistenza elettrica e da un condensatore di capacità collegati mediante un generatore di tensione⁷, sfruttando il posizionamento di un peso installato su molle fissate in corrispondenza di un'estremità al peso

stesso e in corrispondenza dell'altra estremità alle armature dell'apparecchio⁸. Il sistema è munito di interruttore che regolando i processi di carica e scarica è in grado di controllare l'intensità di energia sulle armature e la corrente all'interno del circuito.

Il sensore dispone di un micro dispositivo meccanico incapsulato in un apparato elettronico di dimensioni sensibilmente ridotte all'interno del quale si producono spostamenti in direzioni ortogonali di piccole masse sospese per mezzo di micro-travi elastiche.

I sistemi elettronici di controllo, tramite l'accelerometro, registrano le variazioni di inclinazione del veicolo rispetto al piano orizzontale e al raggiungimento dei valori limite di rischio attivano una serie di segnalazioni ottiche e acustiche di allarme.

Dello strumento è stato elaborato un progetto esecutivo sulla base del quale è stato realizzato un primo prototipo (Fig. 1) che, pur funzionando correttamente, ha evidenziato alcune criticità.

Il livello di potenza dei segnali acustici non risultava efficacemente calibrato rispetto alla rumorosità dei contesti operativi; i materiali utilizzati non gli conferivano sufficiente robustezza in attività; la possibilità di disattivazione da parte dell'operatore in fase di esercizio non ne tutelava la sicurezza e l'incolumità e la visualizzazione dei valori di attenzione non era immediata.



Figura 1 - Prototipo iniziale.

Si è reso pertanto necessario potenziare le emissioni acustiche dei segnali con l'opportunità di prevedere intensità differenziate in funzione della gravità del pericolo e in prossimità di situazioni di massima criticità attivare la colorazione blu in tutti i led; collocare la com-

⁴ Slope Active Safety.

⁵ Micro Electro-Mechanical Systems

⁶ Scheda elettronica a circuito stampato PCB (Printed Circuit Board) che utilizza conduttori di rame per creare connessioni elettriche tra componenti.

⁷ Circuito RC, <https://www.youmath.it>

⁸ <https://www.tme.eu/it>

ponentistica all'interno per ridurre al minimo le discontinuità materiche; inibire la regolabilità del display a favore di un angolo fisso di lettura riducendo i componenti mobili e semplificando la realizzazione; suddividere lo strumento in due elementi distinti uno gestibile da parte dell'operatore e uno non accessibile; correggere i difetti di funzionamento del software eseguito nel dispositivo microcontrollore modificando il codice sorgente per evitare rallentamenti nella visualizzazione e semplificare il linguaggio.

Il processo di revisione ha condotto ad aggiornamenti a livello di struttura, operatività e software. Trattandosi di un sensore di tipo inerziale è stato altresì esteso l'ambito funzionale che, unitamente all'impiego nella dinamica del ribaltamento, ha incluso ulteriori prestazioni come per esempio la determinazione della posizione, la stima delle ore di utilizzo ecc.

3. COMPONENTI DEL DISPOSITIVO E PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Nella sua versione definitiva il sistema è composto da due elementi separati e collegati in rete consistenti in un terminale che l'operatore può accendere e spegnere e in una centralina non manovrabile, con accesso a linea elettrica che si aziona contestualmente all'avvio del mezzo ed è in grado di bloccarlo se all'atto di impiego non rileva l'avvenuta attivazione del terminale (Fig. 2). La centralina è stata successivamente sostituita da un'applicazione che gestisce la comunicazione con il terminale tramite wireless Bluetooth.

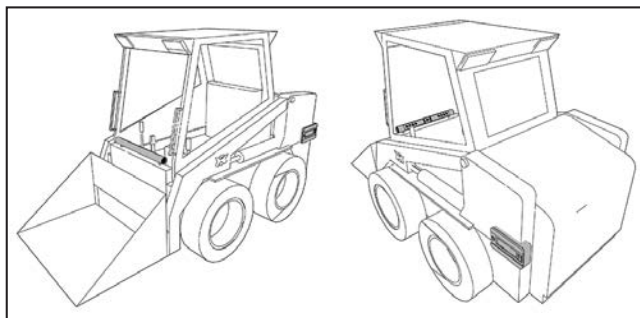


Figura 2 - Terminale e centralina a bordo mezzo.

Il terminale consiste in un tubo metallico ($\varnothing$ 50 mm x 500) che alloggia al suo interno, disposti su un telaio e protetti dagli agenti esterni, i componenti elettronici e di micro-controllo e l'accelerometro triassiale a basso consumo e ad alta risoluzione, preposto a leggere con precisione l'inclinazione angolare del vettore gravitazionale rispetto al piano orizzontale (Fig. 3).

L'elemento è dotato, nella sua parte anteriore, di un display⁹ centrale a 7 segmenti e di gruppi ottici laterali. Per mezzo dell'impulso ricevuto dal microcontrollore che recepisce il valore della variazione angolare dall'accelerometro, il display rivela in tempo reale, con codice alfanumerico, il valore di inclinazione del mezzo e, mediante un registro di calibrazione, attiva gli indici luminosi a luci differenziate in sequenza, coordinati con il sistema di segnalazione acustica corredato da amplificatore audio, generando emissioni progressive che interpretano la rilevanza del pericolo.

Il sensore traduce l'energia in segnali elettrici proporzionali all'accelerazione istantanea del corpo riproducendo le colorazioni codificate e condivise che classificano la probabilità di accadimento del rischio. Il verde rileva che non sussistono fenomeni importanti, il giallo raccomanda attenzione e il rosso denuncia la severità della criticità. La parte superiore del display ospita altresì un ulteriore indice luminoso lampeggiante di colore blu, che si attiva contemporaneamente a quello rosso e all'emissione di un suono bitonale maggiormente incisivo, con il proposito di richiamare la massima concentrazione sul mezzo (Fig. 4).

I diversi colori, espressione dell'entità dell'impatto, comunicano chiaramente l'allertamento e suggeriscono i modelli comportamentali di autoprotezione da assumere per garantire la massima sicurezza.

L'entità del pericolo che sollecita l'attivazione dei vari indicatori ottico acustici può essere modificata attraverso una programmazione che prevede una sequenza opera-

⁹ Il display è inserito nel tubo metallico con un angolo di inclinazione pari a 30° rispetto alla verticale per consentire all'operatore una visualizzazione ottimale.



