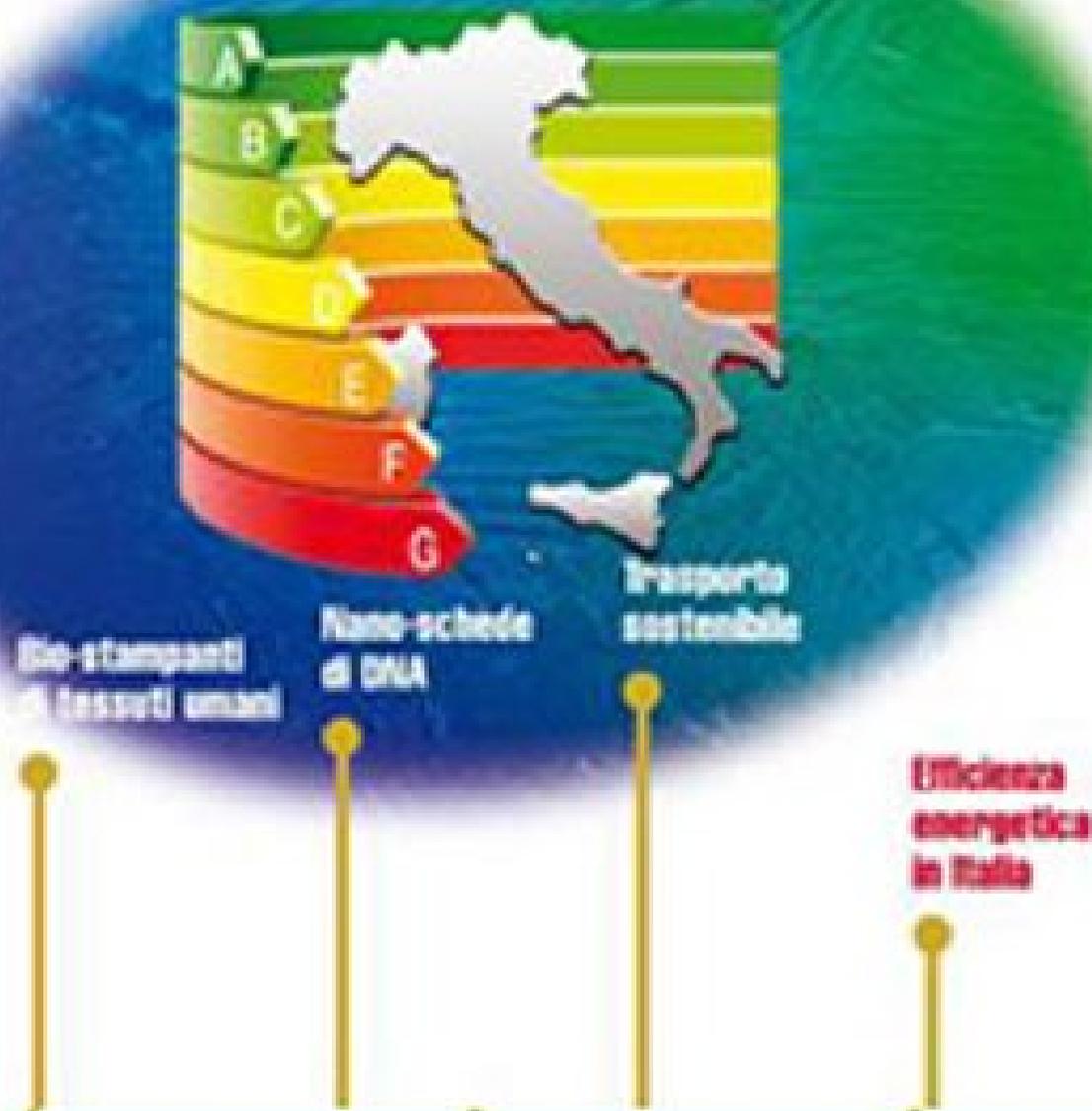




Ministero dell'ENERGIA,
Ambiente e
Innovazione
Maggio - giugno 2015

Energia, Ambiente e Innovazione

3/2015





Energia, Ambiente e Innovazione

bimestrale dell'ENEA

anno 61

maggio - giugno 2015

ENERGIA, AMBIENTE E INNOVAZIONE
Bimestrale ENEA

n. 3 maggio - giugno 2015

Registrazione

Tribunale Civile di Roma

Numero 148 del 19 aprile 2010 del Registro Stampa

Direttore Responsabile

Diana Savelli

Comitato di Direzione

Pietro Agostini, Vincenzo Artale, Giacobbe Braccio, Marco Casagni, Gian Piero Celata, Vincenzo Cincotti, Carlo Cremisini, Pierino De Felice, Roberta Delfanti, Nino Di Franco, Francesco Di Mario, Roberta Fantoni, Elena Fantuzzi, Massimo Forni, Massimo Iannetta, Riccardo Levizzari, Carmela Marino, Paride Meloni, Silvio Migliori, Roberto Morabito, Aldo Pizzuto, Vincenzo Porpiglia, Sergio Sangiorgi, Massimo Sepielli, Leander Tapfer, Ezio Terzini, Carlo Tricoli, Marco Vittori Antisari, Gabriele Zanini

Comitato tecnico-scientifico

Osvaldo Aronica, Ilaria Bertini, Paolo Clemente, Paolo Di Lazzaro, Andrea Fidanza, Stefano Giammartini, Giorgio Graditi, Massimo Maffucci, Laura Maria Padovani, Paolo Ruti, Emilio Santoro

Coordinamento editoriale

Giuliano Ghisu

Collaboratori

Daniela Bertuzzi, Paola Carrabba, Sergio Cappucci, Orietta Casali, Antonino Dattola, Barbara Di Giovanni, Giovanni Puglisi

Revisione lingua inglese

Carla Costigliola

Progetto grafico

Paola Carabotta, Bruno Giovannetti

Edizione web

Antonella Andreini, Serena Lucibello, Concetta Manto

Promozione

Paola Crocianelli

**Gli articoli riflettono le opinioni degli autori e non necessariamente
quelle dell'ENEA**

Per informazioni e contatti: infoeai@enea.it

*Attribuzione - Non commerciale - Non opere derivate 3.0 [Commons Deed](#) e [Legal Code](#)
delle licenze **Versione 3.0 Italia***

The long and winding road... that leads to energy efficiency: from mere engineering issue to first fuel

Maria Van der Hoeven

Maria Van der Hoeven

Executive Director of the International Energy Agency

Contact persons: Alessandro Federici, Ezilda Costanzo, Chiara Martini (ENEA)

alessandro.federici@enea.it

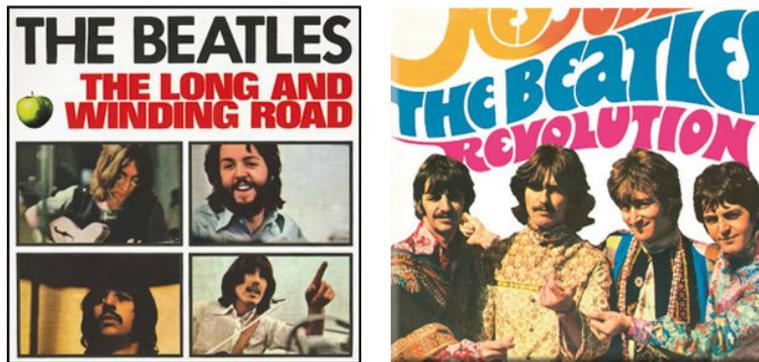
Introduction: the energy efficiency *Revolution*

The 1973 oil crisis acted as the Big Bang of *energy efficiency*; at that time, it emerged as a distinct field of interest, rather than a subsidiary engineering issue (Wulfinghoff, 2000).

With each passing decade, energy efficiency has scaled up its role in energy policy. From a market perspective, it is increasingly seen as a commodity – for all types of energy consumers and producers. In recent years, attention to energy efficiency has grown, from the lack of visibility inherent in its past identification as “the hidden fuel” (i.e. measured and valued only as the negative quantity of energy not used) to an increasing recognition as the “*first fuel*” (IEA, 2013).

Recent publications of the International Energy Agency (IEA) place energy efficiency on an equal footing with any other energy resource. Indeed, energy efficiency lies at the nexus of the three challenges that confront the world in terms of energy policy: energy security, sustainability and economic development. In the IEA 2DS scenario – consistent with limiting the long-term increase in global temperature to no more than two degrees Celsius – the biggest share of emissions

reductions, about 40%, comes from energy efficiency (IEA, 2014a). Energy efficiency also increases resilience against a variety of risks, such as energy price rises and volatility, stress on energy infrastructure, and disruptions to energy supply systems. And the benefits of energy efficiency go well beyond the reduction of energy demand and encompass sustainable development, health and productivity (IEA, 2014b).



Energy efficiency markets deliver goods and services that reduce the energy required to fuel our economies. In 2011, avoided energy use from energy efficiency improvements in 11 IEA member countries since the 1970s was larger than the total final consumption (TFC) of oil (1 202 million tonnes of oil-equivalent, Mtoe), electricity (552 Mtoe) or natural gas (509 Mtoe). ^[1]

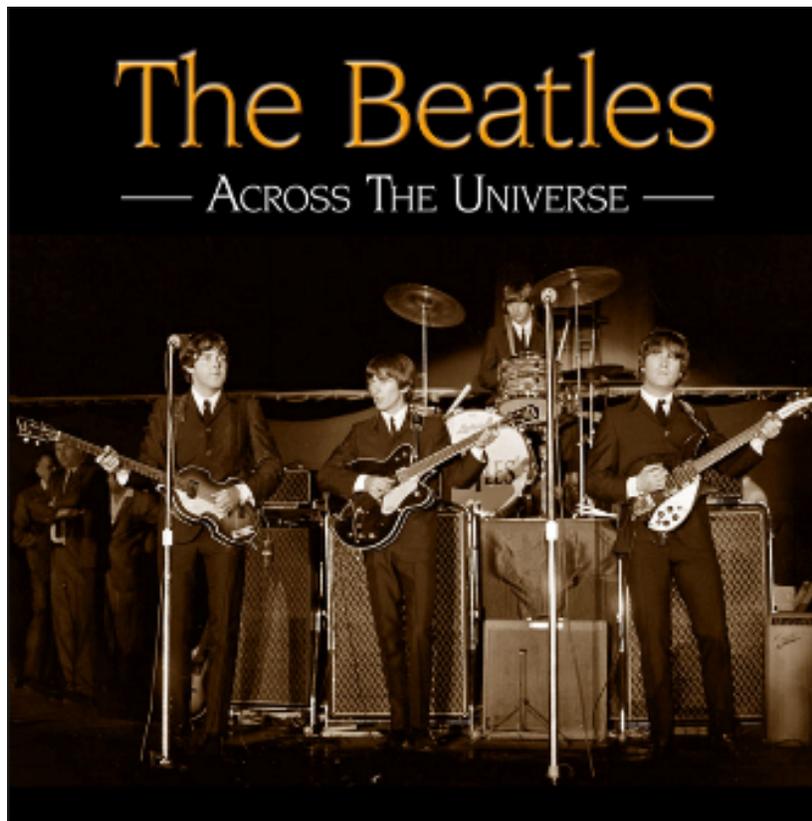
Aggregate annual investments in energy efficiency were more than USD 310 billion in 2012, which was larger than supply-side investment in renewable electricity or in coal, oil and gas power generation (IEA, 2014c).

Such energy efficiency improvements are happening at a time when fast-developing economies are adding demand to the global energy system. Indeed, there is huge potential for energy efficiency in emerging economies beyond the OECD, playing an important role in countering volatile energy prices and limiting the share of income being spent on energy.

All you need is... energy efficiency: its market is spreading out Across the Universe

The IEA *Energy Efficiency Market Report 2014* (EEMR-2014) confirms energy efficiency's place as the "first fuel" for major IEA economies. The energy efficiency market is raising more and more interest from institutional lenders and investors.

Energy savings generated from investments over the 1971 to 2011 period in 11 IEA member countries were 1337 Mtoe, larger than the 2011 total final consumption (TFC) of the European Union. At country level, since 2001 energy efficiency has placed downward pressure on TFC in OECD countries. It is the prime mover of the absolute reductions in TFC in 12 countries, eight of which have experienced energy efficiency effects larger than activity effects. [\[2\]](#)



About 40% of energy efficiency investment worldwide is financed with debt and equity and the *finance* market is moving from being a niche to a

more established market segment. This is in part a result of the availability of a greater range of financial products, such as green bonds and Energy Performance Contracts involving a growing number of energy service companies (ESCOs).

ESCO markets in European countries are at diverse stages of development. Good market growth has occurred in Italy over the past ten years thanks to a more favourable legislative framework focused on refurbishment of public buildings, financial incentives for refurbishment and modernisation of private buildings, and stronger environmental awareness. Nevertheless, of some 150 Italian ESCOs identified, only half of them have the technical and financial capacity to provide long-term performance contracts.

Efficiency had a larger percentage improvement in the *residential* sector than any other, mainly driven by efficiency improvements of space heating, water heating, lighting and appliances. Energy efficiency reduced energy consumption during a time when energy prices increased between 11% and 52%, easing the adverse impact on households.

Among the best practices described in the 11 country case studies in EEMR-2014, the Italian 55/65% tax deduction scheme is mentioned for its role in spreading a culture of energy efficiency. Between 2007 and 2013, more than 1.8 million applications were approved and around EUR 23 billion of investments by households were leveraged, at a cost of about EUR 13 billion in undiscounted foregone tax revenue.

In the *transport* sector, by 2020 an estimated USD 80 billion annually is expected to be spent on energy efficiency in passenger LDVs, and over the next ten years investment in this area is expected to represent over 60% of all incremental investment in energy efficient technologies worldwide. Energy efficiency improvements could reduce fuel expenditure by between USD 40 billion and USD 189 billion annually by 2020.

In the *industry* sector, energy management systems and programmes are receiving increasing policy attention. European industry associations in iron and steel, chemicals, and pulp and paper have developed long-term

roadmaps for sustainable development of their sectors, serving as a basis for dialogue with policy makers in the EU.

Come together: the multiple benefits of energy efficiency

Energy efficiency engenders a wide range of associated benefits, although measuring them is still a challenge. The IEA (2014b) highlights energy efficiency's potential to deliver a host of other benefits beyond energy demand and greenhouse gas emissions reduction. The multiple benefits approach aims to capture the fact that investment in energy efficiency can provide a range of benefits to many different stakeholders. For example, the reduction of energy demand and associated costs can enable investment in other goods and services, and help to achieve other objectives – such as improving the indoor environment or boosting industrial productivity. Thus energy efficiency contributes to a series of strategic objectives, five of which were investigated in detail in the *Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency* book: 1) macroeconomic development; 2) public budgets; 3) health and well-being; 4) industrial productivity; 5) energy delivery.



The impact of energy efficiency on macroeconomic variables can be measured through GDP, employment, trade balances and energy prices. Public budget impacts are closely linked to macroeconomic impacts such as reduced government expenditure on energy, increased tax revenues through greater economic activity, or reduced unemployment payments. Energy efficiency improvements in buildings contribute to occupants' health and well-being, particularly among vulnerable groups such as children or the elderly. Industrial energy efficiency measures, in addition to energy cost savings, enhance competitiveness and profitability, improve the working environment and reduce costs for operation and maintenance, and for environmental compliance.

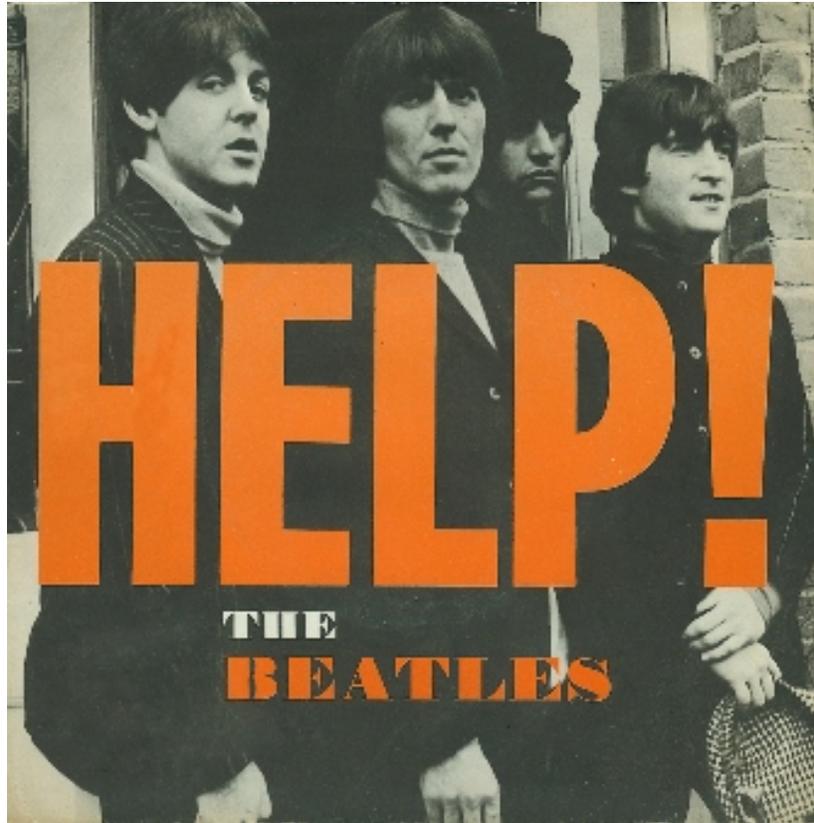
Even utilities and other energy providers gain in a variety of ways from energy efficiency measures, both directly, from lower costs for energy generation, transmission and distribution, and improved system reliability, and indirectly, from improved affordability of energy services, which in turn can reduce arrears and associated administrative costs for utilities.

In spite of the key strategic role of energy efficiency, projections reveal that under existing policies the vast majority of economically viable investments will not be made. Many barriers contribute to this result, one of the main ones being the lack of attention paid to energy efficiency investment opportunities both by public and private stakeholders relative to supply-side opportunities, including new resources such as shale gas and oil. The multiple benefits approach seeks to address this barrier by identifying and valuing the diverse benefits for stakeholders across a variety of areas.

Help! How to measure energy efficiency

To date, the broader impacts of energy efficiency have not been fully assessed, due to a lack of data and the absence of mature methodologies to measure their scope and scale. As a result, the degree to which energy efficiency enhances economic and social development is not well understood, and is generally considered in national policy making only in a qualitative way, if at all.

To inform the policy-making process and meet domestic and international objectives, it is important to develop and maintain well-founded energy efficiency indicators and to make good-quality, timely, comparable and detailed data available. Such data should reflect the distinct characteristics of economic activity and resources available in each country, going well beyond energy balance data. Wide variations exist in the way data on energy efficiency are collected from country to country. The IEA is currently looking to improve its data collection and produce more robust indicators in order to help craft more effective policies and monitor their progress.



A first difficulty in evaluation is that the market does not resemble traditional energy commodity markets, where prices adjust to changes in the supply and demand for fuels. Market data on traditional commodities are dispersed through multiple information channels, facilitating changes in behaviour and corporate investment. There is no equivalent medium of exchange or unit of trade in joules of energy avoided through energy efficiency adoption. Nevertheless, firms and consumers routinely make investment decisions with minimising energy consumption as one consideration. Replacing old technology with new often brings with it an embedded energy efficiency improvement, but defining and evaluating such an investment is complicated.

For these reasons, the lack of proper data to build meaningful indicators is still a problem. In many countries data on consumption for specific energy services (e.g. energy used to heat office buildings) are simply not available, nor are the corresponding activity data (floor area).

For decades, countries have used the data contained in energy balances as a mean of tracking energy consumption and developing aggregate indicators (such as total energy per capita). These indicators, although readily available, are of limited worth and can even generate misleading results when used inappropriately. For example, energy performance should not be assessed based on TFC per unit of GDP or per capita, given the other factors, such as climate and economic structure, influencing this indicator.

A different set of explanatory data will be needed depending on the end-use sector, influenced by varying underlying factors. Such data are not reported in energy balances but recent efforts by several countries have helped to develop indicators that provide important information for understanding past trends, assessing potential for energy savings and enhancing energy efficiency policies. Finally, data quality is a constraint, in particular in emerging economies and in cross-cutting areas such as smart grids and integration of heat and electricity systems.

To this end, two recent IEA manuals provide guidelines and best practices on energy efficiency indicators, addressing the growing request for guidance on what data to collect for what indicators and how (IEA, 2014d and IEA, 2014e). The first manual addresses the information needed for the development of energy efficiency indicators and provides more than 160 surveying, metering and modelling practices used worldwide. The second aims to provide policy makers and energy analysts with the tools needed to prioritise the development of energy efficiency indicators and to select the data and indicators that will best support energy efficiency policy making.

The analysis of multiple benefits also needs to be supported by a robust evidence base, and enhanced ways to measure, quantify and ideally monetise them. For example, although most governments have developed methodologies to estimate the public costs and benefits of a policy, the full range of public budget benefits are rarely estimated. Furthermore, energy delivery benefits have proven difficult to properly integrate into cost-effectiveness evaluations, and therefore have not been accurately measured. Multiple benefits assessment remains limited for

two main reasons: 1) methods for assessing the costs and benefits of non-market impacts have not been fully developed; 2) such assessments require more resources than more traditional policy evaluation methods.

Tomorrow never knows: energy efficiency scenarios

The *Energy Technology Perspectives* (ETP) of the IEA (2014a) offers a comprehensive, long-term view of energy system trends and technologies essential to meet goals for affordable, secure and low-carbon energy. Although security and economic growth remain important drivers of energy policy, it remains to be demonstrated that the system can move to a cleaner path. ETP analysis aims to provide a call for action so that governments can take the necessary steps. [3]



ETP 2014 focuses on *Harnessing Electricity's Potential*, reflecting an opportunity arising from the convergence of two trends: rapidly growing electricity demand at world level and the clear need for increased system integration. Electricity production uses 40% of world primary energy and produces a similar share of energy-based carbon dioxide emissions today. However, cost-effective and practical solutions exist that can

increase efficiency and reduce electricity demand as well as carbon emissions between now and 2050. ETP 2014 also analyses technology penetration, market creation and technology developments using interim 2025 benchmarks.

The IEA Energy Technology Network (ETN) contributes high-level RD&D to IEA analysis, with the advantage of a worldwide engagement. Implementing Agreements (IAs) are the core of the ETN and are relevant co-operation initiatives among IEA member countries and key partner countries. So far, IAs have involved more than 6 000 scientists and experts, representing 500 different organisations of various types. Over 1 400 projects have been completed to date.

Several types of *technologies* are needed to transform the global energy system. From IEA analysis, the contribution of *technologies for energy efficiency* is clear and outweighs that of renewables technologies. As much as 44% of emission reductions to 2025 can be delivered by end-use energy efficiency, whose emissions reduction potential by 2015 is 17 GtCO₂ in buildings, 13 GtCO₂ in transport and 11 GtCO₂ in industry. Apart from RES however, most technologies are not on track for the ETP 2014 2DS scenario. Focusing on end-use technologies, we can examine the transport, industry, electricity and building sectors in turn.

In the *transport sector*, fuel economy solutions for internal combustion engines are in place in most OECD countries and can deliver the largest fuel savings in the short term. Sales for hybrid and electric vehicles (HEV and EV) set new records and market shares for hybrid, plug-in hybrid and battery electric vehicles all grew in 2013. China is supporting these technologies: about 150 million electric two-wheelers are already on the road and the Clean Air Action Plan for Beijing predicts nearly a one third share of battery electric, plug-in hybrid or fuel cell vehicles of the 600 000 new vehicles in the next four years. Still, the overall rate of growth of HEV and EV was below previous years and, as a single year, 2013 was below 2DS trajectories. Fuel cell vehicles are receiving renewed attention: although they have lower energy efficiency than EVs, the energy density of hydrogen allows them to provide equivalent performance (range, power) to those of conventional vehicles.

Nevertheless, improving technology in isolation will not provide for the most cost effective solutions, and options for the transport system as a whole need to be considered. Urban development strategies, and integrated transport system analysis (including public transport, logistics, modal shift, infrastructure, functionality, information technology for transport, efficient management, etc.) are needed to identify the optimal pathway towards a sustainable transport system.

Industry needs to cut energy use and direct CO₂ emissions by 14% by 2025 to meet 2DS targets: IEA analysis shows that widespread application of best available technologies (BAT) could technically slash energy use by 11% to 26% in iron and steel, chemicals, cement, pulp and paper, and aluminium. Energy intensity is falling but increased production has offset efficiency improvements. To meet long-term targets, new technologies and processes need to be developed. Supporting RD&D programmes in collaboration with the private sector is necessary to bring new low-carbon technologies to technical and commercial maturity and demonstrate them.

The *building* sector is of particular concern, as efforts for energy efficiency are presently off track. The 2DS target for 2025 limits energy demand growth to 0.7% per year from 2012; the trend since 2000 is more than double that at 1.5% per year.

Mandatory codes for energy performance of new buildings and infrastructure are a priority in emerging and developing economies, while strategies for increasing the rate of building renovation to at least 2% and new minimum energy performance standards (MEPS) to stimulate innovation in the sector are a priority for European countries.

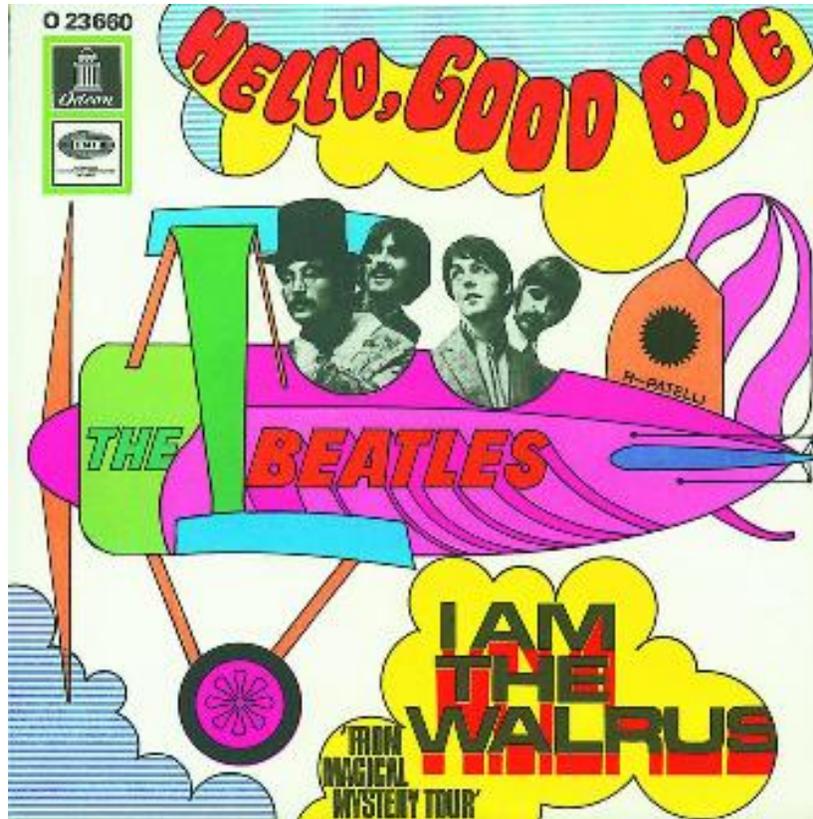
Global *electricity* demand associated with network-enabled devices is growing at an alarming rate (IEA, 2014f). More than 14 billion network-enabled devices are already in homes and offices; by 2020, the number is expected to reach more than 50 billion. Without concerted global policy action to improve their efficiency, the electricity demand of these devices is expected to double by 2025.

Technologies are also needed to efficiently integrate energy supply and energy demand. A certain amount of delay is affecting smart-grid deployment. Since it involves multiple stakeholders, many aspects remain ill-defined, such as roles and responsibilities, cost- and benefit-sharing, and metrics. Regulatory instruments and policies to address barriers, new business models to engage end users, and infrastructure planning are all essential for improved technology deployment. Research into integrated solutions (extension to the urban district level, renewables integration facilitated by storage) can reduce the overall cost of the clean energy transition. New opportunities can also be offered by research into social and comfort limits of demand-response (DR).

Technology forward look: *Hello, Goodbye*

Policy remains vital to the competitiveness of clean energy technologies and to reducing risk. Developing business models to attract private finance and reduce risk is particularly challenging.

Emerging technologies can capture new niche markets through innovative business models. It is the case, for example, of EVs in numerous urban mobility programmes being launched around the world. They have the potential to attract private finance to car-sharing business models, where up-front costs and driving range are of less concern for users than in a decision to buy a vehicle.



Energy technology innovation is core to enabling the transition to an economically viable and secure low-carbon energy system. The 2015 edition of Energy Technology Perspectives seeks to increase confidence in the feasibility of achieving short- and long-term climate change mitigation targets, especially timely in the context of United Nations climate negotiations in 2015. It will help decision makers identify tools to spur innovation – encompassing Research, Development, Demonstration and Deployment (RDD&D) processes – and to evaluate their effectiveness. This will support the coordination of public and private efforts to ensure that policy drivers and targets are matched by investments and market instruments.

Quality remains a broad concern for much energy data, particularly for emerging economies. The IEA is presently seeking input into the development of metrics for tracking technological progress, assessing impacts of policies and opportunities for improvement, and establishing partnerships to expand and improve data quality.

In this context, the “3 Es” IEA approach to energy policy (Energy security, Economic growth, Environmental sustainability) is being enriched by a fourth “E”: Engagement worldwide. More than half of global energy consumption now takes place outside IEA member countries. The IEA ETN also contributes to the establishment of such partnerships, through a new approach based on system thinking and target integration.

Partnering and engagement also mean coordinating with various energy stakeholders. The IEA has already established a wealth of collaborative mechanisms with public and private actors, as well as with other international organizations. In order to recognize the role that local governments will play in the implementation of the needed clean energy revolution, the IEA has also set up partnerships with local government networks and the forthcoming ETP 2016 will focus on urban energy systems and smart integration of local and national policy frameworks.

References

International Energy Agency (IEA) (2013), *Energy Efficiency Market Report 2013*

IEA (2014a), *Energy Technology Perspectives*, www.iea.org/etp/

IEA (2014b), *Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency*

IEA (2014c), *Energy Efficiency Market Report 2014*

IEA (2014d), *Energy Efficiency Indicators: Fundamentals on Statistics*

IEA (2014e), *Energy Efficiency Indicators: Essentials for Policy Making 2014*

IEA (2014f), *More Data, Less Energy*, www.iea.org/publications/freepublications/publication/MoreData_LessEnergy.pdf.

Wulfinghoff, Donald R. (2000), The Modern History of Energy Conservation: An Overview for Information Professionals, *Electronic Green Journal*, 1(13), <https://escholarship.org/uc/item/22f883rr>

[1] The 11 countries for which data were available are Australia, Denmark, Finland, France, Germany, Italy, Japan, the Netherlands, Sweden, the UK and the United States.

[2] The activity effect represents a change in final energy consumption due to a change in the demand for an energy service demand, while the structure effect points to technology switching. Finally, the fuel intensity effect explains energy changes caused by efficiency improvements.

http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/energymodel/documentation/Methodology_decomposition.pdf

[3] Maria van der Hoeven: "ETP 2014, Tracking clean energy progress" at Clean Energy Ministerial, Seoul, May 2014.

Interview with Maria Van der Hoeven, Executive Director of the International Energy Agency

Edited by Alessandro Federici, Ezilda Costanzo, Chiara Martini (ENEA)

- **The beginning was the oil crisis in 1973, a sort of big bang for energy efficiency...**

As you may know, the IEA was founded in response to the 1973-1974 oil crisis. Our initial role was to help countries coordinate a collective response to major disruptions in oil supply through the release of emergency oil stocks to the markets. Energy efficiency was a big part of that response.



Today, energy security remains a big concern for countries and energy efficiency continues to play an important part in country strategies to enhance security, whether it be in Europe, where concerns about gas emerge and re-emerge from time to time, or in Japan, for which energy efficiency has consistently played an important role in that country's efforts to manage its reliance on imported fuels.

And over the recent past, energy efficiency has emerged as a large and valuable contributor to sustainable development and emissions reduction efforts: the link there is clear. In IEA scenarios for limiting global temperature increase to 2 degrees Celsius, fully 40% of necessary

greenhouse gas emissions reduction will have to come from energy efficiency.

Of course the benefits from energy efficiency are not limited to IEA countries. Energy efficiency is also helping to dampen the growing energy consumption in emerging countries, strengthening their ability to generate sustainable economic growth. Without these improvements in efficiency the energy system would have been significantly more strained than it is today in providing energy, security and economic opportunities to the world.



Indeed, energy efficiency lies at the nexus of the three overlapping challenges that confront the world in terms of energy policy – energy security, sustainability and economic development. IEA analysis consistently identifies energy efficiency as the major contributor to potential cuts to carbon emissions, reductions in local pollution

and cost-effective energy security. Simply put, the cleanest megawatt hour will be the one we never need, and the most secure barrel of oil the one we never burn. It is also often the cheapest, and the easiest to achieve in difficult conditions. But energy efficiency opportunities really make up an interlinked constellation – between transport, industry, buildings and the like. And understanding that constellation as a market is a relatively new undertaking. We now treat energy efficiency as we would any fuel such as oil, gas, coal or renewables. In fact, in 2013 we added energy efficiency to the suite of fuel market reports prepared by the IEA.

- **Nowadays, the IEA refers to energy efficiency as the First Fuel...**

This is because, in 2011, energy savings from continued improvements in the energy efficiency of 11 IEA member countries ^[1] exceeded the total final consumption from any single fuel source in these countries.

The contribution of efficiency to meeting rising world energy service demand is enormous. Energy efficiency markets deliver goods and services that reduce the energy required to fuel our economies, and the market for energy efficiency is as diffuse as consumption patterns themselves.

What is not always so clear is the valuable role that energy efficiency plays in the world economy. The market for energy efficiency investments is very large: the *Energy Efficiency Market Report 2014* estimates that it is larger than USD 310 billion and growing. Much of that investment needs financing, and we see that energy efficiency is moving from a niche interest to an established finance market segment, with increasing interest from institutional lenders and investors.

All of this investment is significantly shaping our energy system. The steady improvement in the energy efficiency of our cars, homes, appliances and other energy-consuming equipment over the last four decades has driven total final consumption 60% lower than what it hypothetically would have been in IEA countries – saving more energy than the total final consumption of any fuel.

Looking to the future, the potential savings from efficiency are huge. But we need to develop these markets now to better tap this huge potential. Seen in these terms, the data show efficiency not just to be a “hidden fuel”, but actually the “first fuel” now and going forward and I do hope that IEA work will help policy makers and other stakeholders, including the business and financial communities, to better realise how these markets are growing now and should grow even faster in the coming years.

Indeed, policy makers, standards development organisations, software and hardware developers, designers, service providers and manufacturers all have a key role to play. We already know that when all parts of the sector work together, massive savings can be realised on behalf of consumers. Energy efficiency policies play an important role in galvanising action across the value chain to reduce unnecessary energy demand.

- **Is this a mature market? Are the investments sufficient to sustain a market that can deliver the potential of energy efficiency?**

As the Energy Efficiency Market Report 2014 highlights, there is huge diversity in energy efficiency market maturity worldwide, with utility and ESCO markets in countries like the United States and China developing well. There are also gaps and sub-optimal investments: in different markets some products take off while others lag behind. Rarely do we take an integrated approach to energy efficiency investments – there are few one-stop shops for integrated solutions – gaps remain. There is a need for better policy design to ensure that markets are understood, enabled and encouraged.

The world doesn't fully understand the outcomes that energy efficiency delivers. For example, insulation installed in older homes results in health benefits that can be monetised. The market players that deliver these services don't reap the health benefits directly, but families and government health budgets are getting a far greater return than the value of their "saved" energy alone. The IEA has advanced this with its publication *Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency*.

We clearly have much work to do but the energy efficiency market is growing in stature and maturity. In some ways it is developing more rapidly than the ability to properly evaluate and understand it. A particular priority is to improve our capability to measure the size, nature and impact of energy efficiency markets and the outcomes from investments made in them. We are addressing this through our *Energy Efficiency Market Report* series. Stakeholders must address the urgent need for better data to support stronger systems of measurement.

- **What are the reasons for the recent growth?**

The recent growth of this market has been driven by effective policy and high or volatile energy prices. Policies like energy standards, labelling, access to assessments and financing, and obligations on suppliers have proved crucial – but they need to be honed to maximise efficiency

benefits and minimise economic impact. Countries are taking energy efficiency seriously, judging from their stated policy goals.

In the transport sector, high oil prices and price volatility have in the past had a major impact on transport efficiency. Now that the oil price is much lower, policies such as fuel economy standards and minimum energy performance standards, that may at first have been introduced in response to high prices, have a lock-in effect in making sure we do not lose the gains we have made from energy efficiency. And while, in the short-term, lower energy prices might distract people from the need to continue to push for energy efficiency gains, it is important to maintain momentum moving forward, given the energy security and other multiple benefits that energy efficiency delivers. Meanwhile, the current low oil prices are a window of opportunity for policy makers to cut fossil fuel subsidies and support longer-term energy and climate goals.

- **Notwithstanding the new perspective and the encouraging figures stemming from the implementation of effective policies, a very big share of the potential for energy efficiency will remain untapped...**

The IEA has been advocating for energy efficiency for some time, and so I am pleased that energy efficiency has finally become a focal point of energy policies. And yet our analysis shows that by 2035, two-thirds of the economic potential for energy efficiency will remain untapped under current policies and practices. A key reason for this is the persistence of market barriers around information and salience. To change this, we need to start recognising the importance of energy efficiency for delivering benefits in real terms. We need to put a face on energy efficiency and change the narrative. This is why the IEA has been reaching out with the Energy Efficiency Market Report series and the Multiple Benefits book.

- **What about the financing of energy efficiency?**

The finance market is expanding and innovating in all different types of new products and the market is establishing itself as a real business opportunity. Both the number of products and the volume of finance

offered for energy efficiency loans are also greatly expanding. Green bonds, Energy Performance Contracts, carbon and climate finance, and development banks are all offering expanded flows of finance. As energy efficiency is essential to meeting our climate goals without hindering economic growth, the increasing use of finance is a welcome development. To fully expand this market, initiatives to continue to reduce barriers will need to strengthen. Investments in energy efficiency are still less than two-thirds of the level of fossil fuel subsidies – which encourage wasteful and inefficient consumption.

- **What is the importance of energy technology development and international collaboration on RD&D for the IEA?**

Since 1974 the IEA has established a structure for governments to carry out collaborative RD&D to conserve existing resources, develop alternative energy sources, and improve energy efficiency.

IEA multilateral technology initiatives (known as Implementing Agreements – IAs) are flexible mechanisms for collaborative RD&D. They provide: technical analysis, data, benchmarks, recommended practices, online tools, expert networks, project financing, personnel exchanges and even pilot plants.

The IEA Energy Technology R&D Network (ETN) enables specialists from institutions, industry, governments to advance hundreds of technologies worldwide. IAs' results provide practical means to fulfil national energy strategies and sound knowledge to support decision making. Moreover, they give input to high level mechanisms like UNFCCC and the Clean Energy Ministerial.

More than half of global energy consumption now takes place outside the IEA region and countries like Brazil, China, India, Russia, South Africa, Mexico, Kazakhstan and Singapore participate in the IEA collaborative RD&D network.

- **Turning now to the regional level, how is Europe progressing towards the 2020 climate and energy goals?**

There is no doubt that the EU has emerged as a global leader in the transition to a low-carbon economy and is on track towards its Kyoto and 20% GHG reduction target for 2020. Since 1990, GHG emissions have decreased by 19.2% and the carbon intensity of GDP in the EU has fallen by 40.9%. Today, the EU has a lower carbon intensity than non-European IEA members. Likewise, the energy intensity of GDP has fallen by 31.5% since 1990, and is now at the level of Japan, and lower than Canada, the United States and Australia.

It is fair to say that the economic crisis led to a strong reduction in energy consumption by industry – a 14% decrease in 2007-2012. But the EU has also made strong progress through the growing deployment of renewable energies and EU energy efficiency action on vehicle fuel standards, ecodesign and buildings. The EU leads efforts to reduce CO₂ emissions from passenger cars. Improvements are being made within the Energy Performance of Buildings, Ecodesign and Energy Efficiency Directives and the EU funds dedicated to energy efficiency.

Depending on the scale of economic recovery, achieving the 20% energy efficiency target by 2020 may be challenging. Progress will depend on: the further implementation of EU energy efficiency policies by Member States; the scaling up of energy efficiency investments to finance retrofits in existing buildings; and the encouragement of demand-side management by consumers through smart meters and grids.

- **What is your opinion about the EU 2030 targets?**

EU 2030 targets are ambitious and confirm the EU's leadership on climate and energy issues. However, they are only ambitions at this stage. The legal framework is yet to be defined, notably on energy efficiency the ambitions are indicative at best. Looking at the lessons learned from the 2020 targets, Europe has a long and costly transition ahead, if no measures are put in place to benefit from an EU wide approach. As Member States adopt different energy policy choices and decarbonisation pathways towards 2030, a strong "Energy Union" is needed to achieve the EU 2030 goals. The 2030 framework will need to embrace both a strong legal framework and new, stringent governance

with co-ordination between national and EU levels and across EU energy, climate, industry, trade and competition areas. [2] The Energy Union promises to take forward such a new approach.

The IEA has been supportive of the EU's 2030 ambition for energy efficiency, including the review in 2020 of whether to increase the target to 30%. For the review, it will be important for the EU to gather further evidence on the multiple social and economic benefits from energy efficiency, that have not yet been fully taken into account in their analysis.

- **And finally, what about Italy?**

Italy was a rich case study in the *Energy Efficiency Market Report 2014*. Italy's total final energy consumption dropped by 12% from a peak of 139 Mtoe in 2005 to 123 Mtoe in 2012, driven by combined ongoing impacts of the 2008 financial crisis and energy efficiency investments. Italy has thus managed to maintain its long-term trend towards lower energy intensity.

With comparatively high energy prices and significant exposure to energy imports, Italian energy efficiency programmes are working to save 13 million tonnes of oil equivalent per year. New Italian targets for energy efficiency are more ambitious, with plans to reduce 20 Mt per year by 2020 while saving EUR 9 billion in energy costs. Of the countries we reviewed, these actions place Italy as a leader in supporting growth for the energy efficiency market. Italy is also one of the 11 member countries I mentioned earlier that collects very good data on energy efficiency. Total Italian activity could mobilise more than EUR 50 billion of investment by 2020. Energy efficiency is a key goal in Italy, not just for improving its energy security, but also for increasing its competitiveness.

[1] The 11 countries evaluated are Australia, Denmark, Finland, France, Germany, Italy, Japan, the Netherlands, Sweden, the United Kingdom and the United States

[2] http://www.iea.org/newsroomandevents/speeches/141201_EU_IDR_Speech.pdf

Quarto rapporto annuale efficienza energetica

Presentiamo qui gli elementi salienti del rapporto annuale efficienza energetica 2015. Da esso risulta che, grazie alle politiche nazionali per l'efficienza energetica, l'Italia ha risparmiato oltre 7,5 milioni di tonnellate petrolio equivalenti all'anno nel periodo 2005-2013. Rispetto al Piano nazionale per l'efficienza energetica 2014, dal Rapporto emerge che gli obiettivi al 2020 sono stati già raggiunti per oltre il 20%, con residenziale (35,7% dell'obiettivo) e industria (26,6%) tra i settori che hanno maggiormente contribuito a questo risultato. Forti risparmi potrebbero derivare dal settore agro-alimentare tramite la diffusione di tecnologie efficienti nella logistica e nella grande distribuzione organizzata. Un ruolo chiave spetta alle banche: l'86% degli istituti di credito ha messo a punto prodotti dedicati all'efficienza, che necessitano di linee guida per la replicabilità dei progetti e di audit e rating per valutarne la qualità

DOI: 10.12910/EAI2015-054

Nino Di Franco, Ilaria Bertini, Alessandro Federici, Roberto Moneta

*Nino Di Franco, Ilaria Bertini, Alessandro Federici, Roberto Moneta
ENEA, Unità Tecnica Efficienza Energetica*

Contact person: Alessandro Federici
alessandro.federici@enea.it

Il contesto internazionale e nazionale

Grazie al ruolo sempre più rilevante dell'efficienza energetica affermatosi nelle politiche internazionali, essa è stata riconosciuta dall'Agenda Internazionale dell'Energia (AIE) come il “primo combustibile”, allo stesso livello di ogni altra risorsa energetica e in

grado di contribuire alle tre sfide più rilevanti che le politiche energetiche mondiali si trovano a dover fronteggiare: la sicurezