

The technological innovation serving the Venetian villas and the architectural heritage: the S WindErgy wind energy production system

Livio Petriccione*, Fabio Fulchir**,
Francesco Chinellato***

keywords: electricity production, innovative system,
venetian villas, technological integration,
wind source, low environmental impact

Abstract

The aim of this article is to introduce S WindErgy, an innovative system among the available technological systems of energy production. The following topics will be examined: the methodological approach to the development of the idea, a critical analysis of the apparatus (costs, benefits, feasibility), possible future developments and various application possibilities.

The system appears as a flat and elongated stem, anchored to the ground, devoid of rotating parts, reversible and therefore removable with low environmental impact. Only with light gusts of wind, the system begins to move, converting these small oscillations into electrical energy, through permanent magnet generators.

A mathematical model was developed, allowing to carry out a series of sensitivity analyses to evaluate the parameters that can most influence the functioning and effi-

ciency of the system. The purpose was to identify possible areas of intervention to increase the overall efficiency of the system. Through this model it was also possible to make estimates of productibility in various Italian locations.

The research has also examined a technical-economic evaluation about the standard production of 20 elements and realized a study of costs/benefits ratio, as well as developed a prudential estimate of the market shares and of the sales of the S WindErgy system.

The project has already been proposed for the competition of the Venetian Villas Regional Institute and was born from the need to operate on contexts like the villas, subject to constraints, with conservative interventions of the property and with advanced technological integration, as a barrier and safeguard from degradation and/or environmental deterioration.

1. INTRODUCTION

The idea was born from the observation of the behaviour of the plants trunks. When those are subject to the wind force, they bend and curve to disperse energy in order to avoid structural damages. SWindErgy system, exactly like the plants, bends and flexes, but the energy is transformed in electricity instead of being dispersed.

The innovative system appears as a series of flat and elongated stems, anchored to the ground and without rotating parts. Only with light gusts of wind, the system begins to move, converting these small oscillations into electrical energy, through permanent magnet generators.

With this project it is possible to integrate systems of electric generation from eolic source also in urban and peri-urban areas, in particular along roads and high-traffic ways. Among the multiple applications of such advanced technology, besides the production of electric energy, it is also possible to hide and conceal areas with a compromised landscape. The system can find application in the building renovation and offer new possibilities in the design and construction of the building organisms. In particular it can be utilized in the architectural context of the "venetian vilas" which represents a significant *locus* as a building organism, safeguarded for its specific founding aspects, of constructional, functional, typological and formal nature, in which the modern needs are requiring highly innovative technologies, but responding to requirements of low-impact on the environment, easy reversibility and removability also in the respect of environmental-legislative constraints. The system establishes a significant relation with the object and the context, creating a wide variety of possibilities described in the paragraph dedicated to the examples of application.

This idea was developed within the Polytechnic Department of Engineering and Architecture at University of Udine. The SWindErgy system has already obtained two important prizes: the special prize "FrancialInnovazione", conferred by the Embassy of France in Italy on occasion of the National Prize for Innovation in 2015 (PNI 2015)" and the third prize with the project: "Villa Fulcis and Villa Braida: wind-powered barriers with fluctuating surfaces" within the competition "Technological Innovation serving Venetian Villas"¹.

2. STATE OF THE ART

The wind mills (or wind turbines or wind generators) transform with the blades the kinetic energy of the wind into mechanical rotation energy which is converted in electric energy by means of generators. For the conversion of wind

energy into rotation energy, the wind mills can exploit the lifting or resistance principles. The technologies of the mini wind mills available on the market are extremely diversified, from a technology and power point of view.

Considering the power of the wind generators, the wind systems can be classified as follows:

- eolic with a power exceeding 200 kW;
- mini-eolic with a power between 20 and 200 kW;
- micro-eolic with power lower than 20 kW.

The wind generators are nowadays object of many studies. Part of the research is aimed to increase the efficiency of the available technologies, improving the production processes, refining the components and transferring technologies from the aerospace industry. With the regards to the aero space technology, the research conducted by Wang and Gerber (Wang et al., 2014) investigates about the applications of the magnetic mechanisms of the wind turbines. Such mechanisms are not reliable and need regular maintenance. Magnetic mechanisms are more reliable, are more durable and require less maintenance, against higher construction costs.

Some researches are reported here below, regarding systems to increase the efficiency of conversion of wind generators.

With regard to the concentration systems, Grassman (Grassman et al., 2002; Grassman et al., 2003) develops and verifies experimentally a concentration system through the addition of a wing profile that enclose the wind rotor. Kosasish and Tondelli (Kosasish et al., 2012) describe a wind generator in which the rotor is placed inside the amplifier around it. In this research, the effects of the shape of the amplifier on the global efficiency are studied.

Some researches regarding innovative conversion systems have been also analyzed. In the work of Musharraf et al. (Musharraf et al., 2014) a theoretical analysis of the electric producibility of a blade connected to a pendulum has been conducted. The fluctuations of the pendulum are converted in electricity through the rotation of permanent magnets connected to the pendulum, respect to a coil. The formula describing the generation of the electromotive force by the system are obtained. The article published by Tongphong and Saimek (Tongphong et al., 2014) presents an innovative *concept* of hydrokinetic turbine inspired by the fish movement. The device is composed of one element oscillating with the action of vortex generated by the flow of a fluid acting on a cylinder.

The system Invelox (Allaei et al., 2014) describes an innovative system to generate energy from the wind. The authors of the work aim to increase the efficiency of conversion from kinetic energy to electric energy of the traditional wind generators. In particular, this system allows to eliminate the towers supporting the rotors, the complex systems of speed regulation and the systems for rotor orientation.

The project Seakers (Sea Kinetic Energy Recovery System) financed by the 7^o framework programme, has the scope to recover energy from the oscillations to which sailing

¹ Winners ing. Fabio Fulchir and the architect Livio Petriccione of the 3rd prize of the competition of ideas "Technological innovation serving the Venetian villas" launched by the Veneto Region and the Venetian Villas Regional Institute (IRVV), with the project "Villa Fulcis and Villa Braida: wind energy barriers with oscillating surfaces", 19/09/2015.

Yachts are subject. The system transforms the mechanical energy of the boats fluctuations into electric energy by means of linear generators with permanent magnets.

Borg (Borg et al., 2013) propose a system to convert into electric energy the energy dissipated by damping systems of the oscillations produced by sea waves on floating wind turbines. The study is focused on wind turbines with vertical axis combined with an energy recovery damping system. The results of the study indicate that it is possible to extract the maximum quantity of energy in case the natural frequency of vibration is the same of the floating platform.

Moreover some patents reported in the notes² have been analyzed.

3. OBJECTIVES AND METHODOLOGIES

The proposed design idea was born from the need to operate on building products, for example in villa contexts, subject to the constraint of the Superintendency, with interventions that respond to feasibility issues and satisfaction of essential requirements, but at the same time also to architectural heritage conservative needs. Technological insertion can perform as barrier functions and safeguard from degradation and / or environmental disturbance situations. The specific intervention proposed is characterized by the use of a new concept technology that exploits the natural wind resource and is of low environmental impact, reversible and movable. Its use offers a range of eco-sustainable³ events to guarantee environmental protection and architectural artefacts. In particular, it can contribute to the conservation and recovery of a building organism, as in the case of the 'Venetian villa' in its original splendor, acting as a protection against disturbances caused by industrial urbanization, cementing or by the proximity of road or railway axes that severely limit the perception of the landscape-monumental context.

The observations of scholars are welcomed, as in the case of Salvatore Settis, who observes that too often "the pro-

tection of a monumental treasure has stopped an inch beyond the fence, as if the value of that treasure was not also being inserted in a certain space" (Stella, 2012); as the message of the journalist Gian Antonio Stella who made it utmost to stimulate the attention and the love towards the historical heritage to be preserved and handed down to next generations.

The proposal is therefore linked to the high value represented by the Venetian villas system, protected by the Veneto Villas Regional Institute⁴, with the aim of defending and enhancing the contexts, improving their conditions of use and fruition. In some cases these areas are altered by the presence of superfetations built over the years; There are many situations in which industrial areas, motorways or railway tracks have changed and sometimes distorted what can be defined as an "area of interest for the architectural heritage". In the last century the urbanization and industrialization of the territories neighbouring the Venetian villas invaded and saturated the historical agricultural space. The innovative idea consists in not "damaging" the historical asset with additions, such as for example in the case of the installation of photovoltaic panels, which are often and easily extraneous to historical architecture and difficult to integrate, as well as invasive and not easily reversible. The proposed design intervention consists in inserting, in strategic points of the territory near the building organisms, mobile installations that contain an oscillating system, inspired by the motion of the plants, when subjected to the action of the wind.

The purposes of the installations can be manifold, as appropriate, to conceal areas that are strongly compromised from a landscape point of view, to highlight paths, to act as noise barriers or to support information systems for tourists. They are equipped with technological devices capable of converting the small oscillations caused by the blowing of the wind or by the movement of air generated by the passage of vehicles, railway trains, etc. in electricity produced by special dampers placed at the base of the oscillating elements.

The theoretical variables have been defined methodologically and a simulation model of the technological system has been prepared starting from the evaluation of the wind. The wind can be defined as an air mass that moves due to the atmospheric pressure differences caused by temperature differences in the various parts of the planet. These temperature differences are generated by the non-homogeneous intensity of solar radiation that reaches the various areas of the Earth. Generally the wind can move along the three dimensions from areas with high

² Patent list:

- Lahuerta, R. M. Wind turbine with compensated motor torque. US2012/0133148A1 31 05 2012. F 03D 11/02;
- Berthilsson, R. Device for converting wind energy. WO2011/084097A1 14 07 2011. IPC_F03D 5/04 (2006.01);
- Arnold, L. Fluid energy converting method and apparatus. US4.184.805 USA, 22 01 1980;
- Kolm, E. A. e Kolm, H. H. Piezoelectric fluid-electric generator. 4.387.318 USA, 07 07 1983. Int. Class H04R 17/00;
- Schmidt, V. H. Piezoelectric Wind Generator. 4.536.674 USA, 20 08 1985. Int.Cl. H01L41/08;
- Lawson, D. A. Energy Conversion apparatus. 4.476.397 USA, 09 10 1984. Int Class. F03D 5/06.

³ The material with which the SWindErgy system is made is readily available on the market and easily recyclable; its insertion in the ground is also easy to reversal, therefore, with a view to environmental eco-sustainability.

⁴ Since 1979 the Istituto Regionale Ville Venete has been involved in the cataloging, restoration and enhancement of the villas in the Veneto and Friuli regions, also with studies and research. He cataloged 4,243 buildings, of which 3,807 in Veneto and 436 in Friuli Venezia Giulia. 15% of the villas are publicly owned or by ecclesiastical entities and 85% are privately owned.



Figure 1 - Hypothesis of architectural integration of the system along the banks of the Tagus (Lisbona).

atmospheric pressure to areas with low pressure. These pressure differences, together with the earth's rotation, produce atmospheric circulation, which contains an enormous energy potential.

On a large scale, atmospheric circulation is cyclically influenced by the seasons, while on a smaller scale, there is a different heating between the mainland and the masses of water, with the consequent formation of daily breezes between sea and land (Pallabazzer, 2011). The wind and its local characteristics are strongly influenced by the profile and irregularities of the earth's surface. The wind blows with greater intensity on large and flat surfaces, strengthens on the top of the hills or in the valleys oriented parallel to the direction of the dominant wind (ABB, 2011).

Air masses moving from one area of the earth's surface to another are subjected to friction. The friction between air masses with the ground is influenced by two phenomena:

- the viscosity of the fluid: it depends on the air temperature, altitude and humidity;
- turbulence: depends on the presence of obstacles.

Approximately, beyond 500-1000 meters of altitude, the friction is not affected, while approaching the ground, the friction progressively reduces the speed, until reaching zero speed in contact with the ground. In this way a speed profile is formed which depends on the altitude and the different configurations of the terrain.

As can be seen in Figure 2, as the roughness of the ground



Figure 2 - Speed profile on different terrain configurations.

increases, the wind reaches the undisturbed speed value at higher altitudes, conversely, in flat terrain, the wind stabilizes at much lower heights, even at 60-100 meters (Pallabazzer, 2011).

The direction and speed of the wind are therefore aleatory quantities that vary over time and in relation to the characteristics of the area considered. The wind speed is also strongly influenced by the presence of roughness and the roughness of the ground. As the altitude increases, the influence of the roughness of the ground reduces their importance and the wind speed increases. In the case of complex orographies, such as those in mountainous areas or as in the case of heavily urbanized areas, for the evaluation of the wind it is necessary to resort to particularly complex and non-standardized calculation models, capable of simulating the characteristics of the air flows in the various points and at different heights.

As the shape and size of the orographic reliefs vary, the wind intensity can vary considerably. Generally, at the top of a hill, at a not too steep slope, the current lines are thickened and the wind speed increases. If there are steep slopes, the detachment of the fluid vein at the top of the hill can occur, with the consequent formation of vortices, causing a decrease in speed and inversion of the wind direction.

The installation looks like a 'series of oscillating stems' anchored to the ground, flat and elongated, with no rotating parts visible from the outside and guarantees high performance, without consumption of primary energy and without emissions into the environment.

The system is easy to adapt: the base consists of a concrete well inside which the energy conversion and generation systems are contained. Everything is "secured" by means of tie rods attached to foundation screws⁵, which are screwed to the ground without the use of mortars or cement mixes. In this way it is possible to remove the structure quickly, in full respect of the design reversibility and allowing easy reuse and relocation.

The SWindErgy technology its high adaptability to the environment and protect building structures from visually and/or acoustically disturbing situations, enhancing the property-villa. In fact, it is thought to use recyclable and easily camouflaged material in the landscape. The installation features are minimal and non-aggressive. In addition to acting as a protective barrier, the proposed solution is highly orientable and can also be used as a promotional and communication tool, providing a possible support for signage and tourist signaling, with safeguarding the monumentality of the villa, the landscape and its ecosystem.

⁵ Characteristics of the foundation screw: large self-anchoring screw fixed to the ground by means of manual or mechanized keys. One of its most important features is that it is easy to remove and reusable.

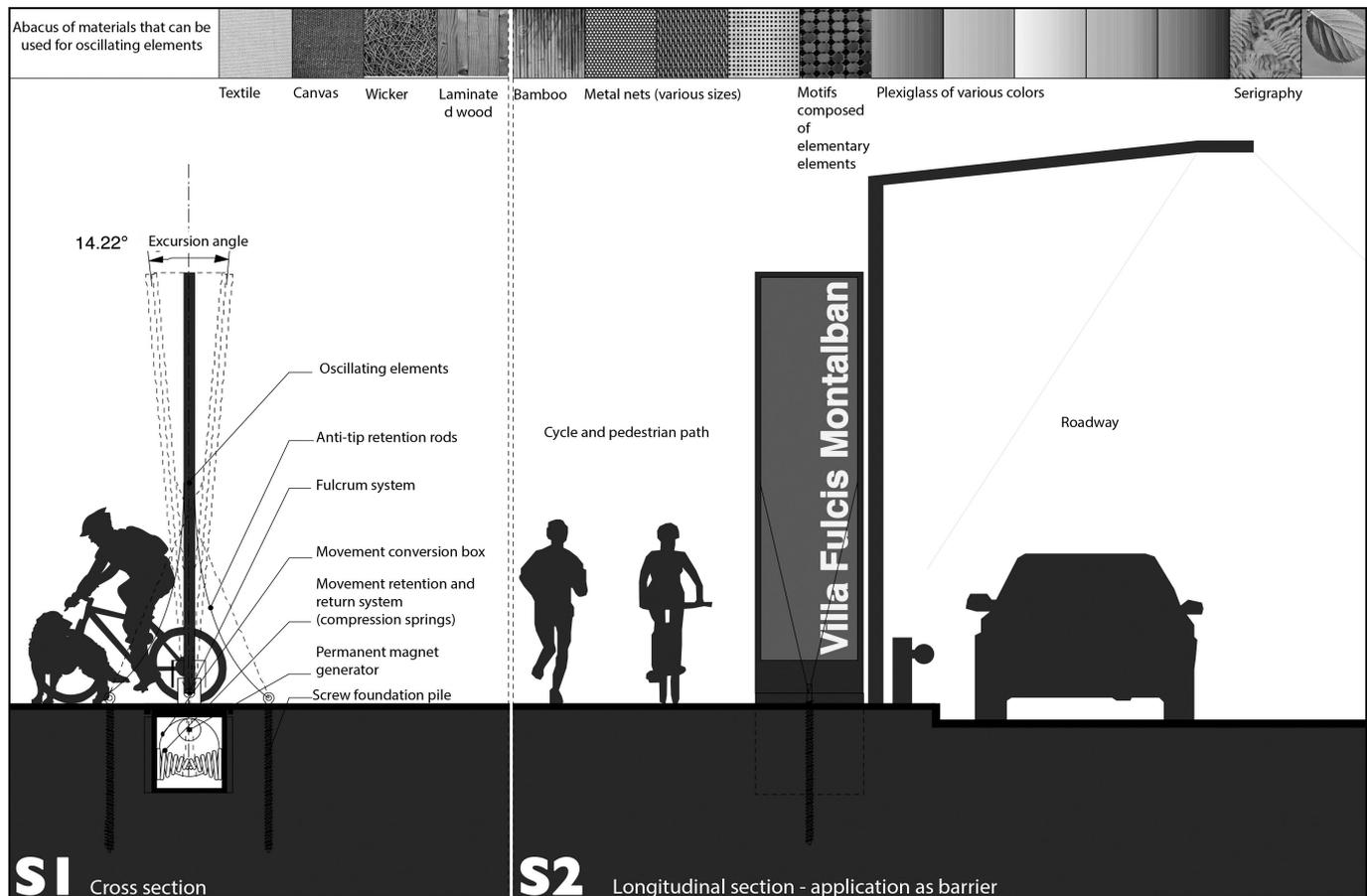


Figure 3 - System section, description of the elements that characterize it and the excursion angles. Above some examples of materials with which the oscillating panel can be made.

4. THE ELECTRIC GENERATION SYSTEM AND THE RESULTS OF NUMERICAL SIMULATIONS

In this work, a mathematical model has been developed that is able to describe and simulate the behavior of the reverse pendulum generator, with varying wind intensity and direction. The model was developed specifically for the SWindErgy system, through dynamic analysis in a turbulent regime, as the current models are suitable only for traditional generators. In this first analysis, a flat profile blade was taken into consideration, in order to simplify and reduce the amount of calculations even if, obviously, a wing profile would be preferable because it would allow significant efficiency gains.

Through the model it was possible to build power and energy generation curves, at varying wind speeds. Given the particular conformation of the generator, to make estimates of theoretical producibility as a function of the wind speed distributions, it is necessary to consider not the power curve, but a curve that considers the energy generated by the system, after a series of oscillations of a few seconds. The conversion efficiency of the system, for speeds lower than 3 m/s, is lower than 2%, but increases with increasing wind speed, reaching 14% for wind speed values higher than 10 m/s.

A series of sensitivity analyzes were also carried out, in order to evaluate the parameters that can most influence the operation and efficiency of the system according to the possible areas of intervention to increase overall efficiency. In particular, the producibility of electricity was assessed by varying the elastic constant of the spring and the damping coefficient, due to the electric current generator.

The electrical producibility of the reverse pendulum system was also compared with a Savonius-type vertical axis wind generator, considering data from a weather station located on an external wall of the "Tests and Materials" laboratory of the University of Udine. The results indicate that the theoretical electrical producibility, in the period considered, is more than 60% more than the traditional generator.

Through the mathematical model, it was also possible to make producibility estimates in various Italian locations. In the evaluations, the possible amplification effects were neglected, in the event that the natural frequency of vibration of the system is the same as the periodic wind stresses, due to turbulent regimes. Under such conditions, a considerable increase in energy production could occur.

Starting from small gusts of wind, the vertical stems begin to oscillate generating high voltages at the base of the stem: these voltages are converted into rotation, through move-

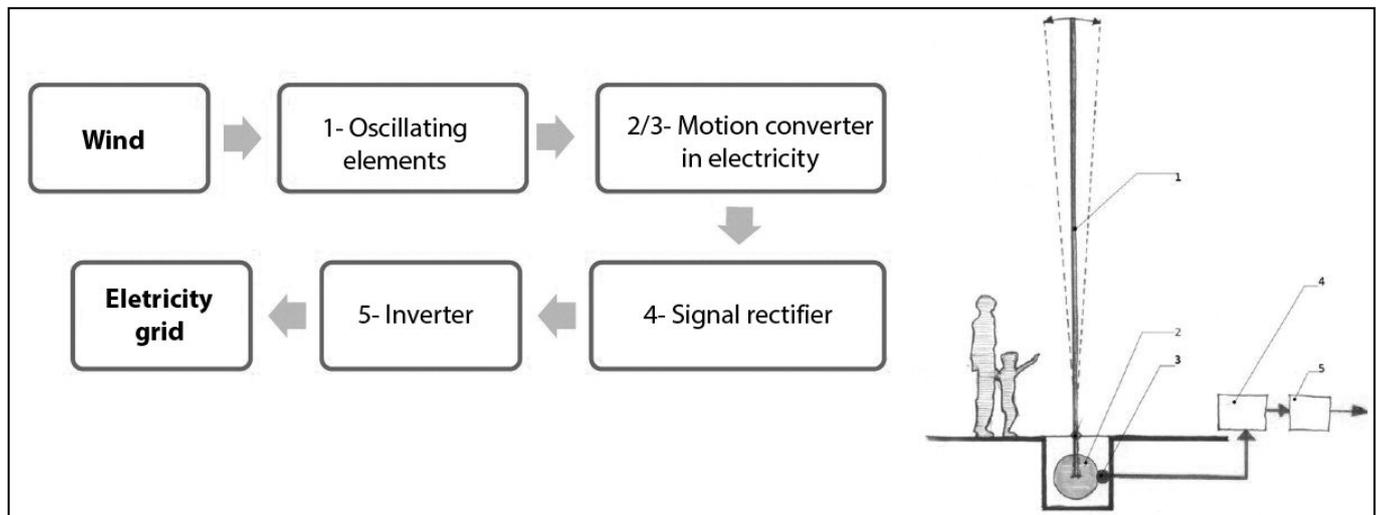


Figure 4 - Configuration of the SWindErgy system.

ment conversion systems and subsequently into electricity, using permanent magnet generators. With this system it is possible to increase the potential exploitation of wind energy, both in urban and in peri-urban areas where, due to the low intensity of the winds and the turbulent regime, it is practically impossible to exploit the wind resource using the generators currently available on the market. While allowing the system to exploit wind energy even in turbulent conditions, the system has very low conversion efficiencies.

SWindErgy is composed of the following elements:

- a series of oscillating tables, varying in shape, materials and dimensions;
- a movement retention and return system consisting of springs and tie rods;
- a motion converter combined with a permanent magnet generator;

- a signal rectifier;
- an inverter.

The following diagram illustrates the angular displacements of an element, 5 m high and 80 cm wide, caused by a 3-second pulse, for a wind speed of 3 m/s.

The electrical conversion efficiency, as can be seen from the following diagrams, increases with the wind speed almost exponentially. For low wind speeds, the conversion efficiency is very low, less than 2% in the case of speeds below 3 m/s. For wind speeds of 14 m/s, the achievable conversion efficiency is 15%. Considering a wind speed of 3 m/s, the power generated is about 1.5 W. This power increases to 191 W for a speed of 10 m/s. As the damping coefficient changes (C: from 1000 to 3000 Nm s/rad), differences in energy production are noted. In particular, there is an increase in the energy produced, for values of C lower than 2000 Nm s/rad.

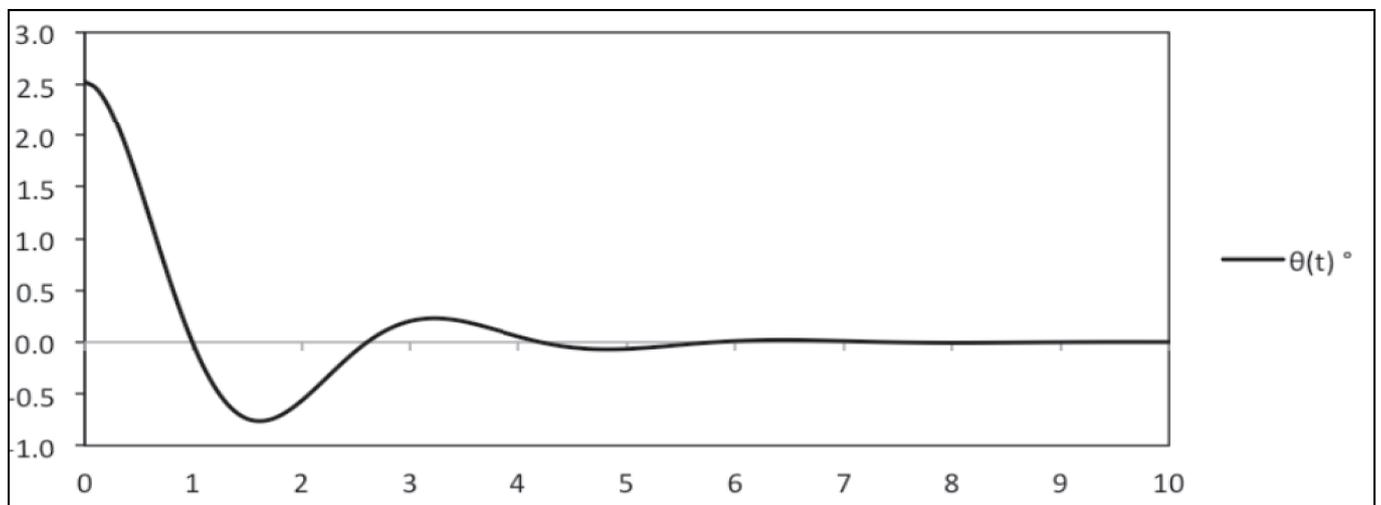


Figure 5 - Trend of the angular displacement of the blade generated by $v=3$ m/s.

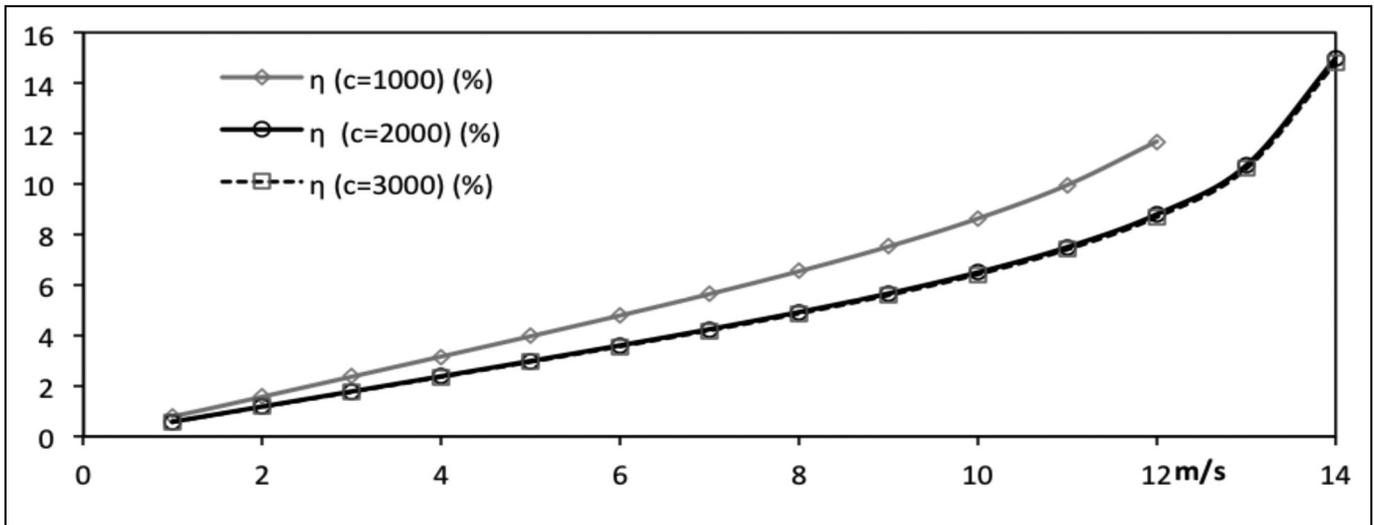


Figure 6 - Conversion efficiency trend as the wind speed changes.

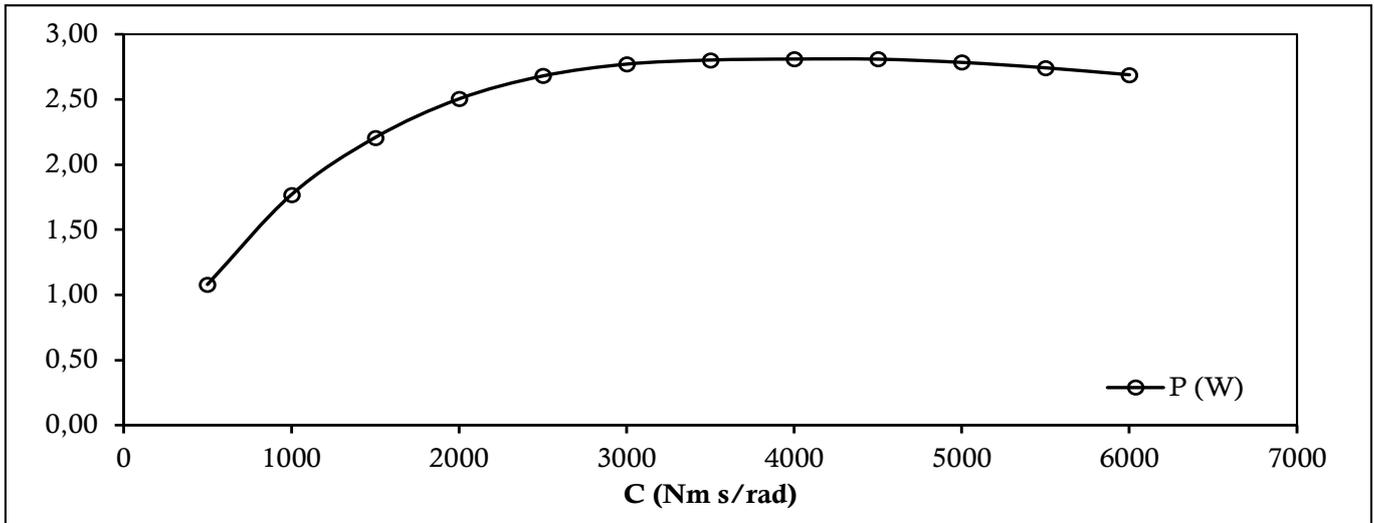


Figure 7 - Maximum power developed by an impulse generated by $v = 6$ m/s when C changes.

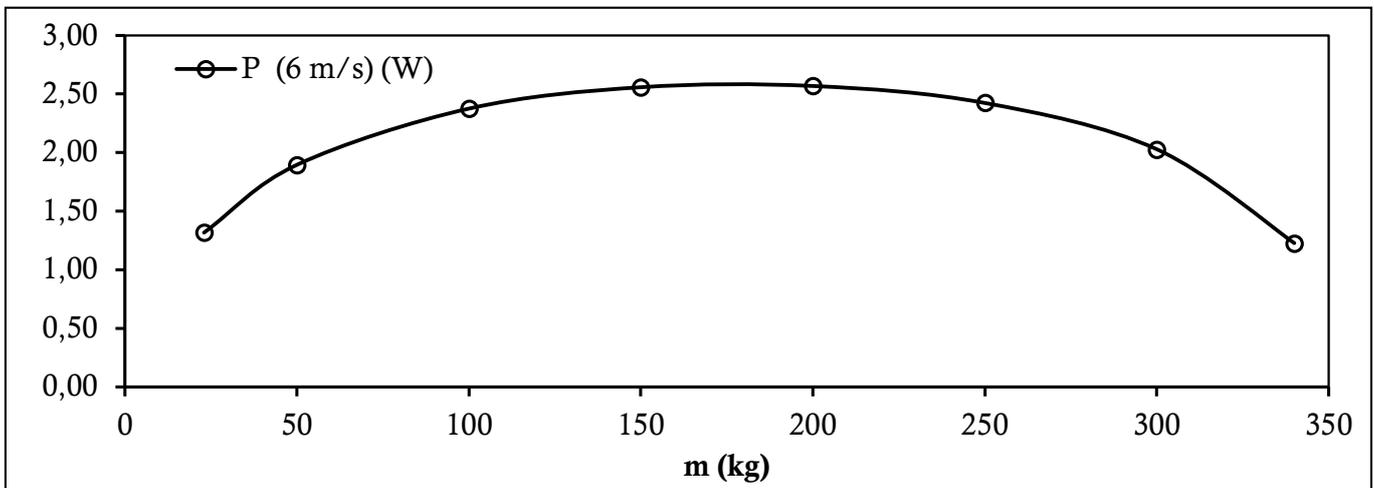


Figure 8 - Maximum power developed by impulse generated by $v = 6$ m/s as the weight changes.

The following diagrams describe the results obtained by keeping the wind speed constant (6 m/s) and the elastic constant of the spring ($k = 300 \text{ N/m}$), but by varying the damping coefficient due to the electric generator.

By varying the weight of the blade instead, with the same other parameters, at a speed of 6 m/s the maximum power, the electrical producibility and the generator efficiency vary as shown in the following graphs. The maximum peak of instantaneous power occurs for a blade weight of 180 kg, while the producible energy increases linearly with the weight of the blade.

In order to evaluate the efficiency and economic convenience of the proposed system, the annual energy production is assessed below, near the proposed intervention areas. For this the work of Ubaldo Ayr (Ayr, 2004) was used, from which the anemometric coefficients necessary for the reconstruction of the Weibull distributions were obtained. The sites where electrical production estimates were made are: Venezia Tessera, Treviso S. Angelo, Treviso Istrana, Vicenza and Bolzano. The following table lists of the Weibull parameters useful for the reconstruction of the wind speed frequency curves. In the areas under analysis, the estimate of annual production per linear meter of installation and the potential savings of electricity were assessed, considering only the "natural" winds present in the areas under analysis. From each station analyzed, the parameters of the Weibull distribution were used, which allows to determine the energy that can actually be collected by a given wind generator, when its curve of the power coefficient is known.

To know the frequency distribution of the wind speed in each location it is necessary to express it in a concise way. One of the theoretical distributions most used to approximate the real distributions of the wind speed is that of Weibull, characterized by three parameters, the shape parameter k , that of scale c and the frequency s of calm.

The system could potentially produce up to 80 kWh/year per linear meter of installation in the Venice-Tessera area. By installing the system along the road axes, it is also possible to take advantage of the air movements generated by

Table 1 - Average annual wind data for the frequency and annual energy distributions, produced per linear meter of installation (K: form factor; C: scale parameter; S: calm frequency).

	Venezia Tessera	Treviso Istrana	Treviso S. Angelo	Vicenza	Bolzano
Height (m)	6	45	18	53	241
Error %	-0,4	-11,6	-11,8	-14,7	-16,2
Average speed (m/s)	1,88	1,25	1,1	0,86	0,81
K	1,24	1,18	1,09	1,17	1,35
C	3,32	2,93	2,63	2,65	3,59
S	0,406	0,574	0,608	0,701	0,779

Table 2 - Annual energy produced per linear m of installation and potential savings if electricity is used. For the economic convenience calculations, an electricity cost of 0.20 / kWh was considered, the interest rate considered is 4.5%.

	Venezia Tessera	Treviso Istrana	Treviso S. Angelo	Vicenza	Bolzano
Energy produced (kWh/anno) per linear meter	81,6	44,0	38,3	21,4	29,8
Savings (€/anno) per linear m of inst.	16,32	8,81	7,67	4,29	5,96

the passage of vehicles. By examining, for example, a vehicle flow of 600 vehicles per hour, at an average speed of 90 km/h⁶ and assuming an installation distance of 1.5 meters

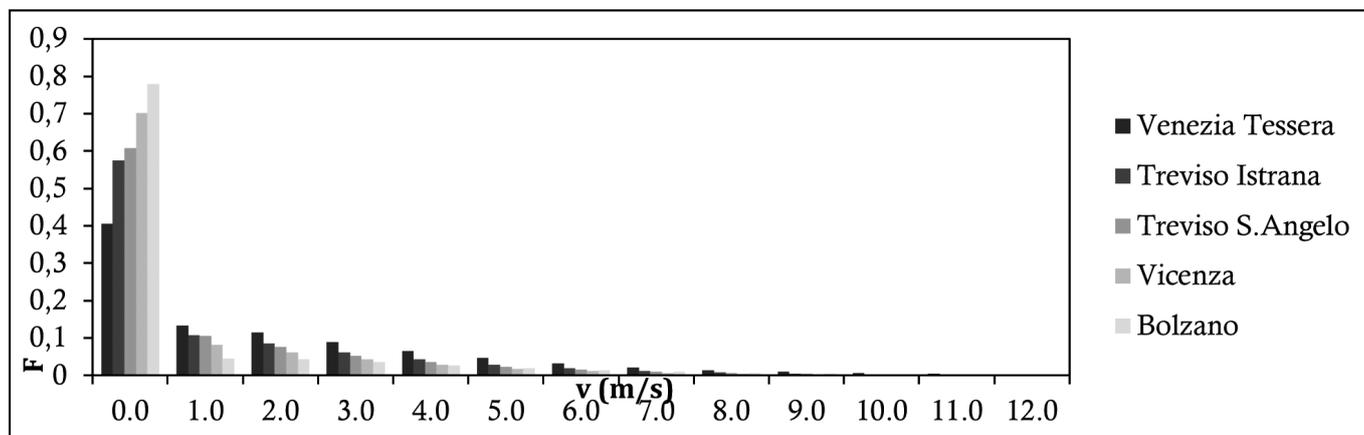


Figure 9 - Wind speeds frequency distribution in the four sites analyzed.

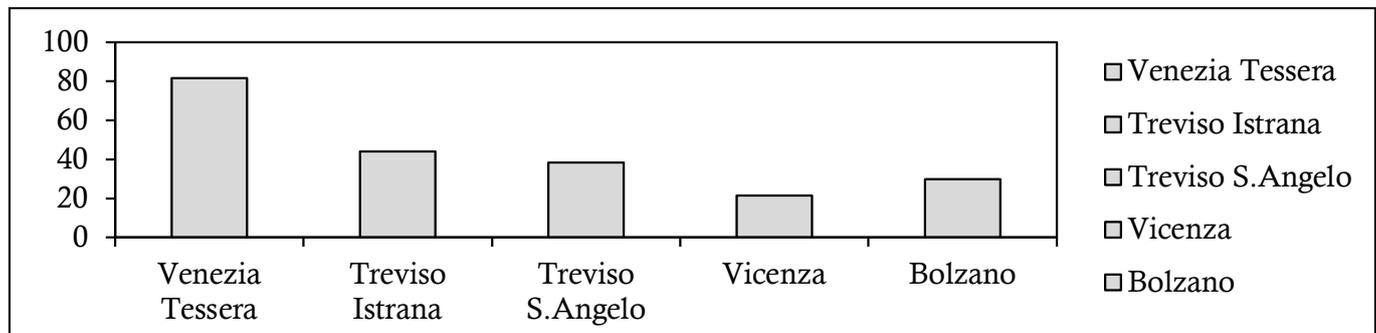


Figure 10 - Annual energy production per linear meter of installation.

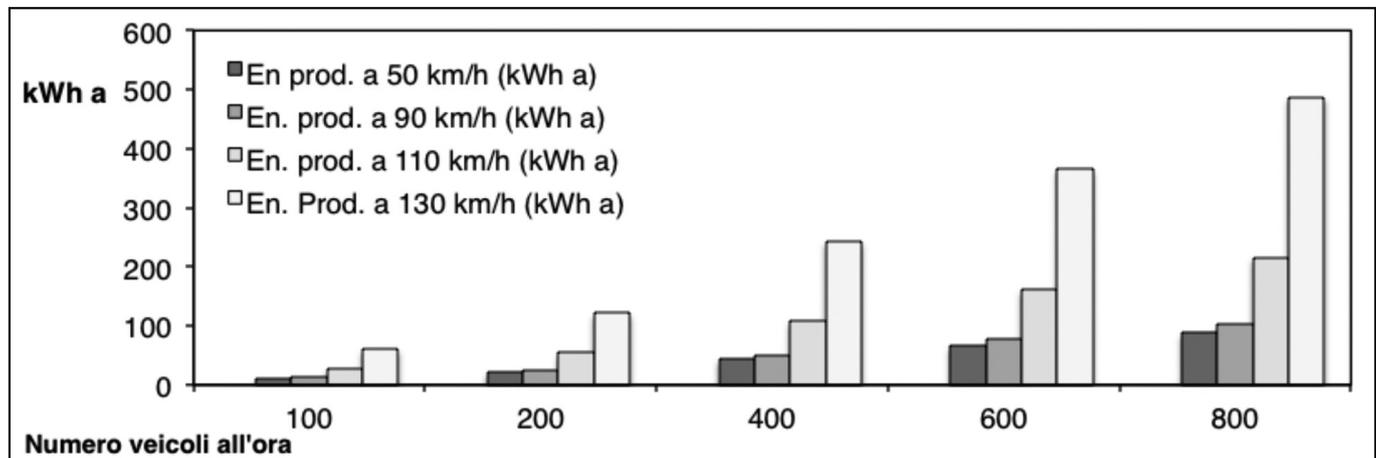


Figure 11 - Annual energy production per linear meter of installation along road axes.

from the passage of vehicles, the use of panels with dimensions is considered equal to 4x1 meters which makes it possible to produce over 350 kWh/year per linear meter of installation. The pressure values generated by the passage of vehicles were calculated with coefficients obtained from Quinna's⁷ experimental analysis.

The following diagram therefore illustrates the annual energy that can be produced for each linear meter of installation, as the average vehicle speed varies and the vehicle frequency changes.

5. ECONOMIC ASPECTS OF THE PROJECT AND COST / BENEFITS RATIO

The experimental design also considered the cost of setting up a complete mechanism for the practical application of the SWindErgy system. The technical-economic evaluation for the production hypothesis of 20 elements is shown below.

⁶ The pressure values generated by the passage of vehicles were calculated starting from the experimental analysis carried out by A.D. Quinna, C.J. Bakerb, N.G. Wrightc, Wind and vehicle induced forces on flat plates Part 2: vehicle induced force, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 89 (2001) 831-847.

⁷ Ibidem.

From the data described above, it can be deduced that the annual producibility of 1 single generator, whose calculated cost of supply and installation is 1,634.50 euro (at least 10 elements in series). Since the cost depends on the possible increase in the number of elements produced and installed, a further decrease in the unit price is considered possible. It has been calculated that the installation of a generator, which occupies only 0.5 mq of land surface, in fast-moving roads can produce up to 500 kWh/a. The SWindErgy system was evaluated in comparison with the photovoltaic system and it resulted that, to produce the same amount of energy per year, at least 4 mq of territorial surface would be needed for the installation; in addition, the foreseeable cost of a panel would be around 800 euros to which should be added the installation costs with high architectural integration (scaffolding, insulation, removal of the roof tiles, etc.), in particular in the contexts safeguard by the Superintendence. Furthermore, the difficult integration between the photovoltaic panels and the historical building cannot be assessed economically. Conceptually, the energy production parameters, which however can be considered of interesting relevance, do not constitute the fundamental element for the choice of the SWindErgy system which instead finds significant justification in the added value offered by the possibility of conservative insertion. In particular in the context of the building of architectural value, in its defense as a barrier from degradation and with artistic installation

Table 3 - Technical and economic evaluation for the production of 20 elements.

			n	Tot
Structure	Foundation pit + anchoring system	350,00	20	7.000,00
	Steel frame	350,00	20	7.000,00
	Hinges and bearings	45,00	20	900,00
	Outdoor towel	165,00	20	3.300,00
Retention system	Spring	35,00	20	700,00
	Fasteners	15,00	20	300,00
Mechanical-generator system	Reducer group	140,00	20	2.800,00
	Generator	350,00	20	7.000,00
	Support for generator	60,00	20	1.200,00
	Electrical box	80,00	1	80,00
Electrical elements	Wirings and connections	50,00	1	50,00
	Current rectifier	88,00	20	1.760,00
	Inverter	300,00	1	600,00
Total				€ 32.690,00
Cost of each item:				€ 1.634,50

functions, not guaranteed in the cases of wind systems or serial photovoltaic panels. The vertical elements of the SWindErgy system can also act as a barrier for situations of noise disturbance, a function that can also be improved based on the choice of the covering material of the oscillating panel. For these reasons, the proposed solution appears to be cutting edge in the building-plant integration.

6. INSTALLATION EXAMPLES

Two cases hypothesized⁸ for the insertion of the SWindErgy system are illustrated below: villa Fulcis, Montalban⁹ and villa Braida, Cutrone, Mastea, Ancillotto¹⁰. The two cases have in common the opportunity for insertion not only in the area of relevance of the villa, but also the possible extension of the intervention to the surrounding industrialized territory. With variable installation forms, it is considered possible to “cover” what is visually disturbing for the his-

torical environmental context. In both cases, the application and the technological installation respond to the characteristic of complete and easy reversibility. The panels can be made with different types of coating material, which make them variously camouflaged in the environment; or, on the contrary, they can perform the function of support for touristic billboard.

The location along the road axes (highway and state) of the place in question would allow, in relation to the technical characteristics of the element proposed, greater energy production thanks to the movement of air created by the vehicles in transit, which would be added to the natural motion windy.

The case of villa Fulcis is an emblematic example for the application of the design idea, summarizing various landscape problems that recur also in other contexts of the Venetian villa. The villa dating from the period between the end of XVI century and the first half of the XVII century, is currently negatively involve by the existence of the new communication routes (between Belluno and Ponte nelle Alpi) and it's “enclosed” between the railway line from the north and the highway from the south. Along this route of the highway, industrial areas have also developed which are adjacent to the historical area pertaining to the villa.

The proposed installation tends to enhance the use of technological elements in a twofold function: that of protecting the villa from the industrial area and that of use for tourism promotion purposes of the villa, for those traveling along the main road to the south (Proposal B-Figure 10). Another hypothesis could be the use of stems as a visual and acoustic protection barrier from the railway line. It has been calculated that with 1.200 meters of installation the average annual energy production would consist of 216.000 kWh/a.

⁸ The two case studies refer to the project submitted to the ideas competition of the Venetian Villas Regional Institute, as described in note 1.

⁹ Geographical location: Comune Belluno (BL) – VENETO. Address: Via Saiforze, 140 - 32100 Belluno (BL). Restriction: L. 1089/1939. Cadastre Municipality: Belluno - Foglio: 32/1951 - Particelle: 89, 90, 91, 92, 260, 279.

¹⁰ Geographical location: Mogliano Veneto (TV) – VENETO. Address: Via Bonisiolo, 16d - Mogliano Veneto (TV). Restriction: L. 1089/1939. Cadastre Municipality: Mogliano Veneto - Foglio: 14 - Particelle: 46



Figure 12 - Villa Fulcis, Belluno. Example of masking and signaling.

The case of Villa Braida in Mogliano Veneto also offers interesting possibilities for inserting the SWindErgy system. The villa dating back to the XIX century, is located near the town of Zeman in Mogliano Veneto and is positioned close the A27 motorway route (with the motorway exit). Recently in the east, industrial areas and a hotel complex have developed, also built close to another historic building called "Villa Bonfadini, Gris, Bolzonello". Also in this case, the design hypothesis provides the use of technological elements with a dual function: protecting the villa context from the situations of degradation and environmental disturbance represented by industrial areas, infrastructures and surrounding urbanizations and the possibility of use for tourism promotion for people arrive in the villa from the main road. The second possibility of insertion (Proposal D-Figure 11) provides for the use of the oscillating elements as visual protection of the monumental context of Villa Braida and contextually as an acoustic barrier from the highway. It has been calculated that with 1.300 meters of installation, the average annual energy production would consist of 234.000 kWh/a.

7. CONCLUSIONS AND FUTURE DEVELOPMENTS

This contribution analyzes the proposed installation of the SWindErgy system in the context of Venetian villas and aims to represent the first phase of the development process of a new technological and innovative product that is currently not present on the market. The SWindErgy system is currently under development and still consists of the assembly of a series of components already on the market and fully tested. The results of the research carried out gave encouraging results since, through the sensitivity analyzes carried out, it was possible to evaluate which components of the system show margins for improvement. The possible areas of intervention are: the adjustment of the elastic constant of the spring, the adjustment of the damping coefficient of the electric generator, the variation of the blade moment of inertia, the balancing of the system and of the blade profile. In particular, by acting on these components it is possible to significantly increase the overall efficiency of the system.

D

State of fact

**D**

Proposal



Figure 13 - Villa Braida, Mogliano Veneto. Example of masking and signaling.

It is also believed that the possible installation of the system in a context with very low wind production, such as the Venetian Villas area, makes economic sense only if it is used to perform more than one function, as assumed in this work.

The places of installation of the system, from the point of view of energy production, are the coastal areas and the edges of high-flow roads, characterized by frequent movements of air generated by the passage of vehicles.

Possible future developments consist in:

- Design, construction and installation of a prototype in order to compare the real behavior with respect to the mathematical model and obtain the damping coefficients after an adequate monitoring period.

- Aerodynamic analysis and optimization of the oscillating blade in order to increase the overall efficiency of the system.
- Analysis of the amplification effects due to resonance phenomena and development of a model to predict and calculate these frequencies.
- Analysis of vibrations induced on buildings by the system and structural analysis of the system.
- Optimization of the linear electric current generator.

In conclusion, the SWindErgy system, in providing the performance described, guarantees an interesting series of advantages: absence of mechanical parts subject to heavy wear and therefore very low maintenance costs; good performance of the machine, as the rectilinear motion isn't

transformed into a rotary motion by mechanical organs before operating the generator, but is directly used by the permanent magnet linear generator; possibility of being leaned against existing buildings, to act at the same time as a facade cladding and as a wind generator, it's suitable for exploiting the wind in turbulent conditions.

Thus the structure and installation costs are reduced; the

system is capable to using the pressures and depressions generated by the passage of vehicles in the motorway sector, a capacity that makes it unique and perfectly interchangeable with current motorway barriers. Furthermore, all the components are potentially recyclable and the panel can also be made with recycled materials, with the added value of low environmental impact, certain removability and cost-effectiveness.

* **Livio Petriccione**, Ph.D. architect, University of Udine, Italy,
e-mail: livio.petriccione@uniud.it

** **Fabio Fulchir**, Ph.D. engineer, University of Udine, Italy,
e-mail: fabiofulchir@libero.it

*** **Francesco Chinellato**, Associate Professor, University of Udine, Italy,
e-mail: francesco.chinellato@uniud.it

Bibliography

ABB. *Quaderni di applicazione tecnica n. 13*, Bergamo: ABB, 2011.

ALLAEI D. E ANDREOPOULOS, Y. *INVELOX: Description of a new concept in wind power and its performance evaluation*, Energy. 2014, 69.

ARNOLD L., *Fluid energy converting method and apparatus*, US4.184.805 USA, 22 01 1980.

AYR U., *Analisi energetica della risorsa eolica in Italia*, Politecnico di Bari, Dipartimento di Fisica tecnica, Bari, 2004.

BERTILSSON R., *Device for converting wind energy*, WO2011/084097A1 14 07 2011. IPC_F03D 5/04 (2006.01).

BET H. E GRASSMANN H., *Upgrading conventional wind turbines*, Renewable Energy. 2002, Vol. 28.

BORG M., COLLU M. E BRENNAN F. P., *Use of a wave energy converter as a motion suppression device for floating wind turbines*, 2013, 35.

GRASSMANN H. ET AL., *6 A partially static turbine-first experimental results*, F. Bet, G. Cabras, M. Ceschia, D. Cobai, 2003, Vol. 45.

KOLM E. A. E KOLM H. H., *Piezoelectric fluid-electric generator*, 4.387.318 USA, 07 07 1983. Int. Class H04R 17/00.

LAHUERTA R. M., *Wind turbine with compensated motor tor-*

que. US2012/0133148A1 31 05 2012. F 03D 11/02.

LAWSON D. A., *Energy Conversion apparatus*, 4.476.397 USA, 09 10 1984. Int Class. F03D 5/06.

MUSHARRAF M., KHAN I. U. E KHAN N., *Design of an Oscillating Coil Pendulum Energy Generating System*, Procedia Computer Science. 2014, 32

PALLABAZZER R., *Sistemi di conversione eolica*, Milano: Hoepli, 2011.

QUINNA A., BAKERB C. J. & WRIGHTC N. G., *Wind and vehicle induced forces on flat plates Part 2: vehicle induced force*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2001, 831-847.

SETTIS S., *Paesaggio Costituzione Cemento. La battaglia per l'ambiente contro il degrado civile*, Einaudi, Torino, 2012.

SCHMIDT V. H., *Piezoelectric Wind Generator*, 4.536.674 USA, 20 08 1985. Int.Cl. H01L41/08.

STELLA G., *L'assedio alle ville venete. I gioielli sotto il cemento*, Corriere della Sera, 30 dicembre 2012.

TONGPONG, WATCHARA E SAIMEK, Saroj. *The design and development of an oscillating water turbine*, Energy Procedia. 2014, 52.

WANG R. E GERBER S., *Megnetically geared wind generator technologies: opportunities and challenges*, Applied Energy. 2014.

Innovazione tecnologica a servizio delle ville venete e del patrimonio architettonico: il sistema di produzione di energia elettrica da fonte eolica S WindErgy

Livio Petriccione*, Fabio Fulchir**,
Francesco Chinellato***

parole chiave: produzione energia elettrica, sistema innovativo, ville venete, inserimento tecnologico, fonte eolica, basso impatto ambientale.

Abstract

L'articolo presenta un sistema innovativo denominato S WindErgy nell'attuale dei sistemi tecnologici di produzione energetica. Verrà esaminato: l'approccio metodologico allo sviluppo dell'idea, un'analisi critica dell'apparato (costi, benefici, attuabilità), i possibili sviluppi futuri e le varie possibilità di applicazione.

Il sistema appare come uno stelo di forma piatta e allungata, ancorato al terreno, privo di parti rotanti, reversibile e amovibile quindi a basso impatto ambientale. Già a partire da leggeri soffi di vento il sistema comincia a muoversi, convertendo queste piccole oscillazioni in energia elettrica, attraverso generatori a magneti permanenti.

È stato elaborato un modello matematico che ha consentito di effettuare una serie di analisi di sensitività, per valutare i parametri che maggiormente possano influenzare il funzionamento e l'efficienza del sistema. Questo al fine di individuare le possibili aree di intervento per incrementare l'efficienza globale del sistema. Attraverso

tale modello è stato inoltre possibile effettuare delle stime di producibilità in diverse località italiane.

La ricerca ha anche approfondito una valutazione tecnico-economica sulla produzione tipo di 20 elementi ed elaborato un dettaglio di rapporto costi/benefici, nonché sviluppato una stima prudenziale delle quote di mercato e di vendite del sistema S WindErgy.

Il progetto è già stato oggetto di proposta per il concorso dell'Istituto Regionale Ville Venete ed è scaturito dall'esigenza di operare su contesti di villa, sottoposti a vincolo, con interventi conservativi del bene e con inserimento tecnologico avanzato, a barriera e a salvaguardia da situazioni di degrado e/o di disturbo ambientale.

Attraverso un modello matematico, validato da dati sperimentali, è stata effettuata una stima della producibilità di energia annua in vari contesti e in differenti località italiane.

1. INTRODUZIONE

L'idea è nata dall'osservazione del comportamento dei fusti delle piante. Quando queste sono sottoposte all'azione del vento, al fine di non subire danni strutturali, si flettono e si incurvano per dissipare energia. Il sistema SWindErgy, proprio come le piante, si flette e si incurva, ma l'energia invece di essere dissipata, viene trasformata in energia elettrica.

L'innovativo sistema appare come una serie di steli di forma piatta e allungata, ancorati al terreno e senza parti rotanti. A partire da piccoli soffi di vento il sistema comincia a muoversi e le piccole oscillazioni vengono convertite in energia elettrica attraverso un generatore a magneti permanenti.

Con questo progetto si vuole rendere possibile l'integrazione di sistemi di generazione elettrica da fonte eolica anche in zone urbane e periurbane, in particolare lungo assi viari e strade a scorrimento veloce. Fra le molteplici applicazioni di tale tecnologia avanzata, oltre che la produzione di energia elettrica, figura anche la possibilità di occultare e mimetizzare zone fortemente compromesse dal punto di vista paesaggistico. Il sistema può sia trovare applicazione nell'ambito del recupero edilizio sia offrire nuove possibilità innovative nella progettazione e costruzione degli organismi edilizi. In particolare può trovare collocazione nel contesto architettonico costituito dal "complesso di villa veneta" che rappresenta un *locus* di particolare significatività come organismo edilizio tutelato per gli specifici aspetti fondativi, di natura costruttiva, funzionale, tipologica e formale in cui le moderne esigenze necessitano di applicazioni tecnologiche fortemente innovative, ma rispondenti a requisiti di basso impatto ambientale, facile reversibilità e amovibilità anche nel rispetto dei vincoli ambientali-legislativi. Il sistema instaura un significativo rapporto con il manufatto e il contesto, consentendo un ampio ventaglio di possibilità descritte nel paragrafo dedicato agli esempi di applicazione.

Questa idea è scaturita all'interno del Dipartimento Politecnico di Ingegneria e Architettura (DPIA) dell'Università degli Studi di Udine. Il Sistema SWindErgy ha già ottenuto due importanti riconoscimenti: il Premio speciale FranciaInnovazione, attribuito dall'Ambasciata di Francia in Italia nell'ambito del Premio Nazionale per l'Innovazione 2015 (PNI 2015) e ha vinto il terzo premio con il progetto: "Villa Fulcis e Villa Braida: barriere a energia eolica con superfici oscillanti" del concorso di idee sull'"Innovazione tecnologica al servizio delle ville venete"¹.

¹ Vincitori l'ing. Fabio Fulchir e l'arch. Livio Petriccione del 3° premio del concorso di idee "Innovazione tecnologica al servizio delle ville venete" bandito da Regione Veneto e Istituto Regionale Ville Venete (IRVV), con il progetto "Villa Fulcis e villa Braida: barriere a energia eolica con superfici oscillanti", 19 settembre 2015.

2. STATO DELL'ARTE

I generatori eolici (o turbine eoliche o aerogeneratori) trasformano attraverso le pale l'energia cinetica posseduta dal vento in energia meccanica di rotazione che a sua volta viene convertita in energia elettrica attraverso dei generatori. Per convertire in rotazione la forza generata dal vento, le turbine eoliche possono sfruttare il principio della portanza o il principio della resistenza. Le tecnologie delle turbine mini-eoliche disponibili sul mercato sono estremamente diversificate, sia dal punto di vista della tecnologia adottata che dal punto di vista della potenza.

Considerando la potenza degli aerogeneratori, gli impianti eolici si possono classificare nei seguenti modi:

- eolici per potenze superiori a 200 kW;
- mini-eolici per potenze comprese fra 20 e 200 kW;
- micro-eolici per potenze inferiori ai 20 kW.

Una parte dell'attuale ricerca è stata fatta a molta ricerca viene attualmente effettuata nell'ambito dei sistemi di generazione eolica. Una parte della ricerca è volta ad incrementare l'efficienza delle attuali tecnologie, migliorandone i processi di produzione, affinando le varie componenti dei sistemi e trasferendovi tecnologie dal settore aerospaziale. Per quel che riguarda quest'ultimo aspetto la ricerca effettuata da Wang e Gerber (Wang et al., 2014) investiga sulle applicazioni degli ingranaggi di tipo magnetico nelle turbine eoliche. Gli ingranaggi meccanici utilizzati nelle applicazioni eoliche generalmente soffrono di problemi di affidabilità e necessitano di una regolare manutenzione. Ingranaggi di tipo magnetico, a fronte di elevati costi di costruzione, garantiscono una più elevata affidabilità, minori oneri di manutenzione e maggiore durata.

Di seguito vengono riportate alcune ricerche riguardanti sistemi per incrementare l'efficienza di conversione dei generatori eolici.

Nell'ambito dei sistemi a concentrazione, Grassman (Grassman et al., 2002; Grassman et al., 2003) sviluppa e verifica sperimentalmente un sistema a concentrazione mediante aggiunta di una corona a profilo alare che circonda il rotore eolico. Kosasish e Tondelli (Kosasish et al., 2012) descrivono un generatore eolico in cui il rotore è posto all'interno di un diffusore che lo avvolge. In questa ricerca vengono studiati gli effetti della forma del diffusore sull'efficienza globale del sistema.

Sono state analizzate anche ricerche inerenti sistemi di conversione eolica di tipo innovativo. Nel lavoro di Musharraf et al. (Musharraf et al., 2014) viene condotta una analisi teorica della producibilità elettrica di una paletta collegata ad un pendolo. Le oscillazioni del pendolo vengono convertite in energia elettrica attraverso la rotazione di magneti permanenti solidali al pendolo, rispetto ad una bobina. Vengono ricavate le formule che descrivono la generazione di forza elettromotrice da parte del sistema. L'articolo pubblicato da Tongphong e Saimek (Tongphong et al., 2014) presenta un innovativo *concept* di turbina idrocinetica ispirata dal moto dei pesci. Il dispositivo è costituito da un ele-

mento che oscilla sotto l'azione di vortici generati dal flusso di un fluido agente su un cilindro.

Il sistema Invelox (Allaei et al., 2014) descrive un innovativo sistema per generare energia dal vento. Gli autori del lavoro si pongono l'obiettivo di incrementare l'efficienza di conversione da energia cinetica ad energia elettrica dei tradizionali generatori eolici. In particolare il sistema prevede l'eliminazione delle torri di sostegno dei rotori, dei complessi sistemi di regolazione della velocità e dei sistemi per l'orientamento del rotore.

Il progetto Seakers (Sea Kinetic Energy Recovery System) finanziato dal 7° programma quadro, ha come obiettivo il recupero di energia dalle oscillazioni a cui sono soggetti gli Yachts a vela. Il sistema trasforma l'energia meccanica delle oscillazioni delle barche in energia elettrica mediante generatori lineari a magneti permanenti.

Borg (Borg et al., 2013) propongono un sistema per convertire in energia elettrica l'energia dissipata da sistemi di smorzamento delle oscillazioni prodotte dalle onde del mare su turbine eoliche galleggianti. Lo studio si concentra su turbine eoliche ad asse verticale combinate con un sistema di smorzamento a recupero di energia. I risultati di questo studio indicano che è possibile estrarre la massima quantità di energia nel caso in cui la frequenza naturale di vibrazione del sistema sia la stessa della piattaforma galleggiante.

Inoltre sono stati analizzati una serie di brevetti che vengono riportati in nota².

3. OBIETTIVI E METODOLOGIA

L'idea progettuale proposta scaturisce dall'esigenza di operare su organismi edilizi, a esempio in contesti di villa, sottoposti a vincolo della Soprintendenza, con interventi che rispondano alle tematiche di fattibilità, di soddisfazione dei requisiti essenziali, ma contemporaneamente anche alle esigenze di tipo conservativo del bene. L'inserimento tecnologico può infatti svolgere funzioni di barriera e salvaguardia da situazioni di degrado e/o di disturbo ambientale. Lo specifico intervento proposto si caratterizza per l'utilizzo di una tecnologia di nuova concezione

² Elenco brevetti:

- Lahuerta, R. M. Wind turbine with compensated motor torque. US2012/0133148A1 31 05 2012. F 03D 11/02;
- Berthilsson, R. Device for converting wind energy. WO2011/084097A1 14 07 2011. IPC_F03D 5/04 (2006.01);
- Arnold, L. Fluid energy converting method and apparatus. US4.184.805 USA, 22 01 1980;
- Kolm, E. A. e Kolm, H. H. Piezoelectric fluid-electric generator. 4.387.318 USA, 07 07 1983. Int. Class H04R 17/00;
- Schmidt, V. H. Piezoelectric Wind Generator. 4.536.674 USA, 20 08 1985. Int.Cl. H01L41/08;
- Lawson, D. A. Energy Conversion apparatus. 4.476.397 USA, 09 10 1984. Int Class. F03D 5/06.

che sfrutta la risorsa eolica naturale e risulta di basso impatto ambientale, reversibile e mobile. Il suo inserimento offre una gamma di eventualità ecosostenibile³ per garantire la tutela ambientale e dei manufatti architettonici. In particolare può contribuire alla conservazione e al recupero di un organismo edilizio, come nel caso della "villa veneta" nel suo originario splendore, agendo come protezione dai disturbi provocati da urbanizzazione industriale, cementificazione o dalla vicinanza di assi viari o ferroviari che limitino fortemente la percezione del contesto paesaggistico-monumentale. Si intende accogliere in tal senso le osservazioni di studiosi come Salvatore Settis, il quale osserva come troppo spesso "la tutela di un tesoro monumentale si è fermata a un centimetro oltre la recinzione, come se il valore di quel tesoro non fosse anche l'essere inserito in un determinato spazio" (Stella, 2012), come il messaggio del giornalista Gian Antonio Stella che più volte si è prodigato per stimolare l'attenzione e l'amore verso un patrimonio storico da preservare e tramandare. La proposta si collega quindi all'alto valore rappresentato dal sistema delle ville venete, tutelato dall'Istituto Regionale Ville Venete⁴, con l'intento di difendere e valorizzare i contesti, migliorandone le condizioni di utilizzo e fruizione.

In alcuni casi tali ambiti risultano alterati dalla presenza di superfetazioni costruite negli anni; sono molte le situazioni in cui zone industriali, tracciati autostradali o ferroviari hanno modificato e a volte snaturato quella che può definirsi come "area di interesse del bene". Nel secolo scorso l'urbanizzazione e l'industrializzazione dei territori circostanti le ville venete hanno invaso e saturato lo spazio agrario storico. L'idea innovativa si caratterizza nel non "intaccare" il bene storico con aggiunte, come a esempio avviene nel caso dell'installazione di pannelli fotovoltaici, che spesso e facilmente risultano estranee all'architettura storica, di difficile integrazione, nonché invasive e non facilmente reversibili.

L'intervento progettuale proposto consiste nell'inserire, in punti strategici del territorio limitrofo agli organismi edilizi, delle installazioni mobili che contengono un sistema oscillante, ispirate dal moto delle piante, quando sono sottoposte all'azione del vento. Le finalità delle installazioni possono essere molteplici, ovvero, a secondo dei casi, quelle di occultare zone fortemente compromesse dal punto di vista paesaggistico, evidenziare dei percorsi, fungere da barriere al rumore o da supporto a sistemi

³ Il materiale con cui è realizzato il sistema SWindErgy è facilmente reperibile in commercio e facilmente riciclabile; anche il suo inserimento nel terreno risulta di facile reversibilità è quindi in un'ottica di ecosostenibilità ambientale.

⁴ L'Istituto Regionale Ville Venete dal 1979 è impegnato nella catalogazione, nel restauro e nella valorizzazione delle ville del territorio veneto e friulano, anche con studi e ricerche. Ha catalogato 4.243 edifici, di cui 3.807 in Veneto e 436 in Friuli Venezia Giulia. Il 15% delle ville è di proprietà pubblica o di enti ecclesiastici e l'85% è di proprietà privata.

informativi per turisti. Esse sono provviste di dispositivi tecnologici in grado di convertire le piccole oscillazioni provocate dal soffio del vento o dagli spostamenti d'aria generati dal passaggio di automezzi, convogli ferroviari, ecc. in energia elettrica prodotto da appositi smorzatori posti alla base degli elementi oscillanti.



Figura 1 - Ipotesi di integrazione architettonica del sistema lungo le rive del Tago (Lisbona).

Metodologicamente sono state definite le variabili teoriche e predisposto un modello di simulazione del sistema tecnologico a partire dalla valutazione del vento. Il vento può essere definito come una massa d'aria che si muove per effetto delle differenze di pressione atmosferica causate dalle differenze di temperatura nelle varie parti del pianeta. Tali differenze di temperatura sono generate dalla non omogenea intensità di radiazione solare che raggiunge le varie zone della Terra. Generalmente il vento si può muovere lungo le tre dimensioni da zone ad alta pressione atmosferica verso zone a bassa pressione. Queste differenze di pressione, insieme alla rotazione terrestre producono la circolazione atmosferica, la quale contiene un enorme potenziale energetico. Su larga scala la circolazione atmosferica viene influenzata ciclicamente dalle stagioni, mentre su scala più piccola, si ha un riscaldamento diverso tra la terraferma e le masse d'acqua, con la conseguente formazione di brezze quotidiane fra mare e terra (Pallabazzer, 2011). Il vento e le sue caratteristiche locali sono fortemente influenzati dal profilo e dalle irregolarità della superficie terrestre. Il vento spira con maggiore intensità su superfici grandi e piatte, si rafforza sulla sommità delle alture o nelle valli orientate parallelamente alla direzione del vento dominante (ABB, 2011).

Le masse d'aria in movimento da una zona all'altra della superficie terrestre sono sottoposte all'attrito. L'attrito fra masse d'aria con il terreno è influenzato da due fenomeni:

- la viscosità del fluido: dipende dalla temperatura dell'aria, dall'altitudine e dall'umidità;

- la turbolenza: dipende dalla presenza di ostacoli.

Approssimativamente, oltre i 500-1000 metri di quota l'attrito non si risente, mentre avvicinandosi al terreno, l'attrito fa ridurre progressivamente la velocità, fino a raggiungere velocità zero a contatto con il terreno. In questo modo si forma un profilo di velocità che dipende dalla quota e dalle diverse configurazioni del terreno.

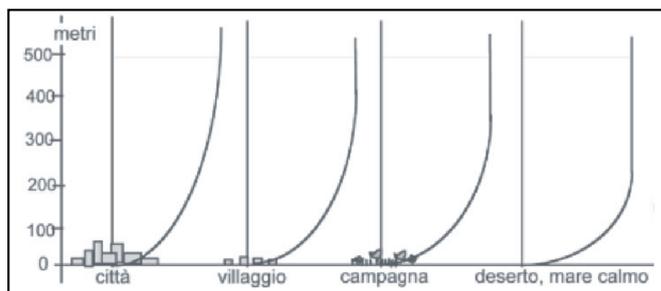


Figura 2 - Profilo di velocità su diverse configurazioni di terreno.

Come si può osservare dalla Figura 2, all'aumentare della scabrezza del terreno, il vento raggiunge il valore di velocità indisturbata a quote superiori, viceversa, in terreni pianeggianti, il vento si stabilizza ad altezze molto inferiori, anche a 60-100 metri (Pallabazzer, 2011).

La direzione e la velocità del vento sono quindi delle grandezze aleatorie che variano nel tempo e in relazione alle caratteristiche della zona considerata. La velocità del vento è fortemente influenzata anche dalla presenza di asperità e dalla rugosità del terreno. All'aumentare della quota, l'influenza delle asperità del terreno riducono la loro importanza e la velocità del vento aumenta.

Nel caso di orografie complesse, come quelle delle zone montagnose o come nel caso di zone fortemente urbanizzate, per la valutazione del vento è necessario ricorrere a modelli di calcolo particolarmente complessi e non standardizzati, in grado di simulare le caratteristiche dei flussi d'aria nei vari punti e ad altezze diverse.

Al variare della forma e delle dimensioni dei rilievi orografici, l'intensità del vento può variare notevolmente. In genere, in cima a una collina, a un declivio non troppo ripido, le linee di corrente vengono addensate e la velocità del vento aumenta. Nel caso in cui ci sia la presenza di rilievi a pendio ripido, si può verificare il distacco della vena fluida nella sommità dell'altura, con conseguente formazione di vortici, provocando diminuzione di velocità e inversione della direzione del vento.

L'installazione si presenta come una "serie di steli oscillanti" ancorati al terreno, di forma piatta e allungata, senza parti rotanti visibili all'esterno e garantisce elevate prestazioni, senza consumi di energia primaria e senza emissioni in ambiente.

Il sistema risulta di facile adattabilità: la base è costituita da un pozzetto in calcestruzzo all'interno del quale sono contenuti i sistemi di conversione e generazione di energia. Il

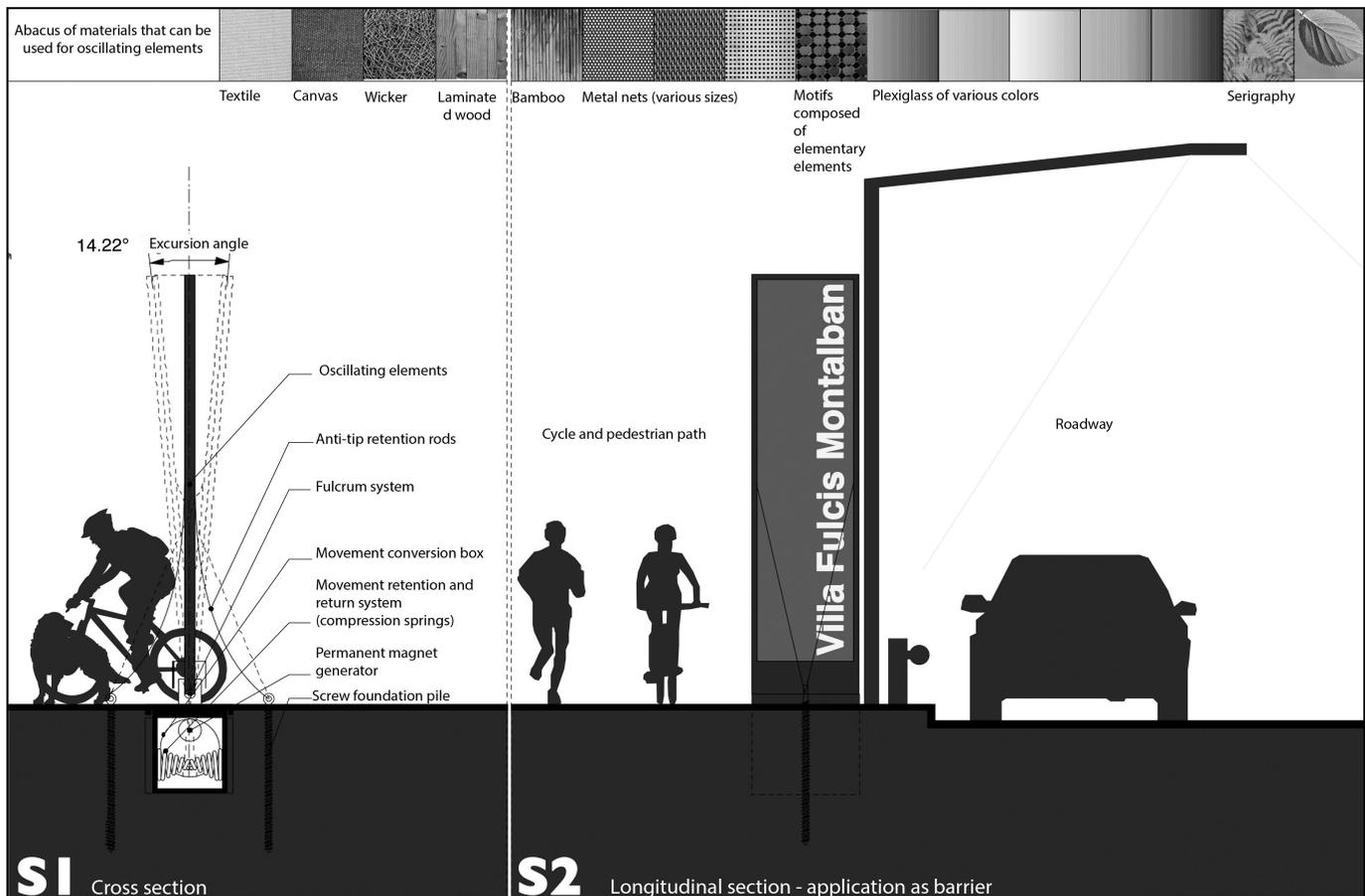


Figura 3 - Sezione del sistema, con descrizione degli elementi che lo caratterizzano e gli angoli di escursione. In alto alcuni materiali con cui può essere realizzato il pannello oscillante.

tutto risulta "assicurato" tramite dei tiranti fissati a delle viti di fondazione⁵, che vengono avvitate al terreno senza utilizzo di malte o impasti cementizi. In questo modo è possibile eventualmente rimuovere la struttura velocemente, nel pieno rispetto della reversibilità progettuale e permettendo un facile riutilizzo e ricollocamento.

La tecnologia, denominata SWindErgy, per l'alta adattabilità all'ambiente, consente di proteggere i manufatti edilizi dalle situazioni visivamente e/o acusticamente di disturbo, valorizzando il bene-villa. Si pensa infatti di utilizzare materiale riciclabile e facilmente mimetizzabile nel paesaggio. Le caratteristiche d'installazione sono minimali e non aggressive. La soluzione proposta oltre a fungere da barriera protettiva si presenta fortemente orientabile e può essere anche utilizzata come strumento di promozione e comunicazione, costituendo un possibile supporto per cartellonistica e segnalazione turistica, con salvaguardia della monumentalità della villa, del paesaggio e del suo ecosistema.

⁵ Caratteristiche della vite di fondazione: grossa vite autoancorante fissata al terreno per mezzo di chiavi manuali o meccanizzate. Una delle sue più importanti caratteristiche è la facilità di rimozione e la possibilità di eventuale riutilizzo.

4. IL SISTEMA DI GENERAZIONE ELETTRICA E I RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE

Nel presente lavoro è stato sviluppato un modello matematico in grado di descrivere e simulare il comportamento del generatore a pendolo inverso, al variare dell'intensità e della direzione del vento. Il modello è stato elaborato specificatamente per il sistema SWindErgy, mediante analisi dinamica in regime turbolento, in quanto i modelli attuali si adattano solamente a generatori di tipo tradizionale. In questa prima analisi è stata presa in considerazione una pala a profilo piatto, al fine di semplificare e ridurre la mole dei calcoli anche se, ovviamente un profilo alare sarebbe preferibile perché consentirebbe sensibili incrementi di efficienza.

Attraverso il modello è stato possibile costruire delle curve di potenza e di generazione di energia, al variare della velocità del vento. Data la particolare conformazione del generatore, per effettuare delle stime di producibilità teorica in funzione delle distribuzioni di velocità del vento, è necessario considerare non la curva di potenza, ma una curva che consideri l'energia generata dal sistema, dopo una serie di oscillazioni di alcuni secondi. L'efficienza di conversione del sistema, per velocità inferiori a 3 m/s, è inferiore al 2%,

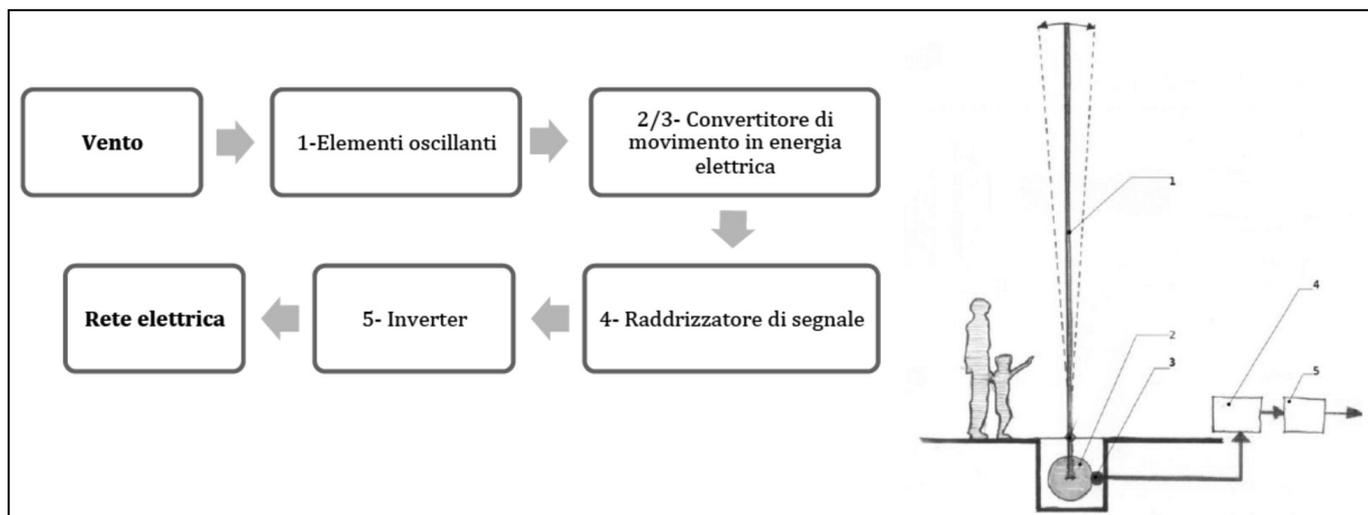


Figura 4 - Configurazione del sistema SWindErgy.

ma cresce all'aumentare della velocità del vento, fino a raggiungere il 14% per valori di velocità del vento superiori a 10 m/s.

Sono state altresì effettuate una serie di analisi di sensitività, al fine di valutare i parametri che maggiormente possano influenzare il funzionamento e l'efficienza del sistema in funzione delle possibili aree di intervento per incrementare l'efficienza globale. In particolare, è stata valutata la producibilità di energia elettrica al variare della costante elastica della molla e del coefficiente di smorzamento, dovuto al generatore di corrente elettrica.

Si è confrontata inoltre la producibilità elettrica del sistema a pendolo inverso, con un generatore eolico ad asse verticale di tipo Savonius, considerando dei dati provenienti da una centralina meteorologica, disposta su una parete esterna del laboratorio "Prove e Materiali" dell'Università di Udine. I risultati indicano che la producibilità elettrica teorica, nel periodo considerato, è di oltre il 60% in più rispetto al generatore tradizionale.

Attraverso il modello matematico è stato anche possibile effettuare delle stime di producibilità in diverse località italiane. Nelle valutazioni sono stati trascurati i possibili effetti di amplificazione, nel caso in cui la frequenza naturale di vibrazione del sistema sia la stessa delle sollecitazioni periodiche del vento, dovute a regimi turbolenti. In tali condizioni si potrebbe verificare un aumento considerevole della produzione di energia.

A partire da piccoli soffi di vento, gli steli verticali cominciano a oscillare generando elevate tensioni alla base dello stelo: tali tensioni vengono convertite in rotazione, attraverso sistemi di conversione del movimento e successivamente in energia elettrica, utilizzando generatori a magneti permanenti. Con tale sistema è possibile incrementare il potenziale sfruttamento dell'energia eolica, sia nelle zone urbane che in quelle periurbane ove, a causa della scarsa intensità dei venti e del regime turbolento⁶ diviene praticamente impossibile lo sfruttamento della risorsa eolica mediante i generatori attualmente disponibili sul mercato.

Il sistema, pur consentendo di sfruttare l'energia del vento anche in regime turbolento, presenta sicure efficienze di conversione molto basse.

SWindErgy è composto dai seguenti elementi:

- una serie di tavole oscillanti, variabili per forma, materiali e dimensioni;
- un sistema di ritenzione e ritorno del movimento costituito da molle e tiranti;
- un convertitore di movimento abbinato a un generatore a magneti permanenti;
- un raddrizzatore di segnale;
- un inverter.

Nel diagramma seguente vengono illustrati gli spostamenti angolari di un elemento, di 5 m di altezza e di 80 cm di larghezza, provocati da un impulso della durata di 3 secondi, per una velocità del vento pari a 3 m/s.

L'efficienza di conversione elettrica, come si può osservare dai diagrammi seguenti, cresce con la velocità del vento in modo quasi esponenziale. Per velocità del vento modeste, l'efficienza di conversione risulta essere molto bassa, inferiore al 2% nel caso di velocità inferiori a 3 m/s. Per velocità del vento pari a 14 m/s, l'efficienza di conversione raggiungibile è del 15%. Considerando una velocità del vento pari a 3 m/s, la potenza generata è circa 1,5 W. Tale potenza cresce a 191 W per velocità pari a 10 m/s. Al variare del coeffi-

⁶ La complessa geometria delle aree urbane produce un'elevata influenza sui flussi di vento, generando delle turbolenze che possono influenzare la velocità e la direzione del vento e dunque anche l'energia estraibile. La turbolenza costituisce una caratteristica importante del vento, in quanto determina fluttuazioni rapide della forza esercitata sulle pale delle turbine, aumentandone l'usura e riducendone la vita media. L'intensità di turbolenza è definita, su qualunque intervallo di tempo, come il rapporto tra la deviazione standard della velocità del vento e la velocità media stessa.

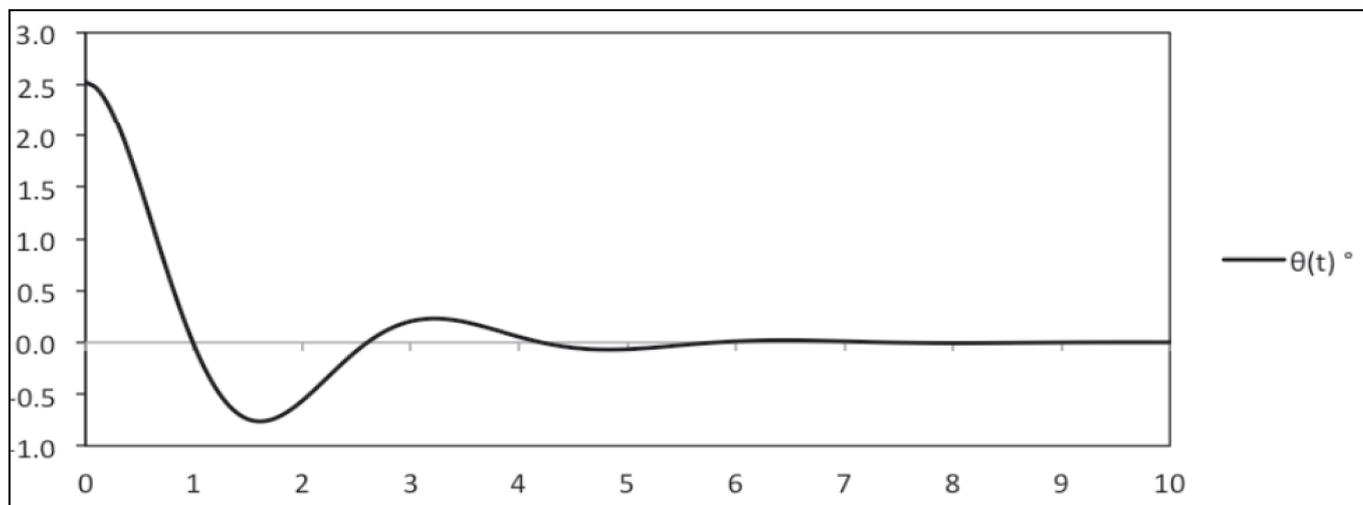


Figura 5 - Andamento dello spostamento angolare della pala generato da $v=3$ m/s.

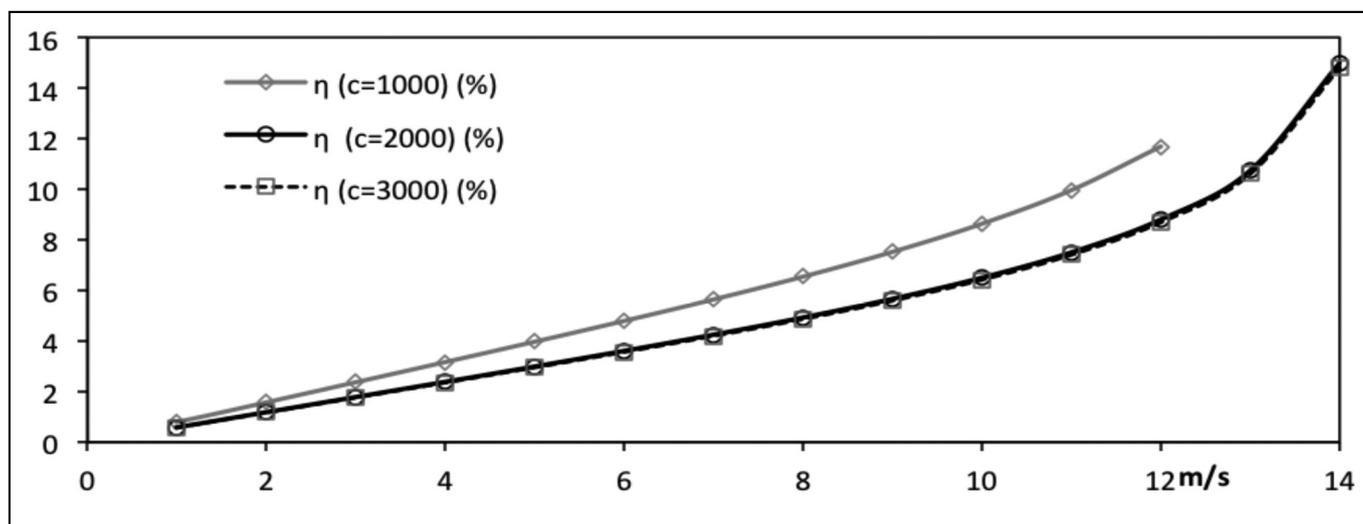


Figura 6 - Andamento dell'efficienza di conversione al variare della velocità del vento.

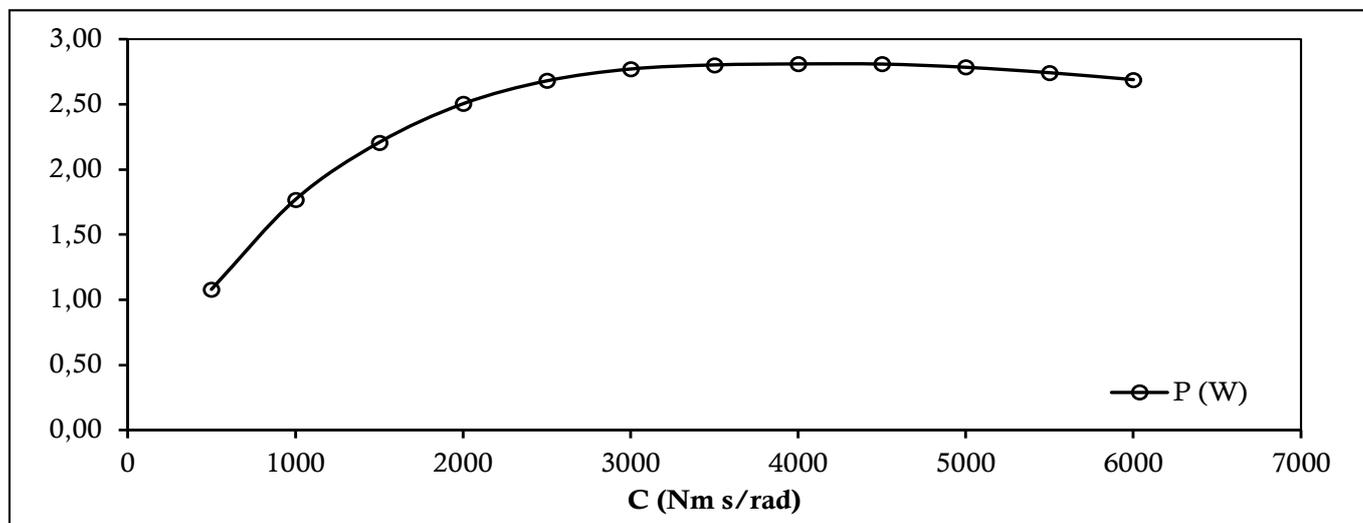


Figura 7 - Potenza massima sviluppata da un impulso generato da $v=6$ m/s al variare di C.

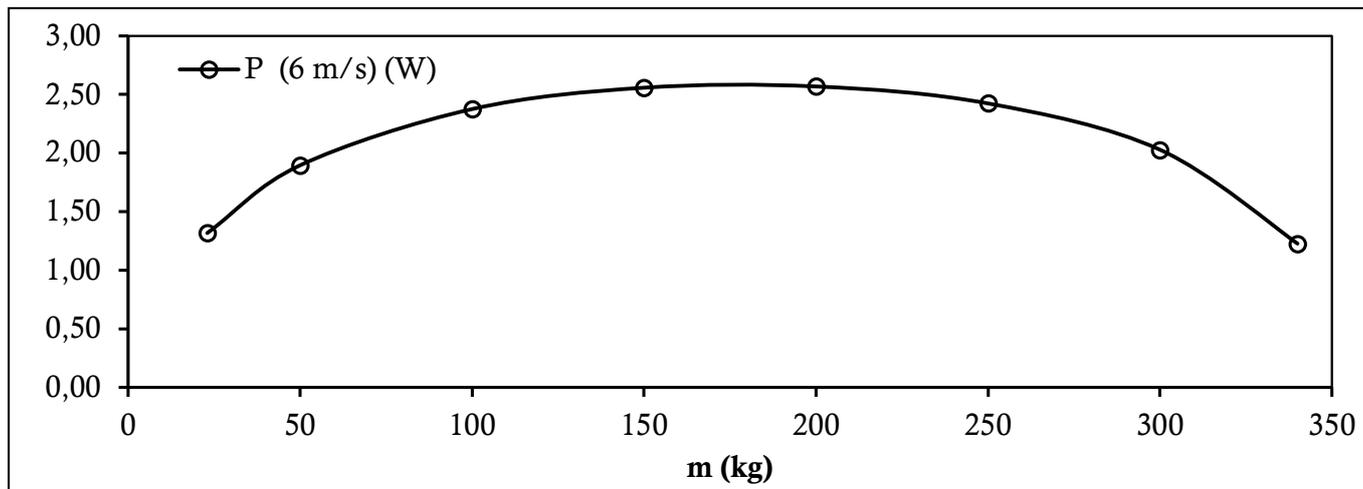


Figura 8 - Potenza massima sviluppata da impulso generato da $v=6$ m/s al variare del peso.

coefficiente di smorzamento (C: da 1000 a 3000 Nm s/rad) si nota delle differenze di produzione di energia. In particolare, si nota un aumento di energia prodotta, per valori di C inferiori a 2000 Nm s/rad.

I seguenti diagrammi descrivono i risultati ottenuti mantenendo costante la velocità del vento (6 m/s) e la costante elastica della molla ($k=300$ N/m), ma facendo variare il coefficiente di smorzamento dovuto al generatore elettrico.

Facendo variare invece il peso della pala, a parità di altri parametri, alla velocità di 6 m/s la potenza massima, la producibilità elettrica e l'efficienza del generatore variano come indicato nei grafici seguenti. Il picco massimo di potenza istantanea si verifica per un peso della pala pari a 180 kg, mentre l'energia producibile aumenta linearmente con il peso della pala.

Al fine di valutare l'efficienza e la convenienza economica del sistema proposto, viene qui di seguito valutata la producibilità di energia annua, nelle vicinanze delle zone di intervento proposte. Per questo scopo è stato utilizzato il lavoro di Ubaldo Ayr (Ayr, 2004), da cui sono stati ricavati i coefficienti anemometrici necessari per la ricostruzione

delle distribuzioni di Weibull. I siti in cui sono state effettuate le stime di producibilità elettrica sono: Venezia Tessera, Treviso S. Angelo, Treviso Istrana, Vicenza e Bolzano. La seguente tabella elenca i parametri di Weibull utili per la ricostruzione delle curve di frequenza della velocità del vento. Nelle zone in analisi è stata valutata la stima della producibilità annua al metro lineare di installazione e i potenziali risparmi di energia elettrica, considerando solamente i venti "naturali" presenti nelle zone in oggetto di analisi.

Da ogni stazione analizzata, vengono utilizzati i parametri della distribuzione di Weibull, che consente di determinare l'energia che effettivamente può essere raccolta da un dato generatore eolico, quando sia nota la sua curva del coefficiente di potenza.

Al fine di conoscere la distribuzione di frequenza della velocità del vento in ogni località è necessario esprimerla in maniera sintetica. Una delle distribuzioni teoriche maggiormente utilizzate per approssimare le reali distribuzioni della velocità del vento è quella di Weibull, caratterizzata da tre parametri, il parametro di forma k , quello di scala c e la frequenza s delle calme.

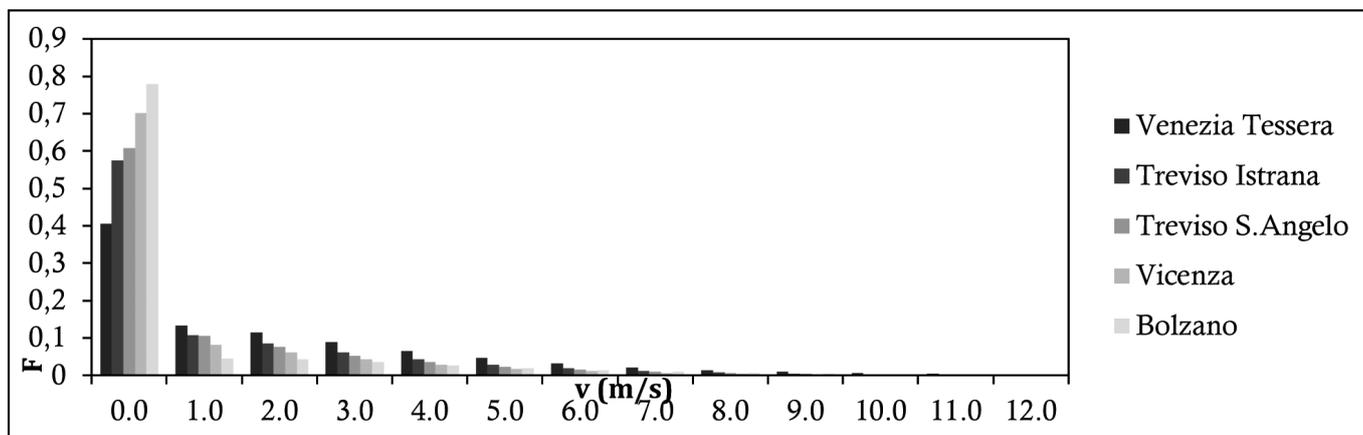


Figura 9 - Distribuzione di frequenza delle velocità del vento nei quattro siti analizzati.

Tabella 1 - Dati eolici medi annui per le distribuzioni di frequenza ed energia annua, prodotta per metro lineare di installazione

(K: fattore di forma; C: parametro di scala; S: frequenza delle calme).

	Venezia Tesserà	Treviso Istrana	Treviso S. Angelo	Vicenza	Bolzano
Altezza (m)	6	45	18	53	241
Errore %	-0,4	-11,6	-11,8	-14,7	-16,2
velocità media (m/s)	1,88	1,25	1,1	0,86	0,81
K	1,24	1,18	1,09	1,17	1,35
C	3,32	2,93	2,63	2,65	3,59
S	0,406	0,574	0,608	0,701	0,779

Potenzialmente nella zona di Venezia-Tesserà il sistema potrebbe produrre fino a 80 kWh/anno per metro lineare di installazione.

Installando il sistema lungo gli assi viari è possibile sfruttare anche gli spostamenti d'aria generati dal passaggio di automezzi. Esaminando, a titolo di esempio, un flusso veicolare di 600 automezzi all'ora, alla velocità media di 90 km/h⁷ e

Tabella 2 - Energia annua prodotta per m lineare di installazione e potenziali risparmi nel caso di utilizzo dell'energia elettrica. Per i calcoli di convenienza economica è stato considerato un costo dell'energia elettrica pari a 0,20 /kWh, il tasso di interesse considerato è pari a 4,5%.

	Venezia Tesserà	Treviso Istrana	Treviso S. Angelo	Vicenza	Bolzano
Energia prodotta (kWh/anno) per m lineare	81,6	44,0	38,3	21,4	29,8
Risparmi (€/anno) per m lineare di inst.	16,32	8,81	7,67	4,29	5,96

supponendo una distanza di installazione pari a 1,5 metri dal passaggio dei veicoli, viene considerato l'utilizzo di pannelli di dimensioni pari a 4x1 metri che rende possibile

⁷ I valori di pressione generati dal passaggio di automezzi sono stati calcolati a partire dall'analisi sperimentali effettuate da A.D. Quinna, C.J. Bakerb, N.G. Wrightc, Wind and vehicle induced forces on flat plates Part 2: vehicle induced force, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 89 (2001) 831-847.

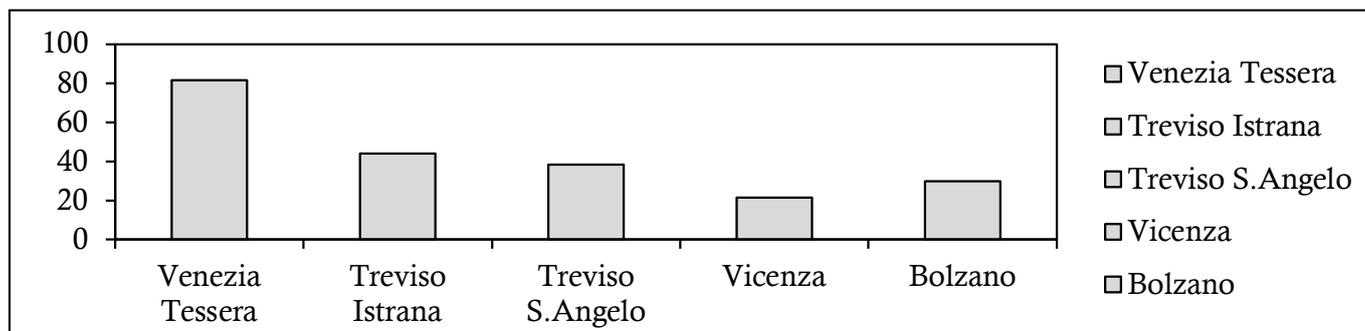


Figura 10 - Produzione di energia annua per metro lineare di installazione.

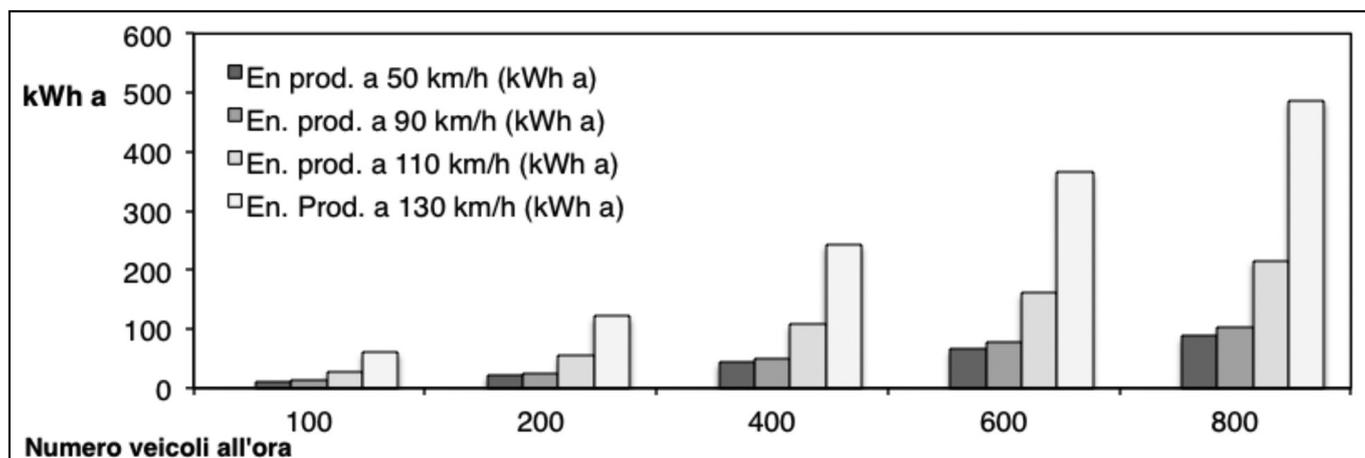


Figure 11 - Annual energy production per linear meter of installation along road axes.

produrre oltre 350 kWh/anno per metro lineare di installazione. I valori di pressione generati dal passaggio di automezzi sono stati calcolati con coefficienti ricavati dall'analisi sperimentale di Quinna⁸.

Il diagramma seguente illustra quindi l'energia annua producibile per ogni metro lineare di installazione, al variare della velocità media dei veicoli e al variare della frequenza veicolare.

5. ASPETTI ECONOMICI DEL PROGETTO E RAPPORTO COSTO/BENEFICI

La progettazione sperimentale ha considerato anche la previsione dei costi di predisposizione di un meccanismo completo, per l'applicazione pratica del sistema SWindErgy. Di seguito viene illustrata in tabella la valutazione tecnico-economica per l'ipotesi di produzione di 20 elementi.

Tabella 3 - Valutazione tecnico economica per la produzione di 20 elementi.

			n	Tot
Struttura	Pozzetto di fondazione + sistema di ancoraggio	350,00	20	7.000,00
	Telaio in acciaio	350,00	20	7.000,00
	Cerniere e cuscinetti	45,00	20	900,00
	Telo per esterni	165,00	20	3.300,00
Sistema di ritenzione del sistema	Molle	35,00	20	700,00
	Elementi di fissaggio.	15,00	20	300,00
Sistema meccanico-generatore	Gruppo riduttore	140,00	20	2.800,00
	Generatore	350,00	20	7.000,00
	Supporto per generatore	60,00	20	1.200,00
	Centralina elettrica	80,00	1	80,00
Elementi elettrici	Cablaggi e collegamenti	50,00	1	50,00
	Raddrizzatore di corrente	88,00	20	1.760,00
	Inverter	300,00	1	600,00
Totale				€ 32.690,00
Costo di ogni elemento:				€ 1.634,50

Dai dati sopraesposti si deduce che la producibilità annua di 1 singolo generatore, il cui costo calcolato di fornitura e posa in opera è di 1.634,50 euro (almeno 10 elementi in serie). Dato che il costo dipende dall'eventuale incremento di numero di elementi prodotti e installati, si ritiene possibile un ulteriore decremento del prezzo unitario. È stato calcolato che l'installazione di un generatore, che occupa solo 0,5 mq di superficie di terreno, in strade a scorrimento veloce può produrre fino 500 kWh/a. Il sistema SWindErgy è stato valutato in confronto con il sistema fotovoltaico e ne è risultato che, per produrre la stessa quantità di energia all'anno servirebbero almeno 4 mq di superficie territoriale in più per la sua collocazione; inoltre il costo prevedibile di un pannello sarebbe di circa 800 euro cui andrebbero sommati i costi di installazione ad alta integrazione architettonica (ponteggi, guanine, rimozione dei coppi, ecc.),

in particolare nei contesti di beni vincolati dalla Soprintendenza. Non è inoltre valutabile economicamente la difficile integrazione tra i pannelli fotovoltaici e il manufatto storico. Concettualmente i parametri di produzione energetica, che comunque possono essere considerati di interessante rilevanza, non costituiscono l'elemento fondamentale per la scelta del sistema SWindErgy che trova invece significativa giustificazione nel valore aggiunto offerto dalle possibilità di inserimento conservativo nell'ambito contestuale del manufatto di valore architettonico, a sua difesa come barriera da realtà di degrado e con funzioni di installazione artistica, non garantite nei casi di sistemi eolici o pannelli fotovoltaici seriali. Gli elementi verticali del sistema SWindErgy inoltre possono fungere da barriera per situazioni di disturbo acustico, funzione che può essere migliorata anche in base alla scelta del materiale di rivestimento del pannello oscillante. Per tali motivi la soluzione proposta

risulti essere d'avanguardia nell'ambito dell'integrazione edificio-impianto.

6. ESEMPI DI INSTALLAZIONE

Vengono illustrati di seguito due casi ipotizzati⁹ per l'inserimento del sistema SWindErgy: villa Fulcis, Montalban¹⁰

⁸ Ibidem.

⁹ I due casi studio contemplati fanno riferimento al progetto presentato al concorso di idee dell'Istituto Regionale Ville Venete, come descritto nella nota 1.

¹⁰ Localizzazione geografica: Comune Belluno (BL) - VENETO. Indirizzo: Via Safforze, 140 - 32100 Belluno (BL). Vincoli: L. 1089/1939. Rif.ti catastali Comune: Belluno - Foglio: 32/1951 - Particelle: 89, 90, 91, 92, 260, 279.

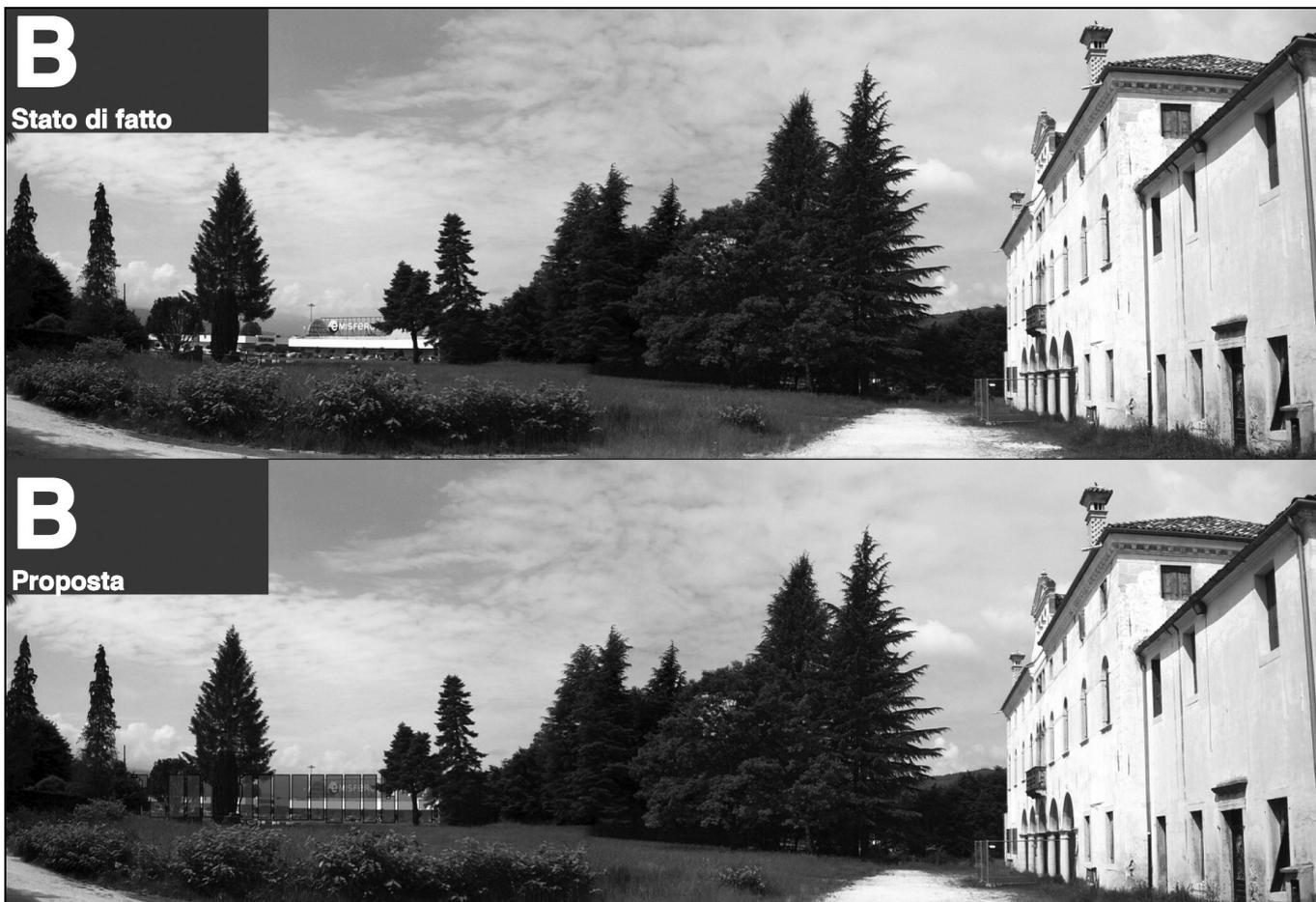


Figura 12 - Villa Fulcis, Belluno. Esempio di mascheramento e segnalazione.

e villa Braida, Cutrone, Mastea, Ancillotto¹¹. I due casi hanno in comune l'opportunità di inserimento non solo nell'area di pertinenza della villa, ma anche la possibile estensione dell'intervento al territorio circostante industrializzato. Con forme di installazione variabili si ritiene possibile "coprire" quanto visivamente risulta di disturbo per il contesto ambientale storico. In entrambi i casi, l'applicazione e l'installazione tecnologica rispondono alla caratteristica di completa e facile reversibilità. I pannelli possono essere realizzati con diverse tipologie di materiale di rivestimento, che li rendano variamente mimetizzabili nell'ambiente; oppure, all'opposto, se installati con caratteristica di visibilità possono svolgere la funzione di supporto per la cartellonistica di segnalazione turistica. La collocazione lungo gli assi viari (autostrada e statale) del locus considerato permetterebbe, in relazione alle caratteristiche tecniche dell'elemento proposto, una maggiore

produzione di energia grazie allo spostamento d'aria creato dai mezzi in transito, che verrebbe a sommarsi al naturale moto ventoso.

Il caso di villa Fulcis si presta come esempio emblematico per l'applicazione dell'idea progettuale riassunto in sé varie problematiche di tipo paesaggistico ricorrenti anche in altri contesti di villa veneta. La villa risalente al periodo tra la fine del XVI secolo e la prima metà del XVII, si trova attualmente interessata negativamente dall'esistenza delle nuove vie di comunicazione (tra Belluno e Ponte nelle Alpi) in quanto risulta "interclusa" fra la linea ferroviaria a nord e la strada statale a sud. Lungo tale percorso della statale, si sono sviluppate inoltre delle zone industriali che risultano adiacenti all'area storica di pertinenza della villa.

L'installazione proposta tende a valorizzare l'utilizzo degli elementi tecnologici in una duplice funzione: quella di barriera di protezione della villa dalla zona industriale e quella di utilizzo ai fini di promozione turistica della villa, per chi percorre la statale a sud (Proposta B-Figura 10). Un'altra ipotesi suggerisce l'utilizzo degli steli come barriera di protezione sia visiva che acustica dalla linea ferroviaria. È stato calcolato che con 1.200 metri di installazione la producibilità media annua di energia consisterebbe in 216.000 kWh/a.

¹¹ Localizzazione geografica: Mogliano Veneto (TV) - VENETO. Indirizzo: Via Bonisiolo, 16d - Mogliano Veneto (TV). Vincoli: L. 1089/1939. Rif.ti catastali Comune: Mogliano Veneto - Foglio: 14 - Particelle: 46

D**Stato di fatto****D****Proposta**

Figura 13 - Villa Braida, Mogliano Veneto. Esempio di mascheramento e segnalazione.

Anche il caso di Villa Braida di Mogliano Veneto offre interessanti possibilità di inserimento del sistema SWindErgy. La villa databile al XIX secolo, sorge nelle immediate vicinanze del centro abitato di Zeman di Mogliano Veneto e risulta posizionata vicino al tracciato autostradale della A27 (con relativa uscita al casello). Recentemente a est, si sono sviluppate delle zone industriali e un complesso alberghiero, costruito fra l'altro anche a ridosso di un altro edificio storico denominato "Villa Bonfadini, Gris, Bolzonello". Anche in questo caso l'ipotesi progettuale prevede l'utilizzo degli elementi tecnologici con una duplice funzione: quella di barriera di protezione del contesto di villa dalle situazioni di degrado e disturbo ambientale rappresentate dalle zone industriali, dalle infrastrutture e dalle urbanizzazioni circostanti e quella di utilizzo ai fini di pro-

mozione turistica per chi accede all'edificio percorrendo la statale.

La seconda possibilità di inserimento (Proposta D-Figura 11) prevede l'utilizzo degli elementi oscillanti come protezione visiva del contesto monumentale di villa Braida e contestualmente come barriera acustica dal tracciato autostradale.

È stato calcolato che con 1.300 metri di installazione la produttività media annua di energia consisterebbe in 234.000 kWh/a.

7. CONCLUSIONI E FUTURI SVILUPPI

Il presente contributo analizza la proposta di installazione

del sistema SWindErgy nel contesto delle ville venete e vuole rappresentare la prima fase del processo di sviluppo di un nuovo prodotto tecnologico e innovativo che attualmente non è presente sul mercato.

Il sistema SWindErgy allo stato attuale è in fase di sviluppo ed è comunque costituito dall'assemblaggio di una serie di componenti già presenti sul mercato e ampiamente collaudati.

I risultati della ricerca effettuata hanno dato degli esiti incoraggianti in quanto, attraverso le analisi di sensitività effettuate, è stato possibile valutare quali componenti del sistema presentino maggiori margini di miglioramento. In tal senso gli ambiti di intervento possibili sono: la regolazione della costante elastica della molla, la regolazione del coefficiente di smorzamento del generatore elettrico, la variazione del momento di inerzia della pala, l'equilibratura del sistema e del profilo della pala. In particolare agendo su tali componenti è possibile incrementare in modo sensibile l'efficienza globale del sistema.

Si ritiene altresì che la possibile installazione del sistema in un contesto a bassissima producibilità eolica, come l'area delle Ville Venete abbia un senso economico solo nel caso in cui esso venga utilizzato per assolvere a più di una funzione, come ipotizzato nel presente lavoro.

I luoghi di installazione del sistema, che si ritengono maggiormente promettenti, dal punto di vista della producibilità di energia, sono le zone costiere e i bordi di strade a elevato scorrimento, caratterizzate da frequenti spostamenti d'aria generati dal passaggio degli automezzi.

I possibili sviluppi futuri sono costituiti da:

- Progettazione, realizzazione e installazione di un prototipo al fine di confrontare il comportamento reale rispetto al modello matematico e ricavare i coefficienti

di smorzamento dopo un periodo adeguato di monitoraggio.

- Analisi e ottimizzazione aerodinamica della pala oscillante al fine di incrementare l'efficienza globale del sistema.
- Analisi degli effetti di amplificazione dovuti a fenomeni di risonanza e sviluppo di un modello per predire e calcolare tali frequenze.
- Analisi delle vibrazioni indotte sugli edifici dal sistema e analisi strutturale del sistema.
- Ottimizzazione del generatore lineare di corrente elettrica.

In conclusione si sottolinea che il sistema SWindErgy, nel fornire le prestazioni descritte, garantisce un'interessante serie di vantaggi: assenza di parti meccaniche soggette a forte usura e quindi ridottissime spese di manutenzione; buon rendimento della macchina, in quanto il moto rettilineo non viene trasformato in moto rotatorio da organi meccanici prima di azionare il generatore, ma viene direttamente utilizzato dal generatore lineare a magneti permanenti; possibilità di essere addossato a edifici esistenti, in modo tale da fungere allo stesso tempo da rivestimento di facciata e da generatore eolico, in quanto adatto a sfruttare il vento in regime turbolento. Si riducono così i costi di struttura e di installazione; il sistema è capace di utilizzare le pressioni e depressioni generate dal passaggio di veicoli in ambito autostradale, capacità che lo rende unico nel suo genere e perfettamente intercambiabile con le attuali barriere autostradali. Inoltre tutte le componenti sono potenzialmente riciclabili e il pannello può essere realizzato anche con materiali riciclati, con il valore aggiunto del basso impatto ambientale, della certa amovibilità ed economicità.

* **Livio Petriccione**, Ph.D. architetto, Università di Udine, Italia,
e-mail: livio.petriccione@uniud.it

** **Fabio Fulchir**, Ph.D. ingegnere,
e-mail: fabiofulchir@libero.it

*** **Francesco Chinellato**, Professore associato
e-mail: francesco.chinellato@uniud.it

Bibliografia

ABB. *Quaderni di applicazione tecnica n. 13*, Bergamo: ABB, 2011.

ALLAEI D. E ANDREPOULOS, Y. *INVELOX: Description of a new concept in wind power and its performance evaluation*, Energy. 2014, 69.

ARNOLD L., *Fluid energy converting method and apparatus*, US4.184.805 USA, 22 01 1980.

AYR U., *Analisi energetica della risorsa eolica in Italia*, Politecnico di Bari, Dipartimento di Fisica tecnica, Bari, 2004.

BERTHILSSON R., *Device for converting wind energy*, WO2011/084097A1 14 07 2011. IPC_F03D 5/04 (2006.01).

BET H. E GRASSMANN H., *Upgrading conventional wind turbines*, Renewable Energy. 2002, Vol. 28.

BORG M., COLLU M. E BRENNAN F. P., *Use of a wave energy converter as a motion suppression device for floating wind turbines*, 2013, 35.

GRASSMANN H. ET AL., *6 A partially static turbine-first experimental results*, F. Bet, G. Cabras, M. Ceschia, D. Cobai, 2003, Vol. 45.

KOLM E. A. E KOLM H. H., *Piezoelectric fluid-electric generator*. 4.387.318 USA, 07 07 1983. Int. Class H04R 17/00.

[
LAHUERTA R. M., *Wind turbine with compensated motor torque*, US2012/0133148A1 31 05 2012. F 03D 11/02.

LAWSON D. A., *Energy Conversion apparatus*, 4.476.397 USA, 09 10 1984. Int Class. F03D 5/06.

MUSHARRAF M., KHAN I. U. E KHAN N., *Design of an Oscillating Coil Pendulum Energy Generating System*, Procedia Computer Science. 2014, 32

PALLABAZZER R., *Sistemi di conversione eolica*, Milano: Hoepli, 2011.

QUINNA A., BAKERB C. J. & WRIGHTC N. G., *Wind and vehicle induced forces on flat plates Part 2: vehicle induced force*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2001, 831-847.

SETTIS S., *Paesaggio Costituzione Cemento. La battaglia per l'ambiente contro il degrado civile*, Einaudi, Torino, 2012.

SCHMIDT V. H., *Piezoelectric Wind Generator*, 4.536.674 USA, 20 08 1985. Int.Cl. H01L41/08.

STELLA G., *L'assedio alle ville venete. I gioielli sotto il cemento*, Corriere della Sera, 30 dicembre 2012.

TONGPONG, WATCHARA E SAIMEK, Saroj. *The design and development of an oscillating water turbine*, Energy Procedia. 2014, 52.

WANG R. E GERBER S., *Megnetically geared wind generator technologies: opportunities and challenges*, Applied Energy. 2014.