Figura 3 - Prototipo finale.

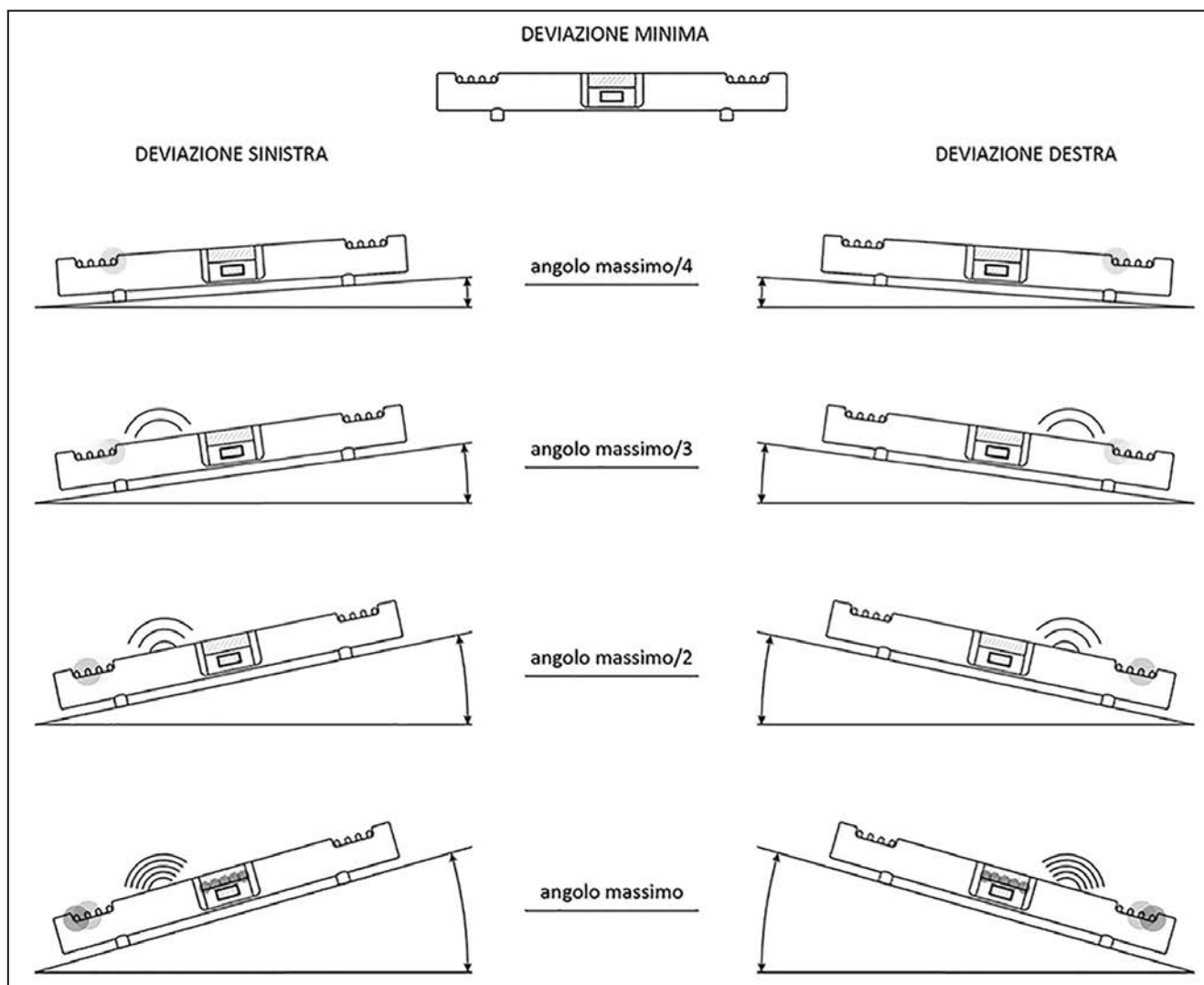


Figura 4 - Funzionamento del terminale.

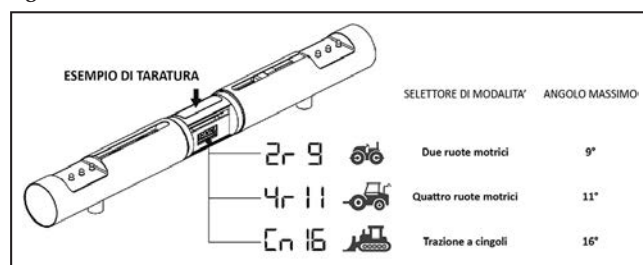


Figura 5 - Esempi di taratura terminale.

tiva criptata da effettuare mediante un pulsante posizionato sul retro del display. Il pulsante selettore invia l'input (pull-up) al microcontrollore che attribuisce ai valori massimi di inclinazione diversi gradi di intensità in funzione dei parametri di utilizzo, del calibro, della specificità e dello stato di efficienza del mezzo, della consistenza del terreno e delle condizioni del suolo dove si movimentano le ruote (Fig. 5).

Nella parte superiore del terminale, ai lati del vano display, sono collocate le griglie di raffreddamento e i diffusori acustici; sul retro si trovano l'interruttore di accensione/spegnimento (on/off) e la porta USB per collegarlo alla stazione di ricarica.

Il tubo, provvisto inferiormente di due supporti magnetici al neodimio, è removibile e può essere applicato su qualunque superficie metallica. Viene fissato sul cruscotto in linea con l'asse trasversale del mezzo, all'altezza più opportuna affinché l'operatore possa acquisire le informazioni con immediatezza senza distrarre l'attenzione visuale dalla traiettoria. In caso di superfici non metalliche la stabilizzazione viene affidata a staffe ad ancoraggio meccanico.

Il sistema, alimentato per mezzo di batterie ricaricabili, anch'esse posizionate internamente nella sede dove sono ubicati i componenti elettronici e l'amplificatore sonoro di allarme, si attiva in maniera automatica contestualmente all'azionamento della macchina visualiz-

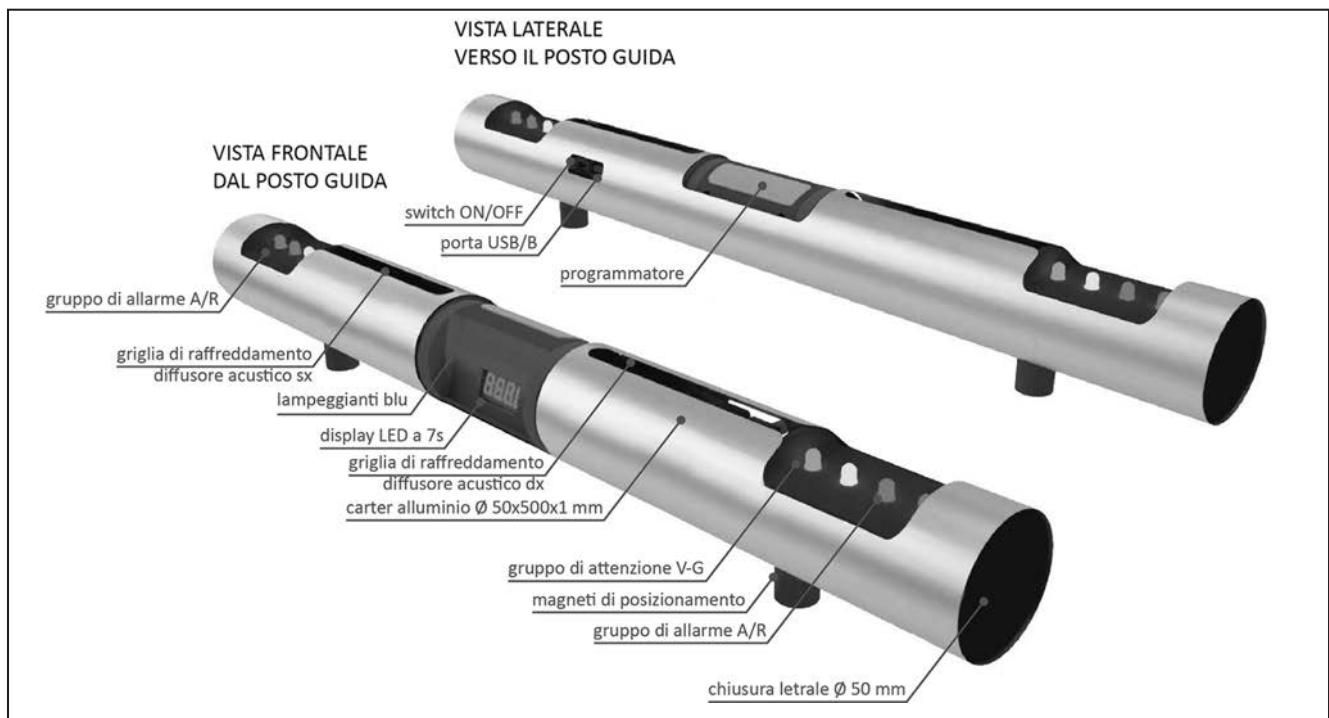


Figura 6 - Componenti costitutivi terminale.

zando sul display il valore dell'angolo trasversale in gradi sessagesimali (Fig. 6). In condizioni di non utilizzo, o in caso di perfetta orizzontalità del mezzo ($\pm 2^\circ$), il terminale si colloca automaticamente in modalità stand-by non consumando energia.

La centralina, costituita da un carter dotato di chiusura superiore sigillata, funge da ponte tra terminale e sistema di azionamento attivo ed è alimentata elettricamente.

Nella parte anteriore, in corrispondenza del coperchio, presenta un ampio display LCD retroilluminato mentre al suo interno alloggia il processore software, il relè, il trasmettitore wireless e il pulsante di taratura (Fig. 7).

Il carter recepisce dal terminale il livello di inclinazione, registra in remoto la posizione e la velocità della macchina e, in situazioni di pericolo, produce impulsi che raccomandano l'attivazione delle opportune misure di

sicurezza allertando nel contempo il personale preposto alla tutela della salute e dell'incolumità dei lavoratori. Lo strumento è inoltre in grado di inibire l'accensione della macchina qualora il terminale fosse spento o posizionato in maniera non corretta.

L'installazione a bordo per mezzo di viti di sicurezza e la configurazione, che implicano l'apertura del dispositivo mediante rimozione del coperchio, possono essere eseguite esclusivamente da personale qualificato e prevedono una prima azione connessa con l'avvio del mezzo e l'accensione del terminale e una successiva verifica del processo di comunicazione fra terminale e centralina. Se la comunicazione è regolare il tecnico procede con la taratura impostando i parametri di attenzione in funzione della tipologia del mezzo e della specificità del contesto e richiude accuratamente il carter (Fig. 8). I valori programmati rimangono in memoria fino alla successiva procedura di taratura.

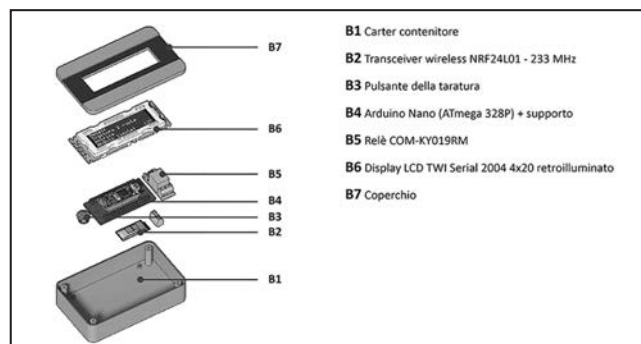


Figura 7 - Componenti costitutivi centralina.

Centralina: Selezione dell'angolo limite tramite pulsante B3	Display della centralina	Display del tubo terminale
	Mezzo: Trattore 2 ruote motrice Angolo limite: 12°	2r 12
	Mezzo: Trattore 4 ruote motrice Angolo limite: 16°	4r 16
	Mezzo: Trattore a cinghie Angolo limite: 21°	cc 21

Figura 8 - Centralina.

4. SPERIMENTAZIONE DI UN'APPLICAZIONE

Allo scopo di usufruire in maniera più ampia dell'informazione trasmessa dal terminale e consentire il controllo, anche da remoto, sull'attività del manovratore del mezzo da parte del Coordinatore della Sicurezza in fase di Esecuzione, è stata valutata la possibilità di utilizzare il sistema di comunicazione Wireless Bluetooth. A questo proposito è stata sviluppata un'applicazione, eseguibile in ambiente Android, modalità full screen, in grado di dialogare con il terminale mediante protocollo Bluetooth. Nel nuovo scenario la centralina può pertanto essere sostituita da smartphone o tablet. La comunicazione che si instaura fra i due componenti una volta connesso il terminale e avviata l'APP consente infatti al dispositivo che la supporta di visualizzare sia i valori rilevati che i segnali luminosi, oltre che a riprodurre le emissioni acustiche proporzionate all'entità dell'angolo di inclinazione e, nel caso in cui l'operatore non attivi le opportune misure di sicurezza, intensifica il segnale sonoro (Fig. 9).

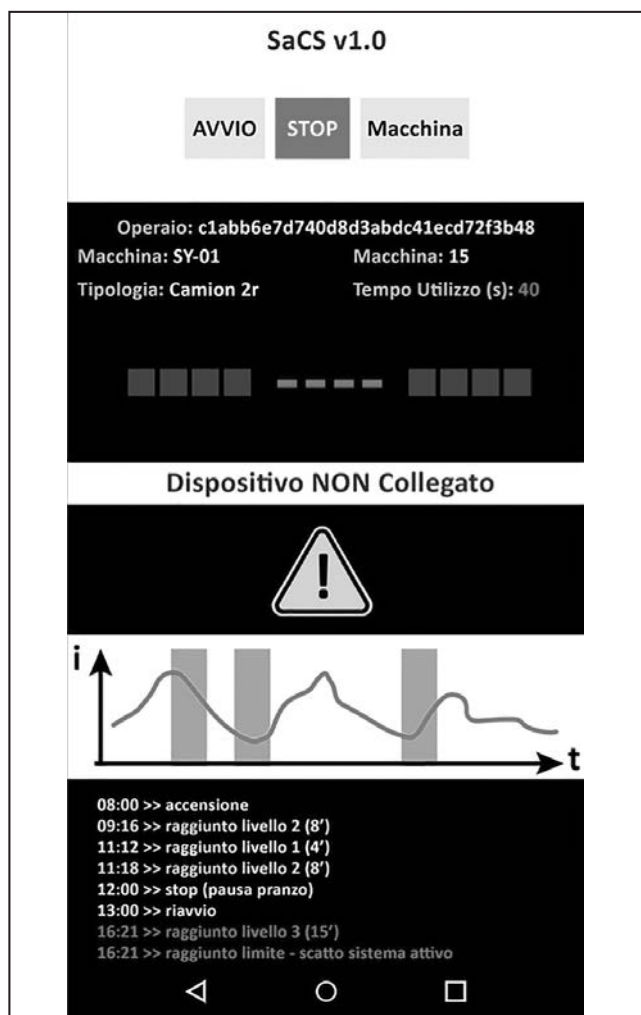


Figura 9 - Interfaccia applicazione.

Smartphone e tablet, sfruttando i sensori inerziali (accelerometro, giroscopio e di posizione), possono altresì rimpiazzare lo stesso terminale, comportando una vantaggiosità anche nel costo che si riferirebbe al solo acquisto del supporto per il loro fissaggio a bordo. L'impiego può rivelarsi molto utile nei veicoli rispetto ai quali le dimensioni del tubo metallico risultano eccessive e l'installazione difficoltosa (Fig. 10).

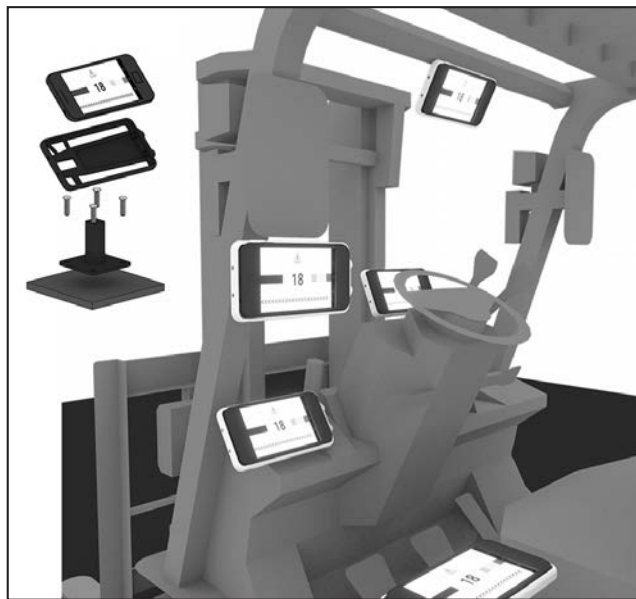


Figura 10 - Collocazione smartphone a bordo.

In queste circostanze l'operatore, scaricando l'applicazione che aggiorna i valori al variare dell'inclinazione trasversale della macchina, può utilizzare il proprio cellulare che, rispetto al terminale, garantisce effetti quali vibrazioni, impulsi, cromaticità e suoni personalizzabili, consente di determinare posizione, temperatura, componenti della velocità e, mediante opportuni algoritmi, può interrogare ulteriori variabili che concorrono a conferire maggior attendibilità alla stima del rischio.

Lo schermo in formato *landscape*, inoltre, offre una visualizzazione delle informazioni maggiormente chiara (Fig. 11).

5. IL PROTOTIPO

Ai fini della verifica di fattibilità tecnica ed economica, sulla base del progetto sviluppato, mediante opportuna indagine di mercato, è stata effettuata una stima per stabilire la presunta consistenza economica del dispositivo con il proposito di determinarne il prezzo da porre a base di gara per l'individuazione del soggetto a cui affidare la realizzazione dei prototipi.

Ai candidati sono stati richiesti due esemplari, uno in acciaio ($\varnothing$ 50 mm, $\approx$ 15/10 mm, lunghezza 590 mm) e uno in

Sensoristica a bordo dei mezzi di cantiere. SACS sistema di allarme antiribaltamento dei macchinari per il movimento terra...

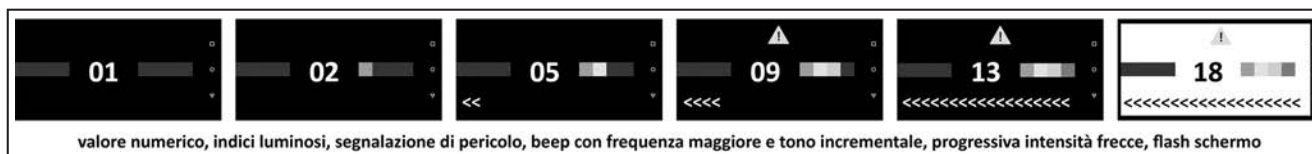


Figura 11 - Dispositivo Android come terminale: interfaccia applicazione.

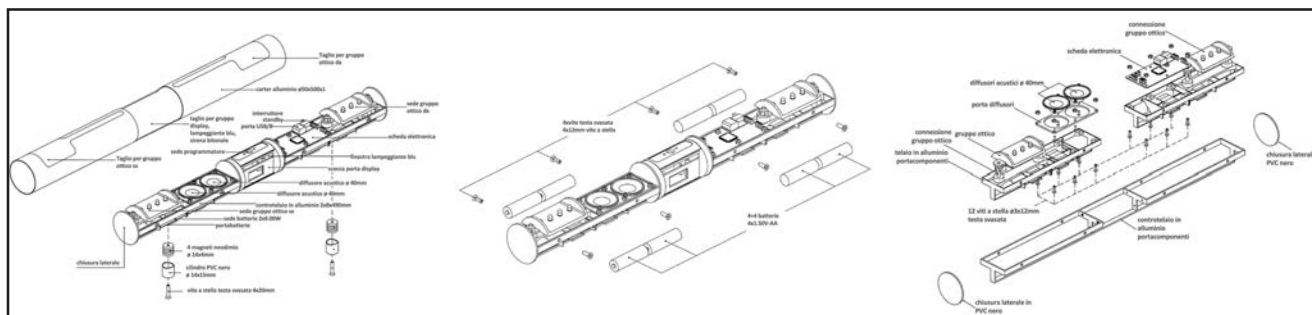


Figura 12 - Documentazione grafica a base di gara.

alluminio ($\varnothing$ 60 mm, $\pm$ 2 mm, lunghezza 600 mm), tagliati e lavorati con le apposite feritoie sulla superficie del carter per la visualizzazione degli elementi di segnalazione luminosa (verde, giallo, arancio, rosso, oltre a un indicatore centrale blu a luce intermittente), completi di componentistica elettronica – microprocessore di lettura dei valori angolari, sensori, segnalatori led, altoparlanti, input di attivazione di segnali e sensori, porta USB, collegamento Bluetooth alla scatola di relais e taratura secondo intervalli regolabili – e dotati di sistemi di ancoraggio vincolati al carter realizzati con magneti al neodimio idonei per il fissaggio su qualunque superficie metallica soggetta a frequenti sollecitazioni meccaniche (Fig. 12).

Computando gli elementi costitutivi indicati negli elaborati progettuali del dispositivo, il valore complessivo dei due modelli è stato quantificato in € 5.800,00 (Fig. 13). Trattandosi di campioni sperimentali, eventuali ulteriori lavorazioni non contemplate, ed eventualmente necessarie per la loro funzionalità potevano essere contabilizzate sulla base di un costo orario corrispondente a € 55,00.

Nel rispetto del principio di rotazione, alla gara sono stati invitati operatori economici con sede non eccessivamente distante, dotati di congrue competenze e abilità operative, in possesso di esperienze pregresse nel settore e munite di idonee attrezzature.

STIMA DEI COSTI PER LA REALIZZAZIONE DI DUE PROTOTIPI						
n.	voci di costo	COMPUTO ORE		MANODOPERA €/h 40,00	MATERIALI 2 campioni/€	IMPORTO €
		modello di studio/h	modello definitivo/h			
1	Tubo in alluminio $\varnothing$ 60 spessore 15/10 rifinito senza parti taglienti, con tre finestre a taglio laser. Taglio totale 600 mm	4	3	280,00 €	70,00 €	350,00 €
2	Contro-tubo di completamento in plexglass lucido $\varnothing$ 62 spessore 3 lunghezza 600 mm	5	4	360,00 €	100,00 €	460,00 €
3	Parti terminali a copertura esterna delle estremità dei tubi di alluminio e plexglass, realizzate su misura con stampante 3D per addizione di materiale polimerico	8	7	600,00 €	80,00 €	680,00 €
4	Telaio interno per alloggiamento stabile di tutta la componentistica, realizzato con taglio laser dotato di sagome finestre, inserti e vuoti su lamiera spessore 2 mm	10	6	640,00 €	120,00 €	760,00 €
5	Componentistica interna: sensori di livello graduati per registrare le variazioni dell'angolo di incidenza del dispositivo SACS rispetto all'orizzonte terrestre, dotati di interfaccia su sistema di segnalazione luminosa e sonora ripetuta su entrambe le estremità dx+sx, 4+4 led con diversi colori (verde, giallo, arancio e rosso)	10	6	640,00 €	120,00 €	760,00 €
6	Display centrale di visualizzazione digitale del grado di deviazione	8	4	480,00 €	80,00 €	560,00 €
7	Porta batterie -4 da 9 V (2+2)- dotate di interruttore manuale on/off e sensore di stato di riposo	6	4	400,00 €	20,00 €	420,00 €
8	Supporti metallici, realizzati su disegno, dotati di quattro fori per il fissaggio, tramite bulloni e dadi, sul cruscotto del mezzo	4	3	280,00 €	20,00 €	300,00 €
9	Finitura del componente, pulitura, lucidatura ed etichettatura	6	4	400,00 €	10,00 €	410,00 €
10	Definizione, ricerca fornitori, reperimento e assemblaggi dei componenti	12	8	800,00 €	- €	800,00 €
TOTALE						5.500,00 €

Figura 13 - Prospetto riassuntivo dei costi.

Ai fini della scelta del contraente, tra le offerte acquisite è stata selezionata quella caratterizzata dal maggior ribasso sull'importo a base di gara che ha proposto uno sconto pari al 5% per un ammontare totale equivalente a € 5.510,00.

Le realizzazioni sono state eseguite in fedele conformità alle specifiche istruzioni contenute nella documentazione progettuale fornita ai concorrenti il cui livello ese-

cutivo di dettaglio ha giustificato l'aggiudicazione dell'affidamento al minor prezzo.

6. CONCLUSIONI

Allo scopo di validare il carattere innovativo dello strumento è stata condotta una ricognizione sui prodotti esistenti con equivalenti finalità.

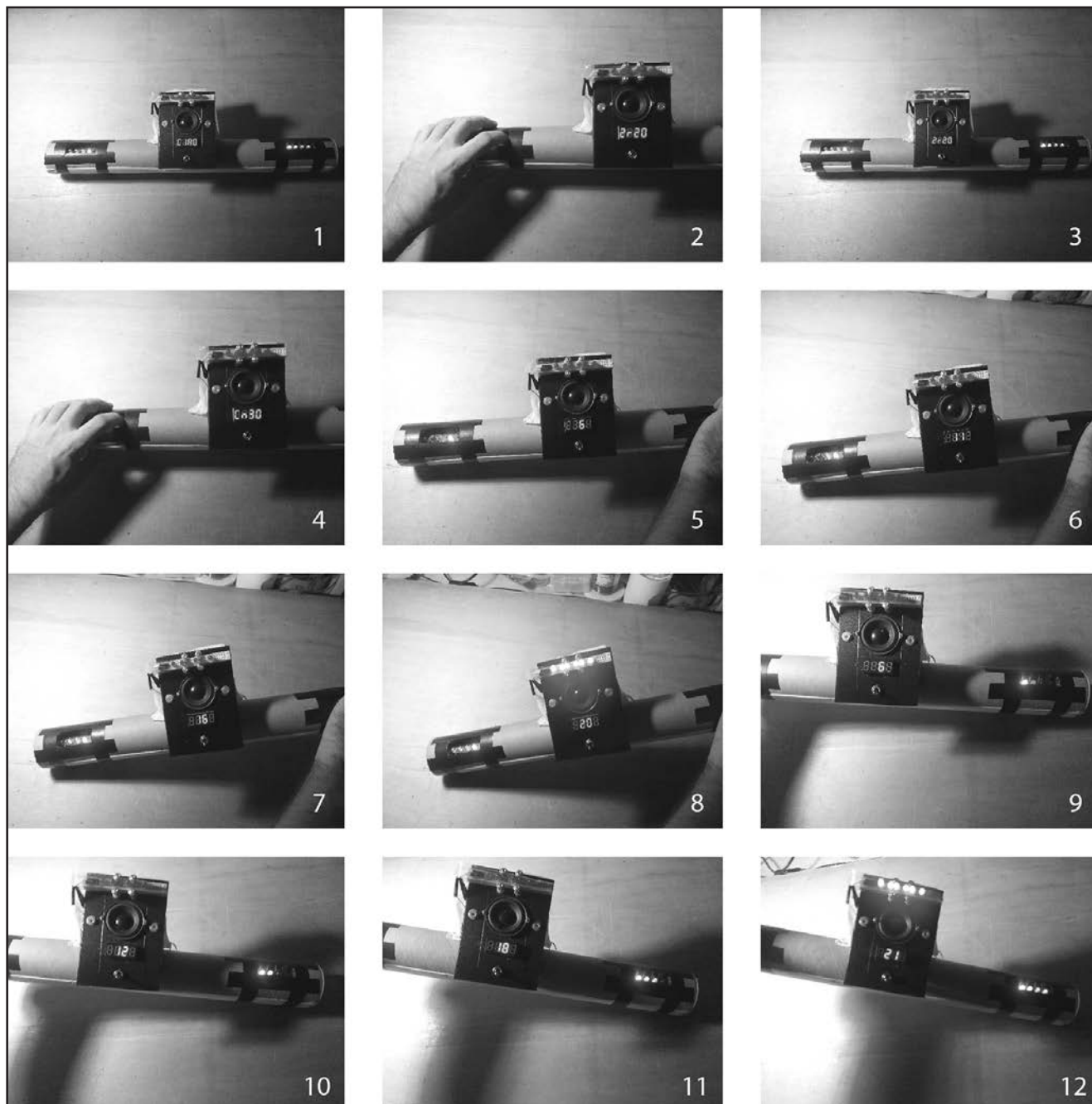


Figura 14 - Funzionamento.

Sensoristica a bordo dei mezzi di cantiere. SACS sistema di allarme antiribaltamento dei macchinari per il movimento terra...

In seguito a una preliminare indagine di mercato, è stata effettuata una ricerca di brevetti interrogando il database *Google Patent*. L'interrogazione è avvenuta sulla base di un *abstract* (circa 500 parole) del dispositivo SACS e per mezzo di una serie parole chiave combinate con operatori booleani – AND, OR, (*ALL) – e proprietà associative – P1 AND P2 AND (P3 OR P4) –, che interpretano le connotazioni dell'oggetto progettato, declinate in caratteristiche generali; caratteristiche funzionali, finalità e ulteriori peculiarità.

La prima ricerca generale «electronic AND inclinometer AND rollover AND alert AND tractor» ha prodotto oltre 200 risultati nell'ambito dei quali sono stati selezionati i 20 brevetti¹⁰ ritenuti più opportunamente comparabili con l'obiettivo di esplorarne gli attributi corrispondenti alle parole chiave definite e osservarne le analogie con il progetto elaborato. I brevetti con il maggior numero di caratteristiche condivise sono risultati 3: *Vehicle Rollover Safety System*¹¹; *Dynamic Rollover Protection System*¹² e *System and Method for the Detection of Vehicle Rollover Conditions*¹³ (Fig. 15).

Il primo è uno strumento che, per mezzo della collaborazione fra sensori con associato microprocessore e controller centrale, rileva i rischi di ribaltamento del veicolo, li comunica agli operatori mediante segnali acustici o visivi suggerendo correzioni dello sterzo e in caso di incidente, tramite ricetrasmittitore di comunicazioni radio a call center, attiva il salvataggio di emergenza.

Il secondo, costituito da un gruppo di sensori e un sistema di avviso, informa il conducente del veicolo dell'imminenza del ribaltamento consentendogli di attivare le misure idonee per evitarlo e aggiorna l'informazione durante e dopo il pericolo.

Il terzo, impiega sensori montati sul telaio del veicolo che, insieme al sistema di sospensione, ne rilevano l'accelerazione laterale per determinare il rapporto di trasferimento del carico in un momento di inclinazione effettivo rispetto al momento di inclinazione massima e per calcolare l'altezza effettiva del baricentro e riferisce i valori acquisiti al manovratore per mezzo di un display accoppiato al sistema.

