

Devices for digital construction site management. RACK - Charging Station and DOC - Construction Site Operational Desk

Alessandra Cucurnia^{1,*}

¹ Department of Architecture, University of Florence, Via della Mattonaia 8, 50121 Florence, Italy; alessandra.cucurnia@unifi.it

* corresponding author

Keywords

Smart Yard; Building Process; Design; Site Management Systems; Charging System for Power Banks; Work Standing Desk; Industry 4.0

Abstract

The paper documents some of the results of the research program Smart Yard: Industry 4.0 Production Process aimed at reducing inefficiencies in construction site procedures by developing new management methods supported by digitisation processes that can memorise and monitor computational data and guide them towards specific purposes of production processes optimisation.

In particular, the aim of the study is to propose evolved, highly efficient and innovative organisational and information management models that enable more reliable control of processes in the construction sector, mitigating unavoidable uncertainties while pursuing a more rational use of resources.

The products developed to support the programme include two newly designed pieces of equipment with advanced functions, which can be configured as examples of site management systems such as a "smart factory" in the logic of Industry 4.0, illustrated below.

One is a high-performance charging system for power banks to be used with portable power tools, while the other concerns a work standing desk that employs wireless communication protocols to dialogue with other devices at the construction site.

1. Introduction

At the construction site, a material transformation process takes place which converts resources into construction elements concurrent to the construction of buildings and infrastructures where the most current innovation tests and shares tools and execution methods handed down over the centuries in a unique technological mingling not found in other production sectors.

In the circular and digital era, where the watchwords are aggregate, share and relate, we can no longer rely exclusively on consolidated procedures without thinking about new implementation arrangements to recover productivity and pursue agility and streamlined management, developing increasingly digitised relationships between elements based on numerical, computational structures, not exactly familiar to traditional operators in the construction sector.

In such a scenario, which therefore imposes a review of the usual construction site management methods, the research program Smart Yard: Industry 4.0 Production Process¹, taking the Data Modelling

¹ Financed with European funds under the Regional Operational Programme ERDF 2014-2020. Call for Tenders no. I: strategic research and development projects (Tuscany Region). Scientific Officers: A. Cucurnia, V.A. Legnante.

systems that oversee Information Modelling, Predictive Analytics algorithms, and semi-automated decision-making devices as primary factors of digitisation, proposes pursuing the implementation of the conventional paradigm by testing digitised management models that, through collaboration between machines, operators, their personal protective equipment and construction site management, make it possible to monitor and memorise the progress of the work. Moreover, in the commissioning phase reliable information on the final information model (As Built) is transferred to the system in charge of managing the product over its life cycle, with a view to streamlining the activities, protecting the safety of workers, efficiently sharing information, reducing waste and, more generally, qualifying the entire production process.

At the construction site, a place par excellence where events tend to systematically prove the economic and schedule forecasts to be wrong, there is a clear need to correctly program the breakdown of activities in the information model. By selecting what is essential, desirable, optional and negligible², the order of the activities to be carried out can be prioritised so that the deadlines governing the obligations are more likely to be met and the application of the relative penalty frameworks avoided, all the while streamlining the implementation system.

In order to implement the data management applications and prefigure an organisational structure for the low environmental impact construction site, with the associated management models, it is essential to identify the defining characteristics and the corresponding minimum procedures and equipment testing, among other things, new power supply mechanisms and smart work stations.

The most well-known critical issues of construction sites include the commonly used types of connections to the electricity grid, which are the main determinants of accidents caused by electrocutions.

In addition, there is also no specific place where all the necessary ancillary organisational, logistical and health-related functions can be directed, which are complementary to activities specifically related to the development of the actual processing.

As regards the efficiency of the production process, it is vital to enhance the technologies and qualify the working conditions of the operators. In this sense, streamlining the use of the available, traditional and advanced equipment, testing the new devices and assessing the related vocations in terms of adaptability and replicability, enables us to highlight the most significant aspects in terms of integration and prepare detailed solutions to be tested.

As part of the more general objectives of the programme and with the intention of suggesting which detailed solutions to explore, the outcome proposed herein translates into the design and creation of two devices to support construction site operations: a charging station and a standing desk³.

The prefigured methodology for the creation of the research products uses data-driven technologies that acquire data at the same time they are generated and, by processing them using a predictive and prescriptive method, thanks to learning algorithms and the massive data availability characteristic of Machine Learning procedures, their value is updated in real time, supporting decision-making processes with projections and hypotheses that tend to be increasingly accurate and true.

The use of such information systems assists the development of the smart management model for the construction site, supported by ICT technologies, which networks operators, machines and devices and aims to combine the streamlining of activities, the protection of workers' safety, the sharing of information and the qualification of production processes.

The equipment envisaged is made of prototype moulded polymer coated sheet metal components⁴ and separate modular elements for the two functions. One module, for fulfilling power supply requirements, contains the charging stations (RACK). The other, which transmits information and documents and connects the devices on the network, houses the electronic system (DOC).

²MoSCoW prioritisation technique.

³The devices were developed in collaboration with Vincenzo Legnante and Antonio Mario Mastrangelo of the UNIFI operating unit.

⁴A polymer (a word derived from the Greek πολύς -polys which means «many» an μέρος-meros which means «part») is a large macromolecule consisting of a sequence of constituent units called monomers.

2. Structure and design of the volumes

In order not to run the risk of creating non-conformist objects, which are troublesome to metabolise and could provoke hostile reactions and arouse opposition, intolerance and scepticism in the construction site operators themselves, an inventory of the types of trolleys and workstations available on the market was carried out before the designs were developed⁵.

Based on the products examined, different trolley ideas were generated to arrive at the final solution which defines the project and the related renderings in terms of structure, volumes, functional sections, safety and concepts of stationary and mobility, common to both devices, made with prototype moulded polymer coated sheet metal components (Figure 1).



Figure 1. The trolley models preparatory to determining the last solution that defines the project

Rapid prototyping is an additive manufacturing system which uses 3D printing to create three-dimensional products by using a file conversion process processed by specific modelling programmes. With a view to value generation, the procedure, governed by Data-Driven Processes using the Information Model, brings the entire supply chain into the system, overcoming the heightened fragmentation that characterises and penalises the production system. These processes, which presuppose the ability to share - the main competitive factor of the industrial paradigm - carry out predictive processing and direct the operators' actions which sensors translate in digital terms. In this logic, the physical entities are virtually revealed by a corresponding digital "twin", rendered by the information modelling, which represents them in an analytically coherent manner from a geometrical-dimensional perspective with all their alpha-numerical characteristic properties.

The high precision of the equipment means that perfectly operational components can be made and assembled together with considerable material savings, all the while satisfying sustainability demands. The significant reduction of waste, commonly characteristic of production processes, can be achieved thanks to optimised options capable of probabilistically predicting the occurrence of non-conformities and detecting critical issues. These options are generated by algorithms in collaboration

⁵ The types of equipment examined.

- Workshop trolley: **USAG** RACING-513 BSV; **USAG** START- 516 SP10V; **BETA** C24SA/6; **BETA** C29S - 2900S; **BAHCO** RACING-513 BSV
- Cleaning trolleys: **VERMOP** Advanced plus II; **FILMOP** Alpha hotel; **IPC CARRELLI** Brix hotel maxi
- Food trolleys: **MELFORM** Cargo 370E eutectic; **AL production** Evo multi; **RATIONAL production** Unitray
- Hospital trolleys: **WEIKO** Emergency cart compact; **FRANCE hospital** P. Smart; **FRANCE hospital** Persolife emergency; **MALVESTIO** 329501_C
- Mobile workbenches: **USAG** 514 B6V; **BETA** C30S supertank; **BETA** C28 maxitank; **FAMI storage systems** Work mobile master
- Gas station trolleys: **USAG** 504 S; **BETA** C51; **BETA** C35 - 3500
- Construction site trolleys: **BETA** C22P; **STANLEY** Rolling Workshop; **BUTTI** Sicurbox; **WURTH** Service box pro; **WURTH** Toolsystem

with devices that govern robots, machinery and sensorised and interconnected equipment, and with multi-sensory immersive technologies capable of associating Performance and Operation simulations.

3D printing offers the possibility of producing only the quantities strictly necessary thereby reducing the impacts of product transport and storage costs and avoiding polluting emissions into the environment. The technology, which does not contemplate drilling or the use of moulds, also breaks down traditional manufacturing processes, overcoming their critical issues and means prototypes can be built in a short time, each aspect of which can be revised and altered as the work progresses, without additional costs, simply by making the necessary corrections to the digital file.

The process actually makes it possible to understand in real time, and in specific contexts, how the components can be rapidly configured, related to each other and assembled, allowing the product to evolve, adapt and ensure performance consistent with the requirements underlying its creation.

Moreover, the use of polymer facilitates the management of structural and dimensional tolerances, while ensuring high standards and a wide variety of finishes.

Together with the trolley inventorying, in relation to the charging station project, a survey was conducted on the range of power tools used at construction sites⁶, a prologue to drawing up a sort of catalogue of the tools necessary, containing measurements and overall sizes, essential to proportion the spaces needed to house them.

In parallel, with reference to the construction site operational desk, the variety of IT and safety devices, hand tools and accessories⁷ were inspected in order to prepare a sample set of objects noting their distinguishing features, geometries and sizes, also in this case instrumental for the sizing of the containers in which to store them.

The results of these inventories were then set out in cards organised on the basis of the specific categories examined, divided into charging systems, power tools, personal protective equipment, hand tools, containers, smart devices, stating the model, performance characteristics, technical data, calibre and dimensions (Figure 2).

3. RACK: charging station

In construction practice, in order to facilitate the completion of certain work phases, in place of the traditional manual hammer and chisel, specific electric or compressed air tools, small/medium size and with varying power, have been used and which, when used on individual components in-situ, allow workers to make cuts and holes, reduce thicknesses, uniform edges and calibrate connections.

The use of power tools on the construction site, however, entirely depends on an electricity supply, which is usually provided by means of portable distribution switchboards connected via sockets to hanks

⁶ The types of equipment examined.

- *Screwdrivers*: HILTI SD 5000-A22; BOSCH GTB 12V-11; MAKITA BFS441Z; METABO SE 18 LTX 2500; DEWALT DCF620D2; MILWAUKEE M18 Fuel
- *Drills*: HILTI SD 5000-A22; BOSCH GSR 18V-21; MAKITA DHP481RT3J; METABO BS 14.4 Lt Compact; MILWAUKEE DCD771C2; DEWALT M18 ONEDD2-502X
- *Grinders*: HILTI AG 125-A22; BOSCH GWS 12V-76 Professional; MAKITA DGA456RTJ; METABO W 18 LTX 125 Quick; DEWALT DCG405N; MILWAUKEE HD18 AG-115
- *Plasterboard cutting*: HILTI SJT 6-A22; BOSCH GST 12V-70 Professional; MAKITA DJV181RT1J; METABO STA 18 LTX 100; DEWALT DCS331M2; MILWAUKEE M18 FBJS-502X
- *Compact drills*: HILTI TE 2-A22; BOSCH GBH 18 V-LI Compact; MAKITA DHR164Z; METABO BHA 36 LTX Compact; DEWALT DCH243N; MILWAUKEE M12 CH-602X
- *Demolition hammers*: HILTI TE 300-A36; BOSCH GBH 18V-26 F; MAKITA DHR263ZJ; METABO KHA 36 LTX; DEWALT DCH275P2; MILWAUKEE M18 ONEDD2-502X
- *Circular saws*: HILTI SC 70W-A22; BOSCH GKS 18V-57 G; MAKITA M12 CH-602X; METABO KS 55 FS; DEWALT DC300M2; MILWAUKEE HD18 CS-402B

⁷ - *Personal Protective Equipment*: Noise-reducing headphones; Headband earplugs; Safety goggles; Protective gloves; Face mask with visor; Disposable face mask; Half mask; First aid kit; Knee pads; High visibility waistcoat; Accident prevention helmet; Harness kit

- *Hand tools and accessories*: Concrete nippers; Double face club hammer; Masonry trowel; Wire brush; Spatula; Level; Aluminum tape measure; Anti-drip ceiling light; Cleaning paper roll
- *IT devices*: Notebooks, Graphic tablets, Smartphones, Tablets, Trackpads, Cameras, Scanners, Routers, Drones, Laser Gauges.

Project SY 4.0

Smart Yard: Industry 4.0 production process

Category: Drills

Power supply: Battery

Size: Small

Brand Name: METABO



231

198

Mod. BS 14.4 LT COMPACT

Characteristics:

- Shaft with hollow hexagon for inserts for screwing and working without a chuck;
- 4-pole Metabo motor, for rapid drilling and screwdriving;
- Shaft with hollow hexagon for inserts for screwing and working;
- practical belt hook and insert holder, to be fixed on the right or left;
- Batteries with residual autonomy indicator;
- Ultra-M technology: maximum performance and safe charging
- LED lighting

Technical data:

- Voltage: 14.4 V;
- Dimensions: 198x83x231 mm;
- Weight: 1.5 kg

Brand Name: DEWALT



191

219

Mod. DCD771C2

Characteristics:

- 13mm self-locking chuck with shaft lock for easy bit replacement;
- 2 variable speeds with reversibility;
- Electronic switch for maximum speed control in every application;
- 16 friction points for screwing on any type of material;
- LED lighting;
- Ergonomic handle

Technical data:

- Voltage: 18V;
- Dimensions: 219x191mm;
- Weight: 1.65 kg;
- Peso: 1.65 kg;

Brand Name: MILWAUKEE



175

Mod. M18 ONEDD2-502X

Characteristics:

- Extremely compact design, 175 mm length for better access to narrow spaces;
- Heavy duty chuck for greater insert retention;
- Connection via Bluetooth for ONE-KEY app;
- ONE-KEY App for tool inventory functions;
- Tool configuration for better setting

Technical data:

- Voltage: 18V;
- Dimensions: 175 mm;
- Weight: 2.1 kg

Innovations:
ONE-KEY system which allows you to configure the tools according to the work to be done and to keep the condition of the tool under control. Track the position of the tool. In the event of theft or loss, it allows you to block or turn off the instrument remotely when it is within range of the app.













Progetto SY 4.0 (smart yard: Industry 4.0 production process)

Project SY 4.0

Smart Yard: Industry 4.0 production process

Electronics and Products

Type: PPE

Noise canceling headphones



100

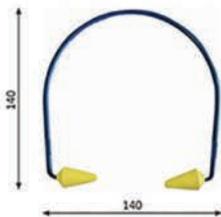
200

Characteristics:

- Comfortable design and lightweight plastic structure;
- Easily adjustable headband
- Headband: Acetal;
- Simple and light model;
- Spacious ear cups;
- Weight: 140 g;
- Dimensions: 190x70x200 mm

Semi-ear headband

EN standard: 352



140

140

Characteristics:

- Semi-ear headband with round capsules in soft polyurethane;
- Replacement pads available;
- Prolonged protection for users exposed to noise;
- Dimensions: 140x15x140 mm

Safety Glasses

EN standard: 170, 166, 172



150

160

Characteristics:

- Mechanical safety glasses with resistance to low energy impacts;
- Safety lens material: Polycarbonate;
- Protects against UV rays and high velocity particles at extreme temperatures (metal grinding);
- The special anti-scratch treatment protects the lens from damage caused by fine particles;
- Wide field of vision: 180°;
- Soft PVC nose pad;
- Dimensions: 150x45x160 mm













Progetto SY 4.0 (smart yard: Industry 4.0 production process)

Figure 2. Card example

149

of cables of considerable length which cross vehicle routes, precarious overhead sections, areas where water stagnates or places where pressurised gas cylinders are located.

The connection types mentioned are among the cases representing the main electrocution risks⁸. In fact, people working in the building sector often work under dangerous conditions due to negligence, a lack of prevention or a lack of specific training.

The use of tools that interfere with energy management requires the utmost caution and certain precautions must be taken as per specific regulatory provisions pertaining to the use of a current at a construction site and the design of the power tools themselves.

From a risk reduction perspective, mobile devices, weighing up to 6 kg, powered by high performance rechargeable batteries, represent one of the most important opportunities in that their operation is totally independent of the power supply point. It is often up to the accumulators, which only provide current during operation, to ensure the necessary energy requirements. Batteries are generally sold as a pair, one to be fitted on the tool and the other to be placed at designated charging stations.

With regard to the latter, the first design proposed concerns the RACK station, a functional and physical hub for powering small tools (3/6kg) whose electrical operation is based on power bank recharging, excluding cable transmission in the operational phase. (Figure 3)

The system can be placed freely within the construction site in the most convenient and easily controlled position. The station, made with prototype moulded polymer coated sheet metal components, is fitted with suitable sockets capable of powering all the tools, devices and instruments that are temporarily required and, assisted by a pair of lightweight and compact generators, with a handle for easy transport and USB ports, it can also work completely independently of the grid (Figure 4).

The independent management of the device has been studied in coordination with PRAMAC⁹ using the specific Parallel Kit¹⁰ which, due to the combination of two inverters, allows the output intensity to be increased with a total absorption which reaches twice the nominal power of the individual device. Operating in economy mode, the engine speed also adjusts to the optimal level, saving fuel and reducing noise (Figure 5).

4. DOC: construction site operational desk

At the construction site, in addition to practices specifically related to the development of the processing, a series of ancillary functions are implemented serving the same operational management and necessary to support the different organisational and logistical requirements of the workers working there.

These coordination activities, frequently and above all in small, mobile or emergency situations, are carried out through fortuitous arrangements that make use of unstable planes resting precariously on trestles. Such solutions are certainly not suitable for tasks such as reading designs, making notes or producing sketches.

The use of ICT notebooks, tablets and telephony has undoubtedly greatly facilitated the dissemination of technical information. Nonetheless, problems relating to the safekeeping of documents, permits, security plans, files and badges for the most part remain, and like ancillary tasks they are generally tackled improperly finding almost uncertain solutions.

The emergency medical facilities are equally inadequate, usually reduced to the presence of First Aid Kits, often not even located near the areas at greatest risk. Yet the legislation¹¹ clearly establishes the minimum equipment a construction site must provide based on the activities carried out, the number of people employed and the risk factors. An easily identifiable and accessible first aid kit or medical kit; the means to promptly activate the national health service emergency system; integration

⁸ In building sites, around 20% of accidents are due to falls from height resulting from shocks, malfunctioning electrical equipment, explosions and electrical fires, etc.

⁹ PRAMAC, capofila della ricerca Smart Yard: Industry 4.0 Production Process, è un'azienda situata in, Località Il Piano, Comune di Casole d'Elsa provincia di Siena, che produce generatori e attrezzature per la movimentazione di materiali da interno.

¹⁰ <https://www.youtube.com/watch?v=BLNE81fxKpQ>

¹¹ Article 45 of Legislative Decree 81/2008; Ministerial Decree 388/2003

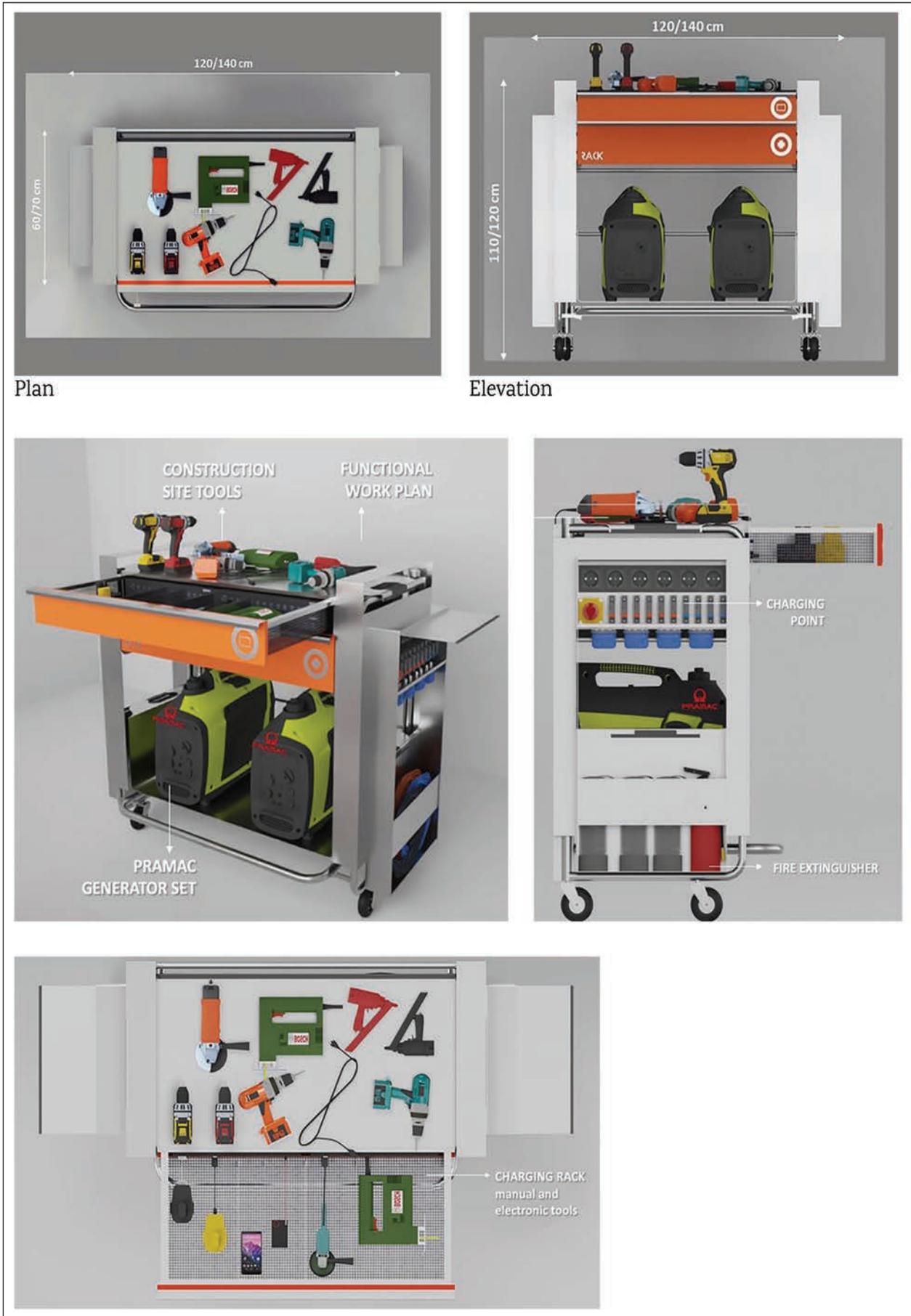


Figure 3. The RACK Charging Station Design



Figure 4. Some RACK Charging Station views



Figure 5. The PRAMAC Parallel Kit generator set

of internal control/national health service and whatever else may be necessary in compliance with the specific contingency¹².

In general, there is no place, no point of reference, where all these functions can be concentrated, fulfilling organisational, logistical and health-related needs.

¹²The amount of equipment is determined on the basis of the Risk Assessment Document (Article 4 Legislative Decree 626/94; Legislative Decree no. 81/2008) and in the accident register, which records the type of accidents that occurred.

The second project is developed in continuity with the problems that have emerged and based on the needs expressed. It is a newly designed construction site operational desk - DOC - for the collection and management of data and information, equipped with connections, software and utilities, integrated with healthcare and safety devices and consisting of a physical entity with housing and charging functions and an IT section that networks reports and documents and handles information and decision-making flows with direct effects on the management quality (Figure 6).



Figure 6. The DOC Construction Site Operational Desk Design

The work station, also made from a prototype moulded polymer coated sheet metal component, is fitted with modular elements to allow wireless access for the transmission of information and documents and the networking of devices.

This is a mobile device with a standing desk function whose constituent elements are expressly characterised in relation to specific functions: digital (computer, modem, wireless network, scanner, printer), electric (battery charging, power sockets, switchboard), archival (projects, permits, orders, bills, invoices, contracts, ...), functional (worktop and countertop), health-related (sanitisers, first aid kit, defibrillator, tourniquet, ...) and service (cleaning, stationary storage - tools - surveying instruments, drones, ...) (Figure 7).

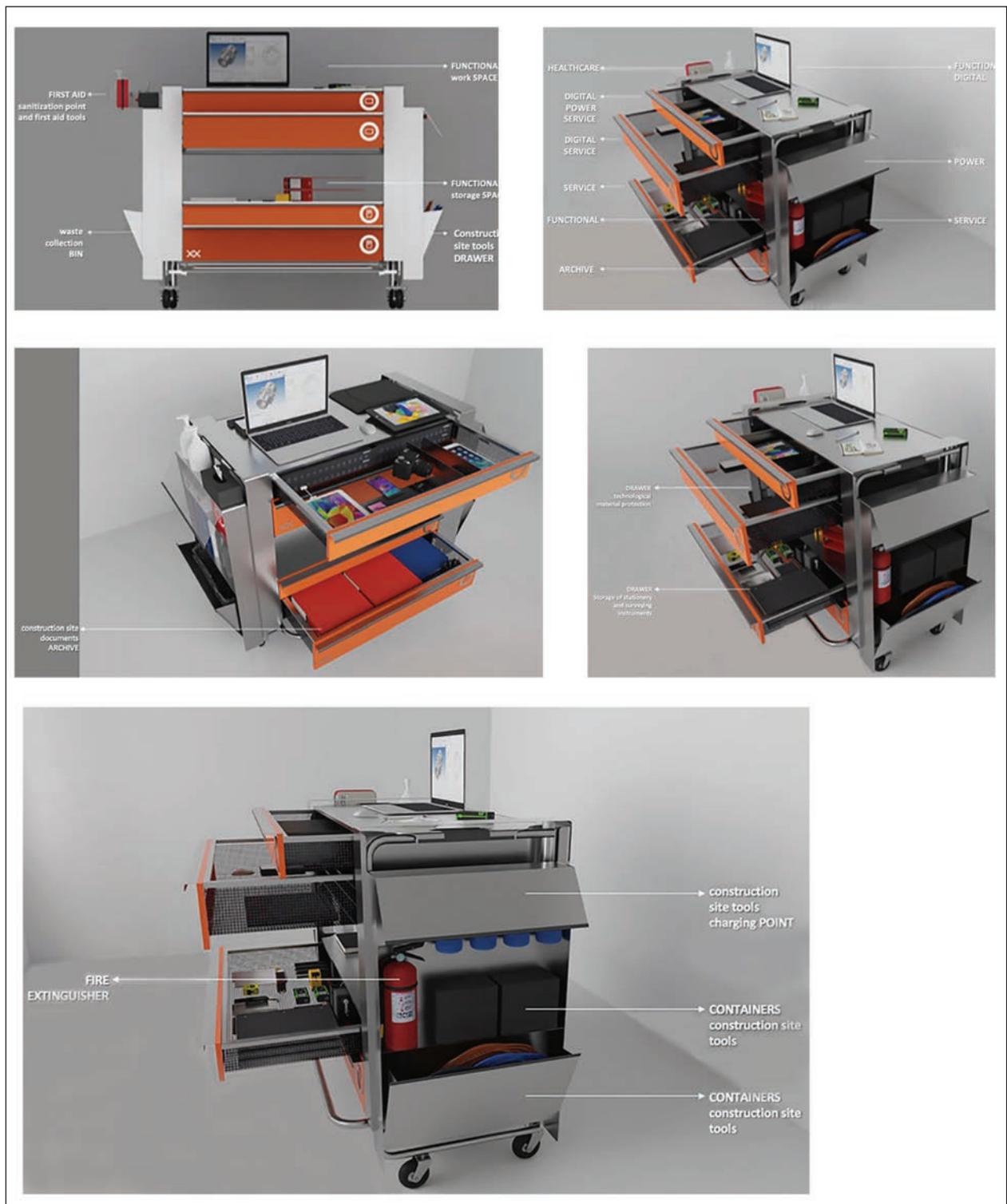


Figure 7. The DOC Construction Site Operational Desk main functions



Figure 8. Some DOC Construction Site Operational Desk views

The desk is capable of storing all the construction site documentation, medical equipment, personal protective equipment, emergency tools, cameras, gauges, levels, thermal imaging cameras, drones, various tools as well as cleaning and sanitising materials.

To the left and right of the console there are spaces for storing safety equipment (defibrillator, fire extinguisher, etc.) and medical equipment for emergencies. Such equipment, also due to the pandemic, is increasingly indispensable (Figure 8).

DOC is a centralised integration point that shares information online and in real time with the operators concerned, enabling dialogue between the external equipment commonly used at construction sites, with the view to monitoring the construction process and controlling costs.

With reference to the document management system, whether the documents are static and for viewing only or dynamic and to be accompanied by notes and images, the user-friendly device is able to display the content of the information models on the interactive dashboards at the same time.

In order to monitoring the construction process, the information modeling, instructed, coordinated and managed by the company, inspired by the outcomes resulting from the negotiations established with its suppliers and subcontractors, generates the virtualization of the components which, as a result of relationships based on numerical and computational structures, are represented, in real time, in all their characteristics, allowing to be displayed the state of progress and to be provided in the commissioning phase reliable information on the As Built to the responsible for managing the life cycle.

Based on wireless communication protocols, the Work Station supports the processing of remote information, allowing communication with suppliers, offices and between the various devices on the internet carrier, as well as providing tutorials and assembly instructions.

Digitalisation, by carrying out forecast processing and addressing the actions of the operators which the sensors translate into digital terms, can systematise the entire supply chain by homogenising the data and information regarding the construction elements starting from their object and performance characteristic properties up to the methods of installation and operation in the useful life cycle.

The device, with access to the electrical and information network, has an adequate work surface and countertop complete with accessories, stationary and enough space to accommodate videos, graphics tablets, a scanner, router, drawing tools and any other equipment that contributes to the digital management of the construction site.

Through mobile and wearable devices, tablets and smart phones, connected in real time at the site of shipyard production, the digital twins of the components can be consulted which allow the detection of any non-conformities and critical issues in terms of operator safety, and the prompt correction, even online, recording the quality and controlling the construction process costs.

4.1 The model

A true-to-life model of the Work Station and Charging Station was made in order to check the technical and economic feasibility, and also to validate their use with the IT equipment. (Figure 9)

Candidates were asked to create a model made up of three functional elements.

The first, which is more closely related to the actual equipment, common to both devices, includes the structure, volumes, functional sections, safety and concepts of stationary and mobility. It is a trolley made up of prototype moulded polymer coated sheet metal components. The choice of the technology can be attributed to the opportunity of being able to evaluate in real time the physical prototype executed, in terms of aesthetic perception, functionality, critical issues and to what extent it meets the requirements of the end users. Specifically, the equipment consists of a Fixed Structure, Mobile Lateral Structures and Mobile Base Structure, Wheels, internal and external Containers.

The second element, pertaining to the work standing desk, therefore mainly characterised by the ICT equipment and the transmission and connection features, concerns the network supply router task and constitutes the site of information convergence and distribution, the connection of devices at the construction site and access to external systems on the Internet carrier.

The third is configured as a separate, coordinated model belonging to the charging station, which provides connections for inserting the supplies and concerns management of the electrical component for personal equipment and for smaller (< 3 kg) and larger (3/6 kg) power tools that require battery



Figure 9. The real-life model

recharging in order to operate which, as mentioned, eliminates the emission of energy via cables when in use.

Any variations necessary to optimise the functionalities could be allowed as long as they were limited to formal aspects only (Figure 10).



Figure 10. The tender-based graphic documentation

Based on the designs drawings concisely calculating the constituent elements described below was made to establish the presumed economic value of the equipment in order to determine the price to be set as the basis of the tender to identify the party to be awarded the contract.

The Fixed Steel Structure is composed of two main tubes (\varnothing 40 mm, THK 1.5 mm, length 1 m) connected by welding to a series of support elements with a length of 1.094 meters (n.1 tube \varnothing 25 mm, THK 1.2 mm; n.4 tubes \varnothing 16 mm, THK 1.2 mm, n.1 solid bar 40x4 mm).

The two main tubes are closed at the ends by circular metal plates (THK 5 mm), welded internally, drilled and threaded in the center, to guarantee the connection between the components. Four custom cuts are made in each tube to house hinges with ball bearings (3+3 welded to the fixed structure and 1+1 welded to the lateral structures) which allow their rotation.

Two steel tube frames (\varnothing 25 mm, THK 1.2 mm, length 2.04 m), with a lateral cut (115x6 mm) at the front portion that houses the hinged bracket, shaped with laser cutting (THK 5 mm), supporting the lower structure, constitute the Mobile Lateral Structures, consolidated with the contribution of four steel tubes (\varnothing 16 mm, THK 1.2 mm, length 53 mm), cut and welded to them.

The tube composing the frames is bended in a U shape to rest and be welded on the edge of a solid steel bar (25x3mm, length 1 m), forming part of the rotation hinge for closing and packaging on the fixed structure.

The Mobile Base Structure, U-shaped with cuts and welds, is made of steel tube (\varnothing 30 mm, THK 1.5 mm, length 2.40 m) with two hinges at the ends to facilitate anchoring to the bar placed at the base of the fixed structure and allow its rotation.

There are 4 swivel Wheels with braking devices, calibrated to support heavy loads and equipped with support for anchoring to the trolley.

The device is equipped with four Containers, two internals and two externals, made up of box-shaped casings in laser-cut press-formed sheet metal (1 mm thick).

The internal containers (100x59.5 cm, THK 1 mm, length 30 cm,) are internally reinforced with metal profiles, have sliding guides and house two drawers measuring 96x58 cm (with lengths of 12 cm and 18 cm respectively). They are closed on five sides, the base is in wire mesh and the front in press-formed sheet metal, boxed and shaped to create a grip handle with double thickness of sheet metal which also acts as a support for leaning on the structure.

The external containers (103 x 22 cm, length 60 cm), shaped, assembled and welded, have metal hooks that allow them to be anchored to the mobile lateral structures.

All components are finished with a sander.

With reference to the items listed above, using a suitable market survey, an estimate was made with a view to establish the cost of the materials and labor of the individual processing categories necessary to the study prototype and the final model implementation.

Based on the developed cost summary, the overall value of the model, including the structure, bodywork, crankcase, functional and electrical components for the supply and connections (IT equipment are excluded from the estimate), has been quantified, as a whole, as € 9,800.00. (Figure 11)

In accordance with the principle of rotation, the selection of the economic operators to be invited to tender was based on certain specific criteria concerning the location of the premises, their expertise and operating capacities, previous experience in the sector, possession of adequate technology and equipment and registration on the electronic market of the Public Administration.

The implementation was to be carried out in faithful compliance with the specific instructions contained in the project documents provided to the contractor, whose level of detail justified the awarding of the contract to the lowest price.

For the purpose of selecting the contractor, the bid with the largest percentage reduction on the tender amount was selected, which offered a discount of 4% for a total equivalent amount of € 9,408.00.

5. Conclusions

In an industry predominately managed by a traditional approach, the research program Smart Yard: Industry 4.0 Production Process, through the streamlining of resources, the reduction of waste and

ESTIMATE COSTS OF THE EQUIPMENT						
n.	cost items	HOURS		LABOR €/h 40,00	MATERIALS 2 models/€	AMOUNT €
		study model/h	definitive model/h			
1	Fixed steel structure. N.2 tubes (Ø 40 mm, THK 1.5 mm, h 1 m); n.1 tube (Ø 25mm, THK 1.2 mm, h 1.094 m); n.4 tubes (Ø 16mm, THK 1.2 mm, h 1.094 m); n.1 solid bar (40x4 mm, h 1.094 m). The structure is completed by 2 threaded steel bars equipped with fixing cover and n. 8 ball bearing rotation hinges. All components are cut and finished eliminating sharp parts.	16	40	2.240,00 €	166,67 €	2.406,67 €
2	Movable lateral structures. N.2 squares in steel tube (Ø 25 mm, THK 1.2 mm, h 2.04 m), cut from the front, welded onto a solid steel bar (25x3 mm, h 1 m) for packaging on the fixed structure, consolidated by 4 steel tubes (Ø 16 mm, THK 1.2 mm, h 53 mm)	10	20	1.200,00 €	83,33 €	1.283,33 €
3	Mobile base structure. N.1 U-shaped steel tube (Ø 30 mm, THK 1.5 mm, h 2.40 m) with cuts and hinges at the ends.	8	8	640,00 €	55,56 €	695,56 €
4	N.4 heavy loads wheels, swivel, with braking devices and anchoring support	2	4	240,00 €	122,22 €	362,22 €
5	N.2 internal containers, closed on 5 sides, made up of box-shaped casings in press-formed sheet metal 100x59.5 cm, THK 1 mm, h 30 cm, internally reinforced by metal profiles, equipped with grip handles, sliding guides, n. 2 drawers (96x58cm and heights 12cm and 18cm respectively) with wire mesh base and press-formed, boxed and shaped sheet metal front.	8	30	1.520,00 €	208,33 €	1.728,33 €
6	N.2 external containers, made up of box-shaped casings in press-formed sheet metal 1.03 x 2.20 m, THK 1 mm, h 6.00 m, assembled and welded, equipped with metal anchoring hooks.	6	20	1.040,00 €	402,78 €	1.442,78 €
7	Pre-treatment of metal components with degreasing, brushing and washing of surfaces. Passivating treatment with application of spray primers. Application of epoxy powder painting with the use of electrostatic guns and subsequent passage in an oven at 200 °C for paint polymerization and cross-linking.	2	14	640,00 €	347,22 €	987,22 €
8	Component finishing, cleaning, polishing and labeling	2	2	160,00 €	13,89 €	173,89 €
9	Definition, supplier research, finding and assembly of components	8	10	720,00 €	- €	720,00 €
TOTAL						€ 9.800,00

Figure 11. Cost summary

the use of more efficient and innovative devices, sought to mitigate the dysfunctions generated in the customary handling of construction site procedures.

Starting with a reasoned survey of the most representative elements, the study identified and developed demonstrators of a renewed management system that, dynamically conceiving of production through material and immaterial flows of people, products, machinery, information and decisions, uses smart work stations and devices capable of dialoguing with each other, with operators, its personal protective equipment and the site management, self-regulating when in use, communicating its status, reporting consumption and programming and recording actions for the conservation of the asset during operation.

In this interpretation of a 'cognitive construction site' the sharing of data and information is a necessary condition for an efficient production process. A model capable of monitoring and memorising the state of the artefact during commissioning allows data on the construction and the 'as built' to be transferred to the IT system that will manage its life cycle.

The running of small/medium-sized construction sites with a view to streamlining and process optimisation, a central objective of the work, is pursued by testing IT systems intended to form the technological prerequisite for the data-driven approach to their management.

In this sense, in the process of implementing the managerial structures and conventional organisational models, the effects of technological innovation in the areas of mechanisation, energy vectors, automation, information processes (ICT) and the use of distributed "intelligence" (IOT) are particularly important. Such innovations, progressively implemented over the years, make it possible to achieve process efficiencies, streamlined phases and processing economies and, more generally, the qualification of the products as well as the well-being and safety of operators.

The new instrumental and conceptual opportunities imply a significant renewal of the production processes that sets forth the operational predetermination of the work phase, control of the activities, the protection of rights and safety, and helps to mitigate the inevitable unpredictability characteristic of the sector.

Overall the work sought to outline new systemic solutions creating relational complexes, more or less formalised, that collaborate in order to achieve the reduction of construction site management costs; increased productivity during the assembly of structures; the reduction of defects caused by

misinterpretations, dysfunctions in the coordination of decisions and actions and in the management of information flows and the containment of management failures and the preparation of design, authorisation and occupational safety documentation.

The prefiguration of the managerial logistics structure of the low environmental impact construction site is embodied in the main outputs developed by the research concerning the definition of the requirements of the new management model and the development of specific products.

The technological demonstrators presented in the text are consistent with the pursuit of the stated objectives concerning the design and creation of power bank charging stations to power portable power tools and the smart workstation equipped with low-invasive sensors and wireless communication protocols capable of communicating with each other and with the outside. These are pilot examples of the testing of equipment aimed at increasing safety and digitisation at construction sites.

Specifically, in order to test its actual operating efficiency with the view to monitoring the construction process and controlling costs, the standing desk Work Station created is currently being validated at the construction site of the complete demolition and reconstruction of the Istituto Tecnico Superiore Barsanti in the Municipality of Massa (MS), a project financed with NRRP¹³ funds allocated for the construction of new highly sustainable schools.

Acknowledgments

The paper documents some of the results of the research Smart Yard: Industry 4.0 Production Process, financed with European funds under the Regional Operational Programme ERDF 2014-2020. Call for Tenders no. I: strategic research and development projects, Tuscany Region.

Bibliography

- Barone, G. (2021), *Machine learning e intelligenza artificiale - Metodologie per lo sviluppo di sistemi automatici*, Dario Flaccovio, Palermo, Italia.
- Benvenuti, A. E Brotini, P. (2016), *Gestione dei costi di cantiere*, Grafill, Palermo, Italia.
- Brunton, S. L. And Kutz, J.N. (2019), *Data-Driven Science and Engineering: Machine Learning, Dynamical Systems, and Control*, Cambridge University Press, <https://doi.org/10.1017/9781108380690>
- Carfagni, M. (2017), *Prototipazione rapida*, Coedizione Zanichelli - In riga, Bologna, Italia.
- Chua, C. K., Leong, K. F., Lim, C. S. (2010). *Rapid Prototyping: Principles and Applications*, World Scientific Publishing Company, Singapore, <https://doi.org/10.1142/6665>
- Ciribini, A.L.C. (2017), *Gli Spiriti del Sistema (delle Costruzioni)*, available at: <https://www.ingenio-web.it/articoli/gli-spiriti-del-sistema-delle-costruzioni/>, (accessed 8 January 2019).
- Ciribini, A.L.C. (2018), *Dalla Fabbrica 4.0 al Cantiere 4.0: Nuovi Modelli di Business per le Imprese di Costruzioni*, available at: <https://www.ingenio-web.it/pdfs/nuovi-modelli-di-business-per-le-impresedi-costruzioni.pdf>, (accessed 18 January 2019).
- Ciribini, A.L.C. (2019), *Il cantiere digitale*, Esculapio, Bologna, Italia.
- Ciribini, A.L.C., Ghelfi, D., Caratozzolo, G., Tagliabue, L. C., Mastrolembo Ventura, S. (2019), *BIM e cantiere digitale 4.0. Il cantiere edile e infrastrutturale tra Data Analytics e Internet of Things*, Grafill, Palermo, Italia.
- Danea Software, *Guida alla Produttività e alla Gestione del Tempo e delle Priorità*, pp.5-6, <https://www.danea.it/public/produttivita-gestione-del-tempo-guida-danea-soft.pdf>, (accessed 28 June 2022).
- De Filippo, D.G.M. (2023), *Manuale smart della sicurezza per i cantieri edili*, Maggioli, Rimini, Italia.
- Elettrotensili, <https://tuttocantiereonline.com/elettrotensili>, (accessed 9 November 2022).
- GATTO, A., IULIANO, L. (1998), *Prototipazione rapida: La tecnologia per la competizione globale*, Tecniche Nuove, Milano, Italia.

¹³ National Recovery and Resilience Plan.

- Kumar, V. and Ram, M. (2021), Predictive Analytics Modeling and Optimization, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Le professioni dell'era digitale: Machine Learning Specialist (2021), available at: <https://www.peoplechange360.it/futuro-del-lavoro/machine-learning-crea-nuove-professioni/>, (accessed 2 September 2021).
- Miranda, E. (2011) Time Boxing Planning: Buffered Moscow Rules, available at: <http://manage.techwell.com/articles/membersub/time-boxing-planning-buffered-moscow-rules>, (accessed 19 November 2021).
- Pavan, A., Mirarchi, C., Giani, M. (2017), BIM: metodi e strumenti. Progettare, costruire e gestire nell'era digitale, Tecniche Nuove, Milano, Italia.
- Savi, P. (2021), Industria 4.0 ed economia circolare: Possibili convergenze e implicazioni territoriali, in Dini, F., Martellozzo, F., Randelli, F., Romei, P. (Ed.), Oltre la globalizzazione - Feedback. Memorie Geografiche, Nuova Serie n. 19, pp. 697-702, Società di Studi Geografici, Firenze, Italia.
- Villa, W.S. (2023), Stampa 3D professionale. Design, prototipazione e produzione industriale, Tecniche Nuove, Milano, Italia.

Dispositivi per la gestione digitale del cantiere. RACK - Stazione di Ricarica e DOC - Desk Operativo di Lavoro

Alessandra Cucurnia^{1,*}

¹ Dipartimento di Architettura, Università di Firenze, Via della Mattonaia 8, 50121 Firenze, Italia; alessandra.cucurnia@unifi.it

* corresponding author

Parole chiave

Processo Edilizio,
Gestione Cantiere, Sistemi
Ricarica
, Industria 4.0

Abstract

Il contributo documenta parte dei risultati della ricerca volta a ridurre le inefficienze delle procedure di cantiere attraverso lo sviluppo di nuove modalità di gestione supportate da processi di digitalizzazione in grado di memorizzare e monitorare dati computazionali e orientarli verso precise finalità di ottimizzazione dei processi produttivi.

In particolare, costituisce obiettivo dello studio la proposizione di modelli organizzativi e di gestione delle informazioni evoluti, altamente efficienti e innovativi, che consentano un controllo maggiormente affidabile dei procedimenti nel settore delle costruzioni, mitigando l'ineludibilità delle incertezze e perseguendo, allo stesso tempo, un impiego più razionale delle risorse.

Fra i prodotti sviluppati a sostegno del programma rientrano le due attrezzature di nuova concezione con funzioni avanzate, configurabili quali esempi di sistemi di gestione del cantiere come "fabbrica intelligente" nella logica di Industria 4.0, illustrate di seguito.

Una rappresenta un sistema di ricarica performante per power bank che alimentano elettrotensili portatili mentre l'altra concerne uno standing desk di lavoro con mansione di scrivania in piedi che impiega protocolli di comunicazione wireless per dialogare con gli altri dispositivi presenti in cantiere.

1. Introduzione

Nel cantiere si attua un processo di trasformazione di materiali che converte risorse in elementi costruttivi concorrenti alla realizzazione di fabbricati e infrastrutture dove l'innovazione più attuale sperimenta e condivide strumenti e modalità esecutive tramandate nei secoli in una singolare promiscuità tecnologica, non riscontrabile in altri settori produttivi.

Nell'era circolare e digitale, dove le parole d'ordine sono aggregare, condividere e mettere in relazione, non ci si può più affidare esclusivamente a procedimenti consolidati senza pensare a nuovi assetti degli esercizi attuativi ai fini del recupero di produttività e del perseguimento di agilità e snellezza di gestione, sviluppando relazioni sempre più digitalizzate tra gli elementi che si basano su strutture numeriche, computazionali, non propriamente familiari agli operatori tradizionali del settore delle costruzioni.

In tale scenario che quindi impone una revisione delle usuali modalità di conduzione del cantiere, la ricerca *Smart Yard: Industry 4.0 Production Process*¹, cogliendo, quali fattori primari della digitalizza-

¹ 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

zione, i sistemi *Data Modeling* che sovrintendono all'*Information Modeling*, gli algoritmi delle *Predictive Analytics* e i dispositivi di semi-automazione delle decisioni, si propone di perseguire un'attualizzazione del paradigma convenzionale mediante la sperimentazione di modelli gestionali digitalizzati che, attraverso la collaborazione tra macchine, operatori, loro dispositivi di protezione personale e direzione del cantiere, consentano di monitorare e memorizzare lo stato di avanzamento dei lavori e trasferire, in fase di *commissioning*, informazioni affidabili sul modello informativo conclusivo (*As Built*) al sistema deputato alla gestione del prodotto nel proprio ciclo di vita, in un'ottica di razionalizzazione delle attività, tutela della sicurezza dei lavoratori, condivisione efficiente delle informazioni, riduzione degli sprechi e, più in generale, di qualificazione dell'intero processo produttivo.

Nel cantiere, luogo per eccellenza dove gli avvenimenti tendono a smentire sistematicamente le previsioni economiche e temporali, la necessità che si palesa è quella di impostare correttamente la scomposizione delle attività nel modello informativo. Selezionando ciò che è indispensabile, auspicabile, facoltativo e trascurabile², è possibile gerarchizzare le attività da svolgere, rispettare con maggior probabilità le scadenze che disciplinano gli obblighi e scongiurare l'applicazione dei relativi quadri sanzionatori, razionalizzando, nel contempo, il sistema attuativo.

Al fine di implementare le applicazioni di gestione dati e addivenire a prefigurare una struttura organizzativa del cantiere a basso impatto ambientale, con i connessi modelli gestionali, diventa imprescindibile individuarne le caratteristiche connotanti e le corrispondenti procedure e dotazioni minime sperimentando, tra l'altro, nuovi meccanismi di alimentazione e stazioni di lavoro intelligenti.

Tra le più note criticità che caratterizzano i cantieri edili ricorrono le tipologie di allacciamento alla rete elettrica comunemente utilizzate che costituiscono le principali determinanti di dinamiche infortunistiche causate da elettrocuzione.

Accanto a queste si annovera altresì la mancanza di un'apposita sede dove riuscire a convogliare tutte le necessarie funzioni accessorie di tipo organizzativo, logistico e sanitario, complementari alle attività specificatamente connesse con lo sviluppo delle vere e proprie lavorazioni.

Relativamente all'efficienza del processo produttivo, fondamentale è valorizzare le tecnologie e qualificare le condizioni di lavoro degli operatori. In tal senso la razionalizzazione dell'uso delle attrezzature disponibili, tradizionali ed evolute, e la definizione di nuovi dispositivi con valutazione delle connesse vocazioni in termini di adattamento e replicabilità, consente di evidenziare gli aspetti maggiormente significativi in termini di integrazione e predisporre soluzioni di dettaglio da sperimentare.

Nell'ambito degli obiettivi più generali del programma e con l'intento di suggerire quelle soluzioni di dettaglio da esplorare l'esito qui proposto si traduce nel progetto e realizzazione di due attrezzature a supporto delle operazioni di cantiere: una stazione di ricarica e un desk di lavoro con funzione di scrivania in piedi³.

La metodologia prefigurata per la realizzazione dei prodotti della ricerca fa ricorso a tecnologie di tipo *data driven* che acquisiscono i dati nel momento stesso in cui si generano e, processandoli in modalità predittiva e prescrittiva, grazie agli algoritmi di apprendimento e alle ingenti disponibilità di dati che caratterizzano le procedure di *Machine Learning*, ne aggiornano il valore in tempo reale, supportando i processi decisionali con proiezioni e ipotesi tendenzialmente sempre più precise e veritiere.

L'impiego di tali sistemi informativi assiste la messa a punto del modello di gestione intelligente del cantiere, supportato dalle tecnologie ICT, che collega in rete operatori, macchine e dispositivi ed è finalizzato a coniugare razionalizzazione delle attività, tutela della sicurezza dei lavoratori, condivisione delle informazioni e qualificazione dei processi produttivi.

Le attrezzature ipotizzate sono realizzate con componenti in lamiera verniciata in polimero⁴ stampato in prototipazione ed elementi componibili distinti per le due funzioni. Un modulo, dedicato ad assolvere le esigenze di alimentazione, contiene le postazioni di ricarica (RACK). L'altro, preposto a trasmettere informazioni e documenti e a connettere i dispositivi in rete, ospita il sistema elettronico (DOC).

² Tecnica di prioritizzazione MoSCoW.

³ I dispositivi sono stati sviluppati in collaborazione con Vincenzo Legnante e Antonio Mario Mastrangelo, unità operativa UNIFI.

⁴ Il polimero (termine derivante dal greco πολύς - polýs che significa «molto» e μέρος - mēros che significa «parte») è una macromolecola di grandi dimensioni costituita da una sequenza di unità costituenti dette monomeri.

2. Struttura e progetto dei volumi

Al fine di non incorrere nel rischio di dar luogo a oggetti anticonformisti, scomodi da metabolizzare che potrebbero sortire reazioni ostili e suscitare contrasti, insofferenze e scetticismo da parte degli stessi operatori del cantiere, propedeutica all'elaborazione dei progetti è stata l'attività di repertoriazione circostanziata delle tipologie di carrello e di postazioni di lavoro presenti sul mercato⁵.

Sulla scorta dei prodotti esaminati, sono state elaborate diverse ipotesi di carrello per approdare all'ultima soluzione che definisce il progetto e i connessi render in termini di struttura, volumi, sezioni funzionali, sicurezza e concezioni di fermo e mobilità, comune a entrambe le attrezzature, realizzata con componenti in lamiera verniciata in polimero stampato in prototipazione (Figura 1).



Figura 1. Ipotesi di carrello, propedeutiche alla determinazione dell'ultima soluzione che definisce il progetto

La prototipazione rapida è un sistema di fabbricazione additiva che impiega la stampa 3D per realizzare prodotti tridimensionali attuando un processo di conversione di file elaborati da appositi programmi di modellazione. In un'ottica di generazione di valore, il procedimento, governato dai *Data-Driven Process*, per mezzo dell'*Information Model* mette a sistema tutta la catena di fornitura superando l'esasperata frammentazione che caratterizza e penalizza il settore produttivo. Tali processi, che presuppongono capacità di condivisione -principale fattore competitivo del paradigma industriale-, sono finalizzati a operare elaborazioni previsionali e indirizzare le azioni degli operatori che i sensori traducono in termini digitali. In questa logica le entità fisiche vengono temporalmente anticipate virtualmente da un «gemello» digitale corrispondente, restituito dalla modellazione informativa, che le rappresenta in maniera analiticamente coerente dal punto di vista geometrico-dimensionale con tutte le loro proprietà caratteristiche sotto il profilo alfa-numerico.

L'alta precisione delle apparecchiature permette di eseguire componenti perfettamente funzionanti e assemblabili tra loro con consistente risparmio di materiale rispondendo allo stesso tempo alle istanze della sostenibilità. La sensibile riduzione degli sprechi, comunemente connotanti i processi produttivi, è possibile grazie a opzioni ottimizzate capaci di prevedere probabilisticamente la manifestazione di non conformità e di riscontrare criticità. Tali opzioni vengono generate per mezzo di algoritmi in collabora-

⁵Le tipologie di attrezzatura esaminate.

- Carrelli da officina: USAG RACING-513 BSV; USAG START- 516 SP10V; BETA C24SA/6; BETA C29S - 2900S; BAHCO RACING-513 BSV
- Carrelli pulizia: VERMOP Advanced plus II; FILMOP Alpha hotel; IPC CARRELLI Brix hotel maxi
- Carrelli porta cibo: MELFORM Cargo 370E eutettico; AL production Evo multi; RATIONAL production Unitray
- Carrelli ospedalieri: WEIKO Emergency cart compact; FRANCE hospital P. Smart; FRANCE hospital Persolife emergency; MALVESTIO 329501_C
- Banchi mobili da lavoro: USAG 514 B6V; BETA C30S supertank; BETA C28 maxitank; FAMI storage systems Work mobile master
- Carrelli benzinai: USAG 504 S; BETA C51; BETA C35 - 3500
- Carrelli da cantiere: BETA C22P; STANLEY Rolling Workshop; BUTTI Sicurbox; WURTH Service box pro; WURTH Toolsystem

zione con i dispositivi che governano automi, macchinari e apprestamenti sensorizzati e interconnessi e con le tecnologie immersive multisensoriali in grado di associare la simulazione delle *Performance* a quelle delle *Operation*.

La stampa 3D offre la possibilità di produrre i quantitativi strettamente necessari riducendo gli impatti connessi con gli oneri di trasporto e stoccaggio dei prodotti ed evitando emissioni inquinanti nell'ambiente. La tecnologia, non contemplando pratiche di foratura, né l'utilizzo di stampi, scardina altresì le tradizionali prassi esecutive superandone le criticità e consente la realizzazione in tempi contenuti di prototipi che possono essere revisionati e modificati in corso d'opera in ogni loro singolo aspetto, senza costi aggiuntivi, semplicemente apportando le necessarie correzioni al file digitale.

Il processo permette infatti di comprendere in tempo reale, e in specifici contesti, come i componenti possano rapidamente essere configurati, relazionati e assemblati, consentendo al prodotto di evolversi, adattarsi e assicurare prestazioni coerenti con le esigenze che ne hanno motivato la realizzazione.

Inoltre, l'impiego del polimero favorisce la gestione di tolleranze strutturali e dimensionali, garantendo parallelamente elevati standard e ampia varietà di finiture.

Congiuntamente all'attività di repertoriazione dei carrelli, in relazione al progetto della stazione di ricarica, è stata condotta un'indagine sulla gamma di utensili elettrici utilizzati nei cantieri⁶, prologo per redigere una sorta di catalogo degli strumenti necessari, contenente misure e ingombri, fondamentale per poter procedere a proporzionare gli spazi per il loro alloggiamento.

Parallelamente, con riferimento al desk operativo di cantiere, è stata effettuata un'azione di ricognizione delle varietà di dispositivi informatici e di sicurezza, di utensili manuali e di accessori⁷, finalizzata a elaborare il campionario degli oggetti con relativi caratteri connotanti, geometrie e grandezze, anche in questo caso strumentale al dimensionamento dei contenitori per la loro custodia.

Gli esiti di tali inventari sono stati successivamente restituiti in schede organizzate sulla base delle specifiche categorie esaminate, distinte in sistemi di ricarica, elettrostrumenti, apparati di protezione individuale, strumenti manuali, contenitori, dispositivi smart, che ne riferiscono modello, caratteristiche prestazionali, dati tecnici, calibro e dimensioni (Figura 2).

3. RACK: stazione di ricarica

Nella pratica edilizia, al fine di agevolare il perfezionamento di alcune fasi lavorative, in sostituzione dei tradizionali martello e scalpello manuali, hanno trovato impiego appositi utensili elettrici o ad aria compressa, di piccole/medie dimensioni e varia potenza, che, operando sui singoli componenti in situ, consentono alle maestranze di praticare tagli e fori, ridurre spessori, regolarizzare bordi e calibrare connessioni.

⁶ Le tipologie di attrezzatura esaminate.

- Avvitatori: HILTI SD 5000-A22; BOSCH GTB 12V-11; MAKITA BFS441Z; METABO SE 18 LTX 2500; DEWALT DCF620D2; MILWAUKEE M18 Fuel
- Trapani: HILTI SD 5000-A22; BOSCH GSR 18V-21; MAKITA DHP481RT3J; METABO BS 14.4 Lt Compact; MILWAUKEE DCD771C2; DEWALT M18 ONEDD2-502X
- Smerigliatrici: HILTI AG 125-A22; BOSCH GWS 12V-76 Professional; MAKITA DGA456RTJ; METABO W 18 LTX 125 Quick; DEWALT DCG405N; MILWAUKEE HD18 AG-115
- Taglio cartongesso: HILTI SJT 6-A22; BOSCH GST 12V-70 Professional; MAKITA DJV181RT1J; METABO STA 18 LTX 100; DEWALT DCS331M2; MILWAUKEE M18 FBJS-502X
- Perforatori compatti: HILTI TE 2-A22; BOSCH GBH 18 V-LI Compact; MAKITA DHR164Z; METABO BHA 36 LTX Compact; DEWALT DCH243N; MILWAUKEE M12 CH-602X
- Martelli demolitori: HILTI TE 300-A36; BOSCH GBH 18V-26 F; MAKITA DHR263ZJ; METABO KHA 36 LTX; DEWALT DCH275P2; MILWAUKEE M18 ONEDD2-502X
- Seghe circolari: HILTI SC 70W-A22; BOSCH GKS 18V-57 G; MAKITA M12 CH-602X; METABO KS 55 FS; DEWALT DC300M2; MILWAUKEE HD18 CS-402B

⁷- Dispositivi di Protezione Individuale: Cuffie antirumore; Archetto semiauricolare; Occhiali protettivi; Guanti protettivi; Maschera con visiera; Maschera Facciale monouso; Semimaschera; Kit pronto soccorso; Ginocchiere; Gilet alta visibilità; caschetto antinfortunistico; Kit imbracatura

- Utensili manuali e accessori: Tenaglie per cementisti; Mazzetta a coppia; Cazzuola da murature; Spazzola metallica; Spatola; Livella; Metro in alluminio; Plafoniera antigoccia; Rotolo carta pulizia

- Dispositivi informatici: Notebook, Tavolete Grafiche, Smartphone, Tablet, Trackpad, Macchine Fotografiche, Scanner, Router, Droni, Misuratori Laser.

Progetto SY 4.0

Smart Yard: Industry 4.0 production process

Categoria: Trapani

Alimentazione: **Batteria**

Dimensioni: **Piccole**

Marchio: METABO



231
198

Mod. BS 14.4 LT COMPACT

Caratteristiche:

- Albero con esagono cavo per inserti per avvitare, per lavorare senza mandrino;
- Motore Metabo a 4 poli, per forare e avvitare rapidamente;
- Albero con esagono cavo per inserti per avvitare, per lavorare;
- Con pratico gancio da cintura e supporto per inserti, da fissare a destra o a sinistra;
- Batterie con indicatore dell'autonomia residua;
- Tecnologia Ultra-M: massime prestazioni e carica sicura
- LED di illuminazione;

Dati tecnici:

- Voltaggio: 14.4 V;
- Dimensioni: 198x83x231 mm;
- Peso: 1.5 kg;

Marchio: DEWALT



191
219

Mod. DCD771C2

Caratteristiche:

- Mandrino autoserrante da 13mm con blocco dell'albero per un agevole sostituzione delle punte;
- 2 velocità variabili con reversibilità;
- Interruttore elettronico per il massimo controllo della velocità in ogni applicazione;
- 16 punti di frizione per avvitature in ogni tipo di materiale;
- LED di illuminazione;
- Impugnatura ergonomica;

Dati tecnici:

- Voltaggio: 18 V;
- Dimensioni: 219x191mm;
- Peso: 1.65 kg;

Marchio: MILWAUKEE



175

Mod. M18 ONEDD2-502X

Caratteristiche:

- Design estremamente compatto con soli 175 mm di lunghezza per miglior accessi spazi stretti;
- Mandrino heavy duty per maggior ritenuta degli inserti;
- Connessione tramite Bluetooth per app ONE-KEY;
- App ONE-KEY per funzioni di inventario utensili;
- Configurazione utensile per settaggio migliore;

Dati tecnici:

- Voltaggio: 18 V;
- Dimensioni: 175 mm;
- Peso: 2.1 kg;

Innovazioni:

Il sistema ONE-KEY, permette di configurare completamente gli strumenti per il lavoro da svolgere e tenere sotto controllo la condizione dell'utensile. Traccia la posizione dell'attrezzo, permette di bloccare o spegnere lo strumento da remoto in caso di furto o inutilizzo quando si trova nel raggio di azione dell'app.

Progetto SY 4.0

Smart Yard: Industry 4.0 production process

Elettronica e prodotti previsti

Tipologia: **DPI**

Cuffie antirumore

Norma EN:



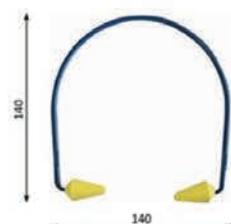
190
200

Caratteristiche:

- Design confortevole e struttura di plastica leggera;
- Archetto facilmente regolabile Archetto: Acetale;
- Modello semplice e leggero;
- Oppe auricolari spaziose;
- Archetto regolabile;
- Peso: 140 g;
- Dimensioni: 190x70x200 mm;

Archetto semiauricolare

Norma EN: 352



140
140

Caratteristiche:

- Archetto semiauricolare con capsule rotonde in morbido poliuretano;
- Disponibili tamponi di ricambio;
- Protezione prolungata per gli utilizzatori esposti al rumore;
- Dimensioni: 140x15x140 mm;

Occhiali protettivi

Norma EN: 170, 166, 172



150
160

Caratteristiche:

- Occhiali di protezione meccanica con resistenza agli impatti a bassa energia;
- Materiale della lente di sicurezza: Policarbonato;
- Protegge da raggi UV e particelle ad alta velocità a temperature estreme (molatura di metalli);
- Lo speciale trattamento antigraffio, protegge la lente dal danneggiamento causato da particelle fini;
- Ampio campo visivo: 180°;
- Nasello soffice in PVC;
- Dimensioni: 150x45x160 mm;



Progetto SY 4.0 (smart yard: Industry 4.0 production process)

Figura 2. Esempi di scheda

L'utilizzo degli elettrotensili in cantiere, tuttavia, dipende totalmente dalla disponibilità di corrente, comunemente veicolata per mezzo quadri di distribuzione portatili ai quali vengono collegate, mediante prese, matasse di cavi di rilevanti lunghezze che attraversano percorsi carrabili, tracciati aerei precari, zone dove ristagna l'acqua o luoghi dove sono ubicate bombole di gas sotto pressione.

Le menzionate tipologie di allacciamento rientrano a pieno titolo in quelle casistiche che determinano i principali rischi di elettrocuzione⁸. Spesso, infatti, chi lavora nel settore edile, per negligenza, mancata prevenzione o carenza di formazione specifica, opera in condizioni di pericolo.

L'adozione di strumenti che interferiscono con la gestione dell'energia richiede la massima prudenza presupponendo determinate cautele istruite da precise prescrizioni normative inerenti agli usi della corrente in cantiere e alla progettazione degli elettrotensili stessi.

In un'ottica di riduzione del rischio i dispositivi portatili, di consistenza massima pari a 6 kg, alimentati mediante batterie ricaricabili ad alto rendimento, rappresentano una delle più importanti opportunità in quanto operano totalmente svincolati dal punto di erogazione dell'energia. Spetta infatti agli stessi accumulatori, che forniscono corrente soltanto in fase di esercizio, garantire il fabbisogno energetico necessario. Le batterie generalmente vengono vendute in coppia, una da sistemare sullo strumento e l'altra da collocare presso preposte sedi di ricarica.

Nel merito di quest'ultime, il primo progetto proposto concerne la stazione RACK, hub funzionale e fisico per l'alimentazione di piccoli utensili (3/6 kg) con funzionamento elettrico basato sulla ricarica di *power bank*, escludendo in fase operativa la trasmissione via cavo (Figura 3).

Il sistema può essere collocato liberamente all'interno del cantiere nella posizione ritenuta più conveniente e facilmente controllabile.

La postazione, costituita da componenti in lamiera verniciata in polimero stampato in prototipazione, è dotata di idonee prese in grado di alimentare tutti gli utensili, le attrezzature e gli strumenti che si rendono temporaneamente necessari e, tramite l'ausilio di una coppia di generatori leggeri e compatti, muniti di maniglia per agevolarne il trasporto e dotati di porte USB, può altresì lavorare in totale autonomia rispetto alla rete (Figura 4).

La gestione indipendente del dispositivo è stata studiata in coordinamento con PRAMAC⁹ impiegando lo specifico *Parallel Kit*¹⁰ che, per effetto dell'abbinamento di due inverter, consente di incrementare l'intensità in uscita con un assorbimento totale che raggiunge il doppio della potenza nominale del singolo apparato. Operando in modalità *economy* il regime del motore, inoltre, si autoregola sul livello ottimale guadagnando in termini di risparmio di carburante e di riduzione del rumore (Figura 5).

4. DOC: desk operativo di cantiere

In cantiere, accanto alle pratiche specificatamente connesse con lo sviluppo delle lavorazioni, si attuano una serie funzioni accessorie, a servizio della stessa gestione operativa e necessarie a supportare le differenziate esigenze organizzative e logistiche delle maestranze che vi operano.

Tali attività di coordinamento, frequentemente e soprattutto in situazioni piccole, mobili o di emergenza, vengono eseguite adottando accomodamenti fortuiti che fanno ricorso a piani instabili precariamente appoggiati su cavalletti, soluzioni sicuramente non adeguate a svolgere operazioni quali per esempio leggere disegni, annotare appunti o elaborare schizzi.

L'impiego di notebook, tablet e telefonia ICT ha senza dubbio agevolato abbondantemente la diffusione delle informazioni tecniche, tuttavia, i problemi relativi alla custodia di documenti, autorizzazioni, piani di sicurezza, fascicoli, badge, perlopiù permangono, e alla stessa stregua delle mansioni accessorie, generalmente vengono affrontati in maniera impropria, trovando sistemazioni pressoché incerte.

Altrettanto inadeguati appaiono i presidi sanitari per l'emergenza, abitualmente ridotti alla presenza di Casette di Pronto Soccorso, oltretutto spesso neanche collocate in prossimità delle aree soggette a

⁸ Nei cantieri edili circa il 20% degli infortuni sono dovuti a cadute dall'alto in seguito a scossa, a malfunzionamento di apparecchi elettrici, a esplosioni e incendi con matrice elettrica, ecc.

⁹ PRAMAC, capofila della ricerca Smart Yard: Industry 4.0 Production Process, è un'azienda situata in, Località Il Piano, Comune di Casole d'Elsa provincia di Siena, che produce generatori e attrezzature per la movimentazione di materiali da interno.

¹⁰ <https://www.youtube.com/watch?v=BLNE81fxKpQ>

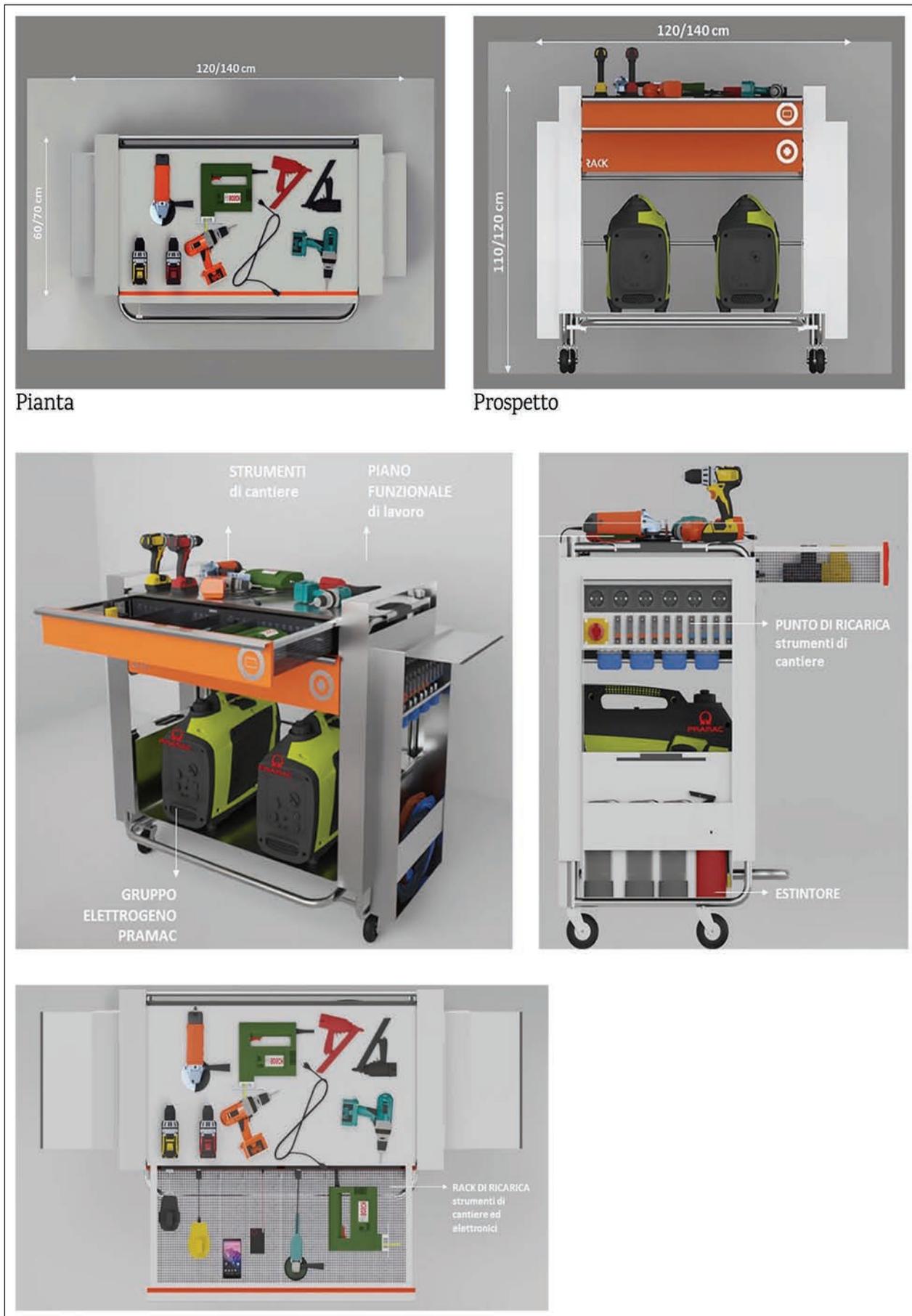


Figura 3. Progetto della stazione di ricarica RACK



Figura 4. Alcune viste della stazione di ricarica



Figura 5. Gruppo elettrogeno PRAMAC *Parallel Kit*

maggior rischio. Eppure, la normativa¹¹ stabilisce chiaramente quali sono le attrezzature minime che un cantiere, in ragione della dell'attività svolta, del numero di occupati e dei fattori di rischio, deve prevedere. Cassetta di Pronto Soccorso, o pacchetto di medicazione, facilmente individuabili e accessibili; mezzo per pronta attivazione del sistema d'emergenza del SSN; integrazione presidio interno/SSN e quant'altro occorra in conformità alla specifica contingenza¹².

¹¹ Art. 45 del D.Lgs. 81/2008; D.M. 388/2003.

¹² La consistenza delle dotazioni viene determinata sulla base di quanto stabilito dal Documento di Valutazione dei Rischi (art. 4 D. Lgs. n. 626/94; Dlgs n.81/2008) e nel registro degli infortuni che rileva le tipologie di sinistri accaduti.

Generalmente manca una sede, un punto di riferimento nel quale poter concentrare tutte queste funzioni assolvendo alle necessità organizzative, logistiche e sanitarie.

In continuità con le problematiche emerse e sulla base delle esigenze espresse si sviluppa il secondo progetto, un *desk* operativo di cantiere -DOC- di nuova concezione per la raccolta e la gestione dei dati e delle informazioni, provvisto di connessioni, *software* e *utilities*, integrato con dispositivi sanitari e di sicurezza che si compone di un'entità fisica con funzioni di alloggio e ricarica e di una sezione informatica che connette in rete rapporti e documenti e gestisce i flussi informativi e quelli decisionali con ricadute dirette sulla gestione della qualità (Figura 6).



Figura 6. Progetto del *desk* operativo di Cantiere DOC

La stazione di lavoro, ugualmente realizzata da una componente in lamiera verniciata in polimero stampato in prototipazione, è corredata da elementi componibili deputati a consentire l'accesso *wireless* per la trasmissione delle informazioni e dei documenti e la connessione in rete dei dispositivi.

Si tratta di un'attrezzatura mobile con destinazione scrivania in piedi i cui elementi costitutivi sono stati espressamente caratterizzati in relazione alle specifiche funzioni: digitale (computer, modem, rete *wireless*, scanner, stampante), elettrica (ricarica batterie, prese di corrente, quadro elettrico), di archivio (progetti, autorizzazioni, ordini, bolle, fatture, contratti, ...), funzionale (piano di lavoro e piano di appoggio), sanitaria (igienizzanti, cassetta pronto soccorso, defibrillatore, *tourniquet*, ...) e di servizio (pulizia, deposito cancelleria- utensileria - strumenti di rilievo - drone, ...) (Figura 7).

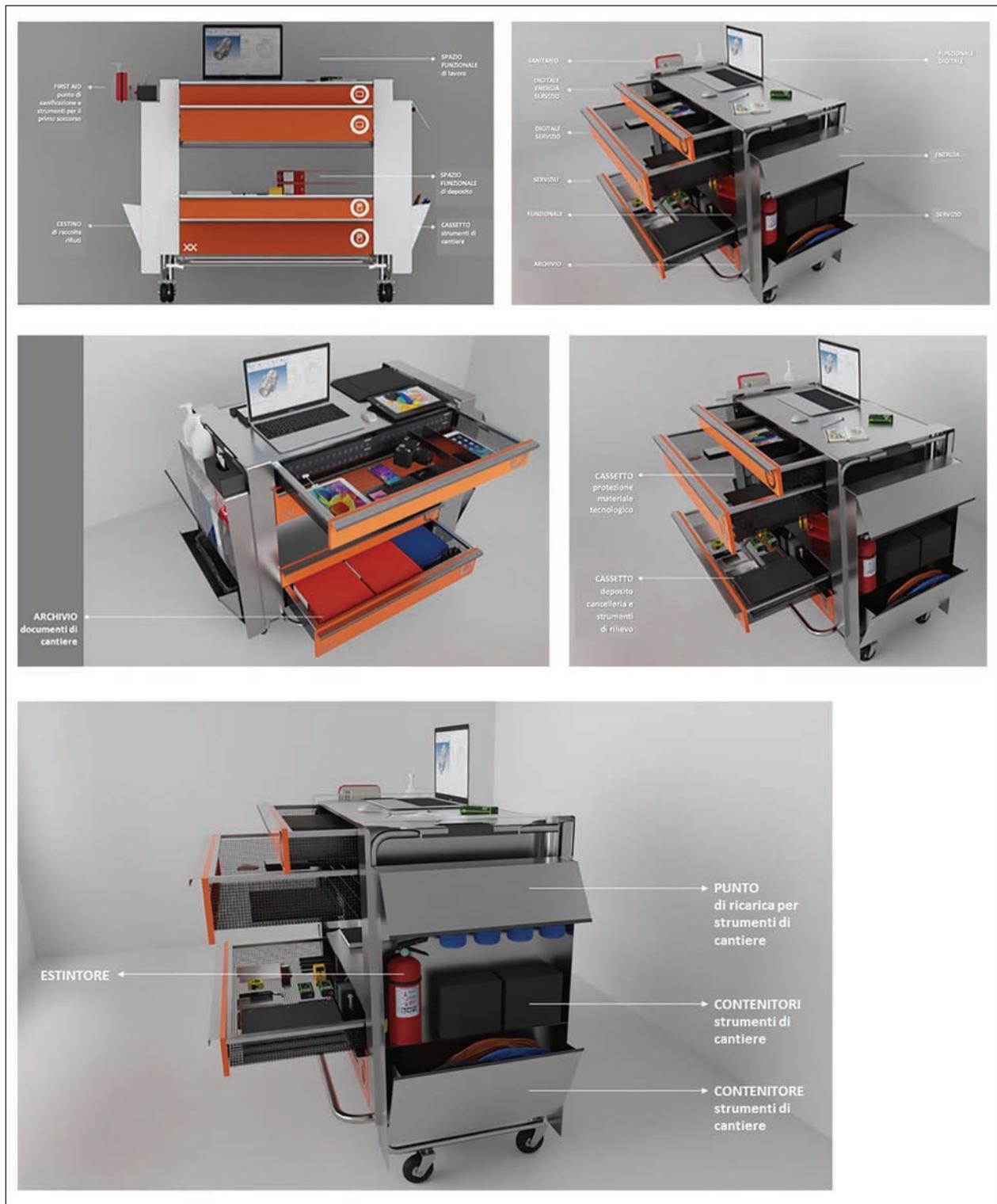


Figura 7. Le funzioni



Figura 8. Alcune viste della Work Station

Il *desk* è capace di custodire tutta la documentazione di cantiere, i presidi sanitari, i dispositivi di protezione individuale, gli strumenti per l'emergenza, le macchine fotografiche, i misuratori, le livelle, le termocamere, i droni, l'utensileria varia ma anche il materiale per la pulizia e l'igienizzazione.

A sinistra e a destra della consolle sono previsti gli spazi adibiti al ricovero dei dispositivi di sicurezza (defibrillatore, estintore, ecc.) e dei presidi sanitari per l'emergenza, dotazioni, anche per effetto della pandemia, sempre più indispensabili. (Figura 8)

DOC costituisce il punto centralizzato di integrazione che condivide *online*, in tempo reale, le informazioni con gli operatori interessati consentendo il dialogo fra gli apparati esterni comunemente in uso in ambito di cantiere, in un'ottica di monitoraggio del processo costruttivo e di controllo dei costi.

Con riferimento al sistema di gestione documentale, che si tratti di documenti statici esclusivamente da consultare, ovvero dinamici da poter corredare con annotazioni e immagini, il dispositivo, di agevole usabilità, è in grado di visualizzare in perfetta simultaneità i contenuti dei modelli informativi su *dashboard* interattiva.

Ai fini del monitoraggio del processo realizzativo, la modellazione informativa, istruita, coordinata e gestita dall'impresa, ispirandosi agli esiti scaturiti dalle negoziazioni instaurate con fornitori e subappaltatori, restituisce la virtualizzazione dei componenti che, per effetto di relazioni basate su strutture numeriche e computazionali, vengono rappresentati in tempo reale in tutte le loro caratteristiche, permettendo di visualizzarne lo stato di avanzamento e di fornire informazioni attendibili sull'*As Built* all'organismo preposto alla gestione nel ciclo di vita.

Basata su protocolli di comunicazione *wireless*, la *Work Station* supporta l'elaborazione delle informazioni da remoto, consentendo la comunicazione con i fornitori, gli uffici e fra i vari dispositivi sul vettore internet, oltre a fornire *tutorial* e istruzioni di montaggio.

La digitalizzazione, operando elaborazioni previsionali e indirizzando le azioni degli operatori che i sensori traducono in termini digitali, è in grado di mettere a sistema tutta la catena di fornitura omogeneizzando i dati e le informazioni riguardanti gli elementi costruttivi a partire dalle loro proprietà caratteristiche, oggettuali e prestazionali, fino a giungere alle modalità di posa in opera e di funzionamento nel ciclo di vita utile.

Il congegno, con accesso alle reti elettrica e informatica, è dotato di adeguato piano di lavoro e di appoggio completo di accessori e cancelleria, abbastanza spazioso per poter ospitare video, tavoletta grafica, scanner, router, strumenti per il disegno e qualunque altro apparato che collabori alla gestione digitale del cantiere.

Tramite *mobile* e *wearable device*, *tablet* e *smart phone*, connessi in tempo reale nel luogo della produzione cantieristica, sono consultabili i gemelli digitali dei componenti che consentono di rilevare eventuali non conformità e criticità in termini di sicurezza degli operatori, di correggere tempestivamente, anche *online*, la registrazione della qualità e di controllare i costi del processo costruttivo.

4.1 Il modello

Ai fini della verifica di fattibilità tecnica ed economica e anche allo scopo di validarne l'impiego con le attrezzature informatiche, di *Work Station* e Stazione di Ricarica, è stato eseguito il modello al vero (Figura 9).

Ai candidati è stata richiesta la realizzazione di un modello composto da tre elementi funzionali.

Il primo, più strettamente connesso con l'attrezzatura vera e propria, comune a entrambi i dispositivi, comprende struttura, volumi, sezioni funzionali, sicurezza e concezioni di fermo e mobilità. Si tratta di un carrello costituito da componenti in lamiera verniciata in polimero stampato in prototipazione. La scelta della tecnologia è riconducibile all'opportunità di poter valutare in tempo reale il prototipo fisico eseguito, in termini di percezione estetica, funzionalità, criticità e soddisfacimento delle esigenze degli utenti finali. Nello specifico l'attrezzatura è formata da struttura fissa; strutture mobili laterali e di base, ruote per la mobilità, contenitori interni e contenitori esterni.

Il secondo elemento, di pertinenza dello *standing desk* di lavoro, prevalentemente caratterizzato quindi dall'apparato ICT e dalle funzionalità di trasmissione e connessione, concerne la mansione *router* di fornitura rete e costituisce la sede di convergenza e distribuzione delle informazioni, di connessione dei dispositivi presenti in cantiere e di accesso ai sistemi esterni su vettore internet.



Figura 9. Il modello al vero

Il terzo si configura quale modulo coordinato distinto, appartenente alla stazione di ricarica, che prevede i collegamenti per l'innesto delle forniture e riguarda la gestione della componente elettrica per i dispositivi personali e per gli elettroutensili minori (< 3 kg) e maggiori (3/6 kg) con funzionamento basato sulla ricarica di batterie che, come detto, abolisce l'emissione di energia via cavo all'atto di impiego.

Variazioni eventualmente necessarie per ottimizzare le funzionalità, potevano essere ammesse purché limitate esclusivamente agli aspetti formali. (Figura 10)



Figura 10. La documentazione grafica a base di gara

Sulla base dei progetti sviluppati è stato effettuato un computo di massima degli elementi costitutivi, di seguito descritti, per stabilire la presunta consistenza economica delle attrezzature con il proposito di determinarne il prezzo da porre a base di gara per l'individuazione del soggetto a cui affidare l'incarico.

La struttura fissa in acciaio è composta da due tubi principali (\varnothing 40 mm, spessore 1,5 mm, altezza 1 metro) collegati a mezzo saldatura a una serie di elementi di sostegno con altezza pari a 1,094 metri (un tubo \varnothing 25 mm e spessore 1,2 mm; quattro tubi \varnothing 16 mm e spessore 1,2 mm e una barra piena di 40x4 mm).

I due tubi principali sono chiusi alle estremità impiegando lastre metalliche (spessore 5 mm) a sagoma circolare, saldate internamente, forate e filettate nel centro per garantire il collegamento fra i vari componenti. In ciascun tubo sono praticati quattro tagli a misura ai fini dell'inserimento di cerniere con cuscinetti a sfera (3+3 saldate alla struttura fissa e 1+1 saldate a quelle laterali), che consentono la rotazione delle strutture laterali mobili.

Due riquadri in tubo in acciaio (\varnothing 25 mm, spessore 1,2 mm, altezza 2,04 metri), dotati di taglio laterale (115x6 mm) praticato in corrispondenza della porzione frontale che accoglie la staffa incernierata, sagomata con taglio laser (spessore 5 mm), di sostegno alla struttura inferiore, consolidati con il contributo di quattro tubi sempre in acciaio (\varnothing 16 mm, spessore 1,2 mm, altezza 53 mm) tagliati e ad essi saldati, costituiscono le strutture laterali mobili.

Il tubo componente i riquadri è sagomato a forma di U, mediante curvatura, per attestarsi ed essere saldato sul bordo di una barra in acciaio piena (25x3mm, altezza 1 metro), formando parte della cerniera di rotazione per la chiusura e l'impacchettamento sulla struttura fissa.

La struttura di base, a forma di U con tagli e saldature, è in tubo in acciaio (\varnothing 30 mm, spessore 1,5 mm, altezza 2,40 metri) provvisto di due cerniere in corrispondenza delle estremità per favorirne l'ancoraggio alla barra disposta alla base della struttura fissa e permetterne la rotazione.

Le ruote sono 4, girevoli, calibrate per sostenere carichi pesanti e dotate di dispositivi di frenata e supporto per l'ancoraggio al carrello.

Il dispositivo è corredato da quattro contenitori, due interni e due esterni, costituiti da *carter* scapolari in lamiera (spessore 1 mm) tagliata a laser e pressopiegata.

I contenitori interni (100x59,5 cm, altezza 30 cm, spessore 1 mm), rinforzati internamente mediante profili metallici, presentano guide scorrevoli e ospitano 2 cassette di dimensioni 96x58 cm (con altezze rispettivamente di 12 cm e 18 cm). Sono chiusi su 5 lati, la base è in rete metallica e il frontale in lamiera pressopiegata, scatolata e sagomata a creare con doppio spessore una maniglia di presa che funge altresì da supporto per l'appoggio alla struttura.

I contenitori esterni (103 x 22 cm, altezza 60 cm), sagomati, assemblati e saldati, possiedono ganci in metallo che ne consentono l'ancoraggio alle strutture laterali mobili.

Tutti i componenti sono rifiniti con smerigliatrice.

Con riferimento alle voci sopra elencate, mediante opportuna indagine di mercato, sono stati stimati materiali e manodopera delle singole categorie di lavorazione necessarie per realizzare il modello di studio e quello definitivo.

Sulla base del prospetto dei costi elaborato il valore complessivo, comprendente struttura, carrozzeria, *carter*, componentistica funzionale ed elettrica per innesto fornitura e connessioni (le attrezzature informatiche sono escluse dal preventivo), è stato quantificato, a corpo, in € 9.800,00. (Figura 11)

Nel rispetto del principio di rotazione, la selezione degli operatori economici da invitare alla gara è stata effettuata in rapporto ad alcuni specifici criteri concernenti l'ubicazione della sede, le competenze e le abilità operative, le esperienze pregresse nel settore, il possesso di adeguate tecnologie e attrezzature e l'iscrizione al mercato elettronico della Pubblica Amministrazione.

La realizzazione doveva essere eseguita in fedele conformità alle specifiche istruzioni contenute nella documentazione progettuale fornita al contraente il cui livello esecutivo di dettaglio ha giustificato l'aggiudicazione dell'affidamento al minor prezzo.

Ai fini della scelta del contraente, tra le offerte acquisite è stata selezionata quella caratterizzata dal maggior ribasso percentuale sull'importo fissato a base di gara che ha proposto uno sconto pari al 4% per un ammontare totale equivalente a € 9.408,00.

STIMA DEI COSTI DELL'ATTREZZATURA						
n.	voci di costo	COMPUTO ORE		MANODOPERA €/h 40,00	MATERIALI 2 campioni/€	IMPORTO €
		modello di studio/h	modello definitivo/h			
1	Struttura fissa in acciaio, costituita da: n.2 tubi (Ø 40 mm, sp 1,5 mm, h 1 m); n.1 tubo (Ø 25 mm, sp 1,2 mm, h 1,094 m); n.4 tubi (Ø 16 mm, sp 1,2 mm, h 1,094 m); n.1 barra piena (40x4 mm, h 1,094 m). Completano la struttura 2 barre filettate in acciaio dotate di coperchio di fissaggio e n. 8 cerniere di rotazione con cuscinetti a sfera. Tutti i componenti sono rifiniti eliminando le parti taglienti	16	40	2.240,00 €	166,67 €	2.406,67 €
2	Strutture laterali mobili costituite da n.2 quadri in tubo di acciaio (Ø 25 mm, sp 1,2 mm, h 2,04 m), tagliati frontalmente, saldati su barra piena di acciaio (25x3 mm, h 1 m) per fissaggio su struttura fissa, consolidati da 4 tubi in acciaio (Ø 16 mm, sp 1,2 mm, h 53 mm)	10	20	1.200,00 €	83,33 €	1.283,33 €
3	Struttura base mobile costituita da n.1 Tubo in acciaio a U (Ø 30 mm, sp 1,5 mm, h 2,40 m) con tagli e cerniere alle estremità	8	8	640,00 €	55,56 €	695,56 €
4	NA ruote per carichi pesanti, piroettanti con dispositivi di frenatura e supporto di ancoraggio	2	4	240,00 €	122,22 €	362,22 €
5	N.2 contenitori interni, chiusi su 5 lati, costituiti da involucri scatolari in lamiera pressopiegata 100x59,5 cm, sp 1 mm, h 30 cm, rinforzati internamente da profili metallici, dotati di maniglie di presa, guide di scorrimento, n.2 cassette (96x58cm e altezze rispettivamente 12cm e 18cm) con fondo in rete metallica e frontale in lamiera pressopiegata, scatolata e sagomata	8	30	1.520,00 €	208,33 €	1.728,33 €
6	N.2 contenitori esterni, costituiti da involucri scatolari in lamiera pressopiegata 1,03 x 2,20 m, sp 1 mm, h 6,00 m, dotati di ganci metallici di ancoraggio, assemblati e saldati	6	20	1.040,00 €	402,78 €	1.442,78 €
7	Pretrattamento dei componenti metallici con sgrassaggio, spazzolatura e lavaggio delle superfici. Trattamento passivante con applicazione di primer a spruzzo. Applicazione di verniciatura a polveri epossidiche con utilizzo di pistole elettrostatiche e successivo passaggio in forno a 200°C per la polimerizzazione e reticolazione della vernice	2	14	640,00 €	347,22 €	987,22 €
8	Finitura, pulizia, lucidatura ed etichettatura dei componenti	2	2	160,00 €	13,89 €	173,89 €
9	Definizione, ricerca fornitori, reperimento e assemblaggio componenti	8	10	720,00 €	- €	720,00 €
TOTALE						€ 9.800,00

Figura 11. Prospetto riassuntivo dei costi

5. Conclusioni

In un comparto prevalentemente gestito da un approccio di tipo tradizionale la ricerca *Smart Yard: Industry 4.0 Production Process*, tramite la razionalizzazione delle risorse, la riduzione degli sprechi e l'impiego di dispositivi maggiormente efficienti e innovativi, ha inteso mitigare le disfunzioni che la consuetudinaria gestione delle procedure di cantiere genera.

A partire da una ragionata ricognizione sugli elementi maggiormente rappresentativi, lo studio ha identificato e sviluppato dimostratori di un rinnovato sistema di gestione che, concependo dinamicamente la produzione attraverso flussi, materiali e immateriali, di persone, prodotti, macchinari, informazioni e decisioni, impiega dispositivi e stazioni di lavoro intelligenti in grado di dialogare tra loro, con gli operatori, i suoi dispositivi di protezione personale e la direzione del cantiere, di autoregolarsi all'atto di impiego, di comunicare il proprio stato, riferire il consumo e di programmare e registrare le azioni per la conservazione del bene in fase di esercizio.

In tale interpretazione di 'cantiere cognitivo' la condivisione dei dati e delle informazioni costituisce condizione necessaria per l'efficientamento del processo produttivo. Un modello capace di monitorare e memorizzare lo stato del manufatto, in sede di *commissioning* consente infatti di trasferire i dati sulla realizzazione e l'*as built*' al sistema informatico che ne gestirà il ciclo di vita.

La conduzione del cantiere di medie/piccole dimensioni in ottica di razionalizzazione e ottimizzazione dei processi, obiettivo centrale del lavoro, viene perseguito attraverso la sperimentazione di sistemi informativi destinati a costituire il presupposto tecnologico dell'approccio *data-driven* alla base della sua gestione.

In tal senso, nel procedimento di attualizzazione degli assetti gestionali e dei modelli organizzativi convenzionali, particolare importanza assumono le ricadute dell'innovazione tecnologica nei comparti della meccanizzazione, dei vettori energetici, dell'automazione, dei processi per l'informazione (ICT) e dell'uso di «intelligenza» distribuita (IoT). Innovazioni, progressivamente recepite negli anni, che permettono di conseguire efficienza dei processi, razionalizzazione delle fasi ed economia delle lavorazioni e, più in generale, la qualificazione dei prodotti nonché del benessere e della sicurezza degli operatori.

Le nuove opportunità, strumentali e concettuali, implicano un rinnovamento significativo dei processi produttivi che sancisce la predeterminazione operativa delle fasi lavorative, il controllo delle attività, la tutela dei diritti e della sicurezza e contribuisce a mitigare l'inevitabile imprevedibilità che caratterizza il settore.

Tutto quanto il lavoro è stato orientato a delineare soluzioni sistemiche inedite realizzanti complessi relazionali, più o meno formalizzati, che collaborano al fine di conseguire la contrazione dei costi di conduzione del cantiere; l'incremento di produttività in fase di montaggio delle strutture; la riduzione di difetti dovuti a mal interpretazioni, a disfunzioni nel coordinamento tra decisioni e azioni e alla gestione dei flussi di informativi e il contenimento delle inadempienze gestionali e di predisposizione della documentazione progettuale, autorizzativa e in materia di sicurezza sul lavoro.

La prefigurazione della struttura logistica gestionale del cantiere a basso impatto ambientale si concretizza nei principali *output* sviluppati dalla ricerca che hanno riguardato la definizione dei requisiti del nuovo modello gestionale e la messa a punto di specifici prodotti.

Coerenti al fine del perseguimento degli obiettivi dichiarati risultano i dimostratori tecnologici presentati nel testo, concernenti la progettazione e realizzazione della stazione per la ricarica di *power bank* che alimentano elettrotensili portatili e della postazione di lavoro intelligente dotata di sensori a bassa invasività e protocolli di comunicazione *wireless* capaci di comunicare tra loro e con l'esterno, che si configurano quali esempi pilota di sperimentazione di attrezzature volte a incrementare la sicurezza e la digitalizzazione nei cantieri.

Nello specifico, ai fini di testarne la reale efficacia operativa, in un'ottica di monitoraggio del processo costruttivo e di controllo dei costi, la *Work Station* con funzione di scrivania in piedi realizzata risulta attualmente in fase di validazione presso il cantiere di demolizione integrale e ricostruzione dell'Istituto Tecnico Superiore Barsanti nel Comune di Massa (MS), intervento finanziato con i fondi PNRR¹³ stanziati per la realizzazione di nuove scuole altamente sostenibili.

Riconoscimenti

L'articolo riporta alcuni esiti della ricerca *Smart Yard: Industry 4.0 Production Process*, finanziata con fondi europei nell'ambito del Programma Operativo Regionale FESR 2014-2020. Bando n. I: Progetti Strategici di Ricerca e Sviluppo, Regione Toscana.

Bibliografia

- Barone, G. (2021), *Machine learning e intelligenza artificiale - Metodologie per lo sviluppo di sistemi automatici*, Dario Flaccovio, Palermo, Italia.
- Benvenuti, A. E Brotini, P. (2016), *Gestione dei costi di cantiere*, Grafill, Palermo, Italia.
- Brunton, S. L. And Kutz, J.N. (2019), *Data-Driven Science and Engineering: Machine Learning, Dynamical Systems, and Control*, Cambridge University Press, <https://doi.org/10.1017/9781108380690>
- Carfagni, M. (2017), *Prototipazione rapida*, Coedizione Zanichelli - In riga, Bologna, Italia.
- Chua, C. K., Leong, K. F., Lim, C. S. (2010). *Rapid Prototyping: Principles and Applications*, World Scientific Publishing Company, Singapore, <https://doi.org/10.1142/6665>
- Ciribini, A.L.C. (2017), *Gli Spiriti del Sistema (delle Costruzioni)*, disponibile presso: <https://www.ingenio-web.it/articoli/gli-spiriti-del-sistema-delle-costruzioni/>, (consultato l'8 January 2019).
- Ciribini, A.L.C. (2018), *Dalla Fabbrica 4.0 al Cantiere 4.0: Nuovi Modelli di Business per le Imprese di Costruzioni*, disponibile presso: <https://www.ingenio-web.it/pdfs/nuovi-modelli-di-business-per-le-impresedi-costruzioni.pdf>, (consultato il 18 gennaio 2019).
- Ciribini, A.L.C. (2019), *Il cantiere digitale*, Esculapio, Bologna, Italia.
- Ciribini, A.L.C., Ghelfi, D., Caratozzolo, G., Tagliabue, L. C., Mastrolembo Ventura, S. (2019), *BIM e cantiere digitale 4.0. Il cantiere edile e infrastrutturale tra Data Analytics e Internet of Things*, Grafill, Palermo, Italia.
- Danea Software, *Guida alla Produttività e alla Gestione del Tempo e delle Priorità*, pp.5-6,

¹³ Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza.

<https://www.danea.it/public/produttivita-gestione-del-tempo-guida-danea-soft.pdf>, (consultato il 28 giugno 2022).

De Filippo, D.G.M. (2023), Manuale smart della sicurezza per i cantieri edili, Maggioli, Rimini, Italia.

Elettrotensili, <https://tuttocantieronline.com/elettrotensili>, (consultato il 9 novembre 2022).

GATTO, A., IULIANO, L. (1998), Prototipazione rapida: La tecnologia per la competizione globale, Tecniche Nuove, Milano, Italia.

Kumar, V. and Ram, M. (2021), Predictive Analytics Modeling and Optimization, CRC Press, Boca Raton, Florida.

Le professioni dell'era digitale: Machine Learning Specialist (2021), disponibile presso: <https://www.peoplechange360.it/futuro-del-lavoro/machine-learning-crea-nuove-professioni/>, (consultato il 2 settembre 2021).

Miranda, E. (2011) Time Boxing Planning: Buffered Moscow Rules, available at: <http://manage.techwell.com/articles/membersub/time-boxing-planning-buffered-moscow-rules>, (consultato il 19 novembre 2021).

Pavan, A., Mirarchi, C., Giani, M. (2017), BIM: metodi e strumenti. Progettare, costruire e gestire nell'era digitale, Tecniche Nuove, Milano, Italia.

Savi, P. (2021), Industria 4.0 ed economia circolare: Possibili convergenze e implicazioni territoriali, in Dini, F., Martellozzo, F., Randelli, F., Romei, P. (Ed.), Oltre la globalizzazione - Feedback. Memorie Geografiche, Nuova Serie n. 19, pp. 697-702, Società di Studi Geografici, Firenze, Italia.

Villa, W.S. (2023), Stampa 3D professionale. Design, prototipazione e produzione industriale, Tecniche Nuove, Milano, Italia.