La matrice di confronto non ha comunque evidenziato sistemi portatili dotati di supporto magnetico con funzionamento plug and play, aggiornabili, alimentati per

	BREVETTI																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
CARATTERISTICHE GENERALI																				
PORTATILE																				✓
ELETTRONICO	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓			✓								✓
ACCELEROMETRO MEMS	✓																			✓
DIGITALE	✓				✓	✓	✓	✓	✓											✓
INCLINOMETRO	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CARATTERISTICHE FUNZIONALI																				
INCLINAZIONE	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PENDENZA	✓					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
RIBALTAMENTO	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
INDICATORE	✓			✓	✓	✓	✓				✓						✓	✓	✓	✓
FINALITÀ*																				
SEGNALE LUMINOSO/ACUSTICO	✓			✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
TRATTORE/CAMION/VEICOLO	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ANTI RIBALTAMENTO	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ULTERIORI PECULIARITÀ*																				
ALLARME INTERATTIVO																				
IMPOSTAZIONE ANGOLO																				
RAPIDO ANCORAGGIO MAGNETICO																				
AGGIORNABILE								✓												
ATTRIBUTI COMPLESSIVI (16)	11	6	3	7	6	8	12	9	9	5	5	6	4	8	5	6	7	7	7	11

Figura 15 - Matrice di confronto.

mezzo di batterie ricaricabili e utilizzabili in differenti impieghi.

Sono stati altresì rintracciati congegni a lettura digitale che visualizzano il valore goniometrico in gradi o radianti e che sostituiscono livelle a bolla, a pendolo, a tubo flessibile o altri strumenti di cantiere, oltre ad apparecchiature capaci di leggere l'ampiezza dell'angolo di inclinazione del corpo rispetto al piano orizzontale impiegate a bordo di autovetture fuoristrada o come attrezzature nel settore della nautica. Tuttavia la comunicazione veicolata da tali dispositivi non risulta progressiva e i segnali ricorrono a emissioni luminose o acustiche senza sfruttare specifici codici o linguaggi.

L'inclinometro digitale SACS rappresenta un sistema integrato di funzioni e componenti che registra l'angolo di inclinazione trasversale di un mezzo in esercizio e, mediante l'impiego di accelerometri, rilevatori goniometrici e processori software (tipo Arduino), è in grado di generare una serie di segnali ottico luminosi di allarme simultanei, oltre a una sirena bitorale che inducono l'operatore a innescare misure di sicurezza finalizzate a contrastare il rischio di ribaltamento. Lo strumento si avvia autonomamente in funzione dell'incremento del momento stabilizzante rispetto al momento ribaltante nella dinamica delle masse in movimento.

Per queste specifiche funzioni il prodotto risulta idoneo a essere impiegato con finalità antinfortunistiche.

Dall'analisi condotta è emerso che sul mercato non esiste un dispositivo di rilevazione della pendenza integrato a un sistema di segnali di allarme finalizzato all'attivazione di processi di autocontrollo e valutazione del rischio da parte dell'operatore, pertanto in SACS si ravvisa una soluzione originale, compatibile con la fattibilità tecnologica ed economica e congrua rispetto all'applicazione attesa.

¹⁰ I riferimenti ai brevetti analizzati sono riportati in bibliografia.

¹¹ <https://patents.google.com/patent/US6377133B1>. Parole chiave condivise 11 di 16 per una consistenza complessiva pari al 68,75%.

¹² <https://patents.google.com/patent/WO2015063307A1>. Parole chiave condivise 12 di 16 per una consistenza complessiva pari al 75%.

¹³ <https://patents.google.com/patent/EP0942839A1/en>. Parole chiave condivise 11 di 16 per una consistenza complessiva pari al 68,75%.

*** Alessandra Cucurnia**, Architetto, Dottore di Ricerca in Tecnologia dell'Architettura; Ricercatore Universitario SSD ICAR/12, docente del corso di Gestione e Tecnologia del Progetto, corso di Laurea Magistrale quinquennale in Architettura, Scuola di Architettura, Università di Firenze

e-mail: alessandra.cucurnia@unifi.it

**** Antonio Mario Mastrangelo**, Architetto, Libero professionista, ha svolto attività in qualità di Assegnista di ricerca presso il Dipartimento di Architettura, Università di Firenze

e-mail: info@flordesign.it

Contributi degli autori

Alessandra Cucurnia ha curato la stesura del testo, Antonio Mario Mastrangelo ha curato la restituzione delle immagini.

Bibliografia

ATZORI E., *Macchine movimento terra: come evitare e prevenire il ribaltamento?* <https://blog.tuttocarrellielevatori.it/39501/macchine-movimento-terra-come-evitare-e-prevenire-il-ribaltamento/>, Ottobre 2021.

BAÙ M., NASTRO A., FERRARI M., FERRARI V., *I sistemi microelettromeccanici e le loro applicazioni*, Tecnologie MeMS, Sezione Elettronica, Marzo 2021, pp. 28-34.

FARRALL P., *Feasibility Studies. An Architect's Guide*, RIBA Publishing, 2022.

FORD J. AND THOMPSON J., *Vehicle Rollover Dynamics Prediction by Mathematical Model*, SAE Technical Paper 690804, 1969, <https://doi.org/10.4271/690804>.

IANNACCONE W., *Guida completa per uno studio di fattibilità per il lancio di un prodotto/servizio*, Franco Angeli, 2015.

Il ribaltamento dei mezzi, <https://www.sfbusinessadvisor.it/sicurezza-sul-lavoro/il-ribaltamento-dei-mezzi/>, Novembre 2019.

INAIL, *Andamento degli infortuni sul lavoro e delle malattie professionali*, Settembre 2019.

INAIL, *Sistema di sorveglianza degli infortuni mortali sul lavoro. Il ribaltamento dei mezzi*, Scheda 4, 2017.

ISO2631-1/4, *Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration*, 1997.

JAFARIZADEH B., *Economic Decision Analysis. For Project Feasibility Studies*, Springer Cham, 2022.

KEMP C.J., SPANGLER L., *An accelerometer interface circuit*, Proceedings of the IEEE 1-4 May, Custom Integrated Circuits Conference, 1995.

KEMPE V., *Inertial MEMS Principle and Practice*, Cambridge University Press, 2011.

KLOCKE F., REHSE M., *Intelligent Tools through Integrated Micro Systems*, Production Engineering Vol. IV/2, 1997.

LAUDI D., *Tecniche di sensing capacitivo in magnetometri MEMS a forza di Lorentz operanti alla frequenza di risonanza*, Tesi di laurea Magistrale, ING V - Scuola di Ingegneria dell'Informazione, Aprile 2013.

LEGNANTE V.A., PANEBIANCO O., *La gestione della sicurezza*

in cantiere, in Manuale Ingegneria Civile, Zanichelli, 2006.

LENZ J., EDELSTEIN A.S., *Magnetic sensors and their applications*, Sensors Journal, IEEE, 2006.

MARIANO B., *Il cantiere. Metodi e strumenti di gestione e organizzazione*, Editore Legislazione Tecnica, Roma, 2016.

MECCA S., *Comprendere il cantiere. Verso nuovi paradigmi per l'organizzazione del cantiere edile*, Edizioni ETS, Pisa, 2002.

MENDUTO T., *Sicurezza macchine e Industria 4.0: normativa, vantaggi e criticità*, <https://www.puntosicuro.it/manutenzioni-verifiche-periodiche-C-113/sicurezza-macchine-industria-4.0->, 2017.

STMicroelectronics. *Digital Output Magnetic Sensor: ultralow-power, high performance 3-axis Magnetometer*, LIS3MDL Datasheet, 2013.

TOMO M., UTICA G., *Metodi di valutazione della sostenibilità dei progetti*, Maggioli Editore, Collana Politecnica, 2011.

BREVETTI

1. US 6397133 B1 - "Vehicle rollover safety system", <https://patents.google.com/patent/US6377133B1>, PDF: US6377133B1. Parole chiave condivise 11 di 16 per una consistenza complessiva pari al 68,75%.

2. US 6273203 B1 - "Agricultural machine with a self-leveling cab", <https://patents.google.com/patent/US6273203B1>. Parole chiave condivise 6 di 16 per una consistenza complessiva pari al 37,50%.

3. WO 2002020287 A1 - "Vehicle wireless sensing and communication system", <https://patents.google.com/patent/WO2002020287A1>. Parole chiave condivise 3 di 16 per una consistenza complessiva pari al 18,75%.

4. US 8095269 B2 - "Dynamic rollover prevention", <https://patents.google.com/patent/US8075267B2>. Parole chiave condivise 7 di 16 per una consistenza complessiva pari al 43,75%.

5. US 9283825 B2 - "System, method, and apparatus to prevent commercial vehicle rollover", <https://patents>.

google.com/patent/US7283825B2. Parole chiave condivise 6 di 16 per una consistenza complessiva pari al 37,50%.

6. GB 2521510 A - "System and method of preventing articulated machine roll-over", <https://patents.google.com/patent/GB2521510A>. Parole chiave condivise 8 di 16 per una consistenza complessiva pari al 50%.

7. WO 2015063309 A1 - "Dynamic rollover protection system", <https://patents.google.com/patent/WO2015063307A1>. Parole chiave condivise 12 di 16 per una consistenza complessiva pari al 75%.

8. US 20180162410 A1 - "A method and system for predicting a risk for rollover of a working machine", <https://patents.google.com/patent/US20180162410A1>. Parole chiave condivise 9 di 16 per una consistenza complessiva pari al 56,25%.

9. KR 100537981 B1 - "System for warning possibility of overturn of vehicles and method thereof", <https://patents.google.com/patent/KR100537781B1>. Parole chiave condivise 9 di 16 per una consistenza complessiva pari al 56,25%.

10. AU 2008338251 B2 - (31%) "Active rollover prevention system for construction and road machines", <https://patents.google.com/patent/AU2008338251B2>. Parole chiave condivise 5 di 16 per una consistenza complessiva pari al 31,25%.

11. EP 0312530 A1 - "Electrical detector and utilizer of inclination data", <https://patents.google.com/patent/EP0312530A1>. Parole chiave condivise 5 di 16 per una consistenza complessiva pari al 31,25%.

12. ES 2541376 B2 - "Electronic device and method of protection against overturning for agricultural, forestry and public works vehicles", <https://patents.google.com/patent/ES2541376B2>. Parole chiave condivise 6 di 16 per una consistenza complessiva pari al 37,50%.

13. RU 2115581 C1 - "Vehicle roll-over protection device",

<https://patents.google.com/patent/RU2115581C1/en>. Parole chiave condivise 4 di 16 per una consistenza complessiva pari al 25,00%.

14. ES 2452489 A1 - "Rollover protection system for agricultural vehicles", <https://patents.google.com/patent/ES2452487A1>. Parole chiave condivise 8 di 16 per una consistenza complessiva pari al 50%.

15. AU 2013206494 B2 - "Active rollover prevention system for construction and road machines", <https://patents.google.com/patent/AU2013206474B2>. Parole chiave condivise 5 di 16 per una consistenza complessiva pari al 31,25%.

16. CN 206194089 U - "Agricultural machinery safety intelligent early - warning device", <https://patents.google.com/patent/CN206174087U>. Parole chiave condivise 6 di 16 per una consistenza complessiva pari al 37,50%.

17. JP 2017211707 A - "Turnover alarm device, turnover accident notification system, and turnover alarm program", <https://patents.google.com/patent/PP2017211707A>. Parole chiave condivise 7 di 16 per una consistenza complessiva pari al 43,75%.

18. WO 1989010623 A1 - "Inclination and inertia indicating apparatus", <https://patents.google.com/patent/WO1787010623A1>. Parole chiave condivise 7 di 16 per una consistenza complessiva pari al 43,75%.

19. KR 20180031147 A - "Safety accident sensing device for agricultural machine and system for spreading situation automatically using the same", <https://patents.google.com/patent/KR20180031147A>. Parole chiave condivise 7 di 16 per una consistenza complessiva pari al 43,75%.

20. EP 0942839 A1 - "System and method for the detection of vehicle rollover conditions", <https://patents.google.com/patent/EP0942839A1/en>. Parole chiave condivise 11 di 16 per una consistenza complessiva pari al 68,75%.



Claudio Contessa Domenico Crocco

Codice degli Appalti e delle Concessioni

commentato articolo per articolo

Quarta Edizione - 2022

All'interno
GUIDA INTRODUTTIVA al Codice

Con i contributi di:

R. Cori, S. Crisci, S. De Marinis,
R. Greco, C. Guccione, F. Longo,
M.F. Mattei, N. Rubino, G. Rusconi,
T. Russo, F. Sciaudone, D. Sterrantino,
P. Tria, A. Ubaldi

adei
TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE

www.build.it

adei
TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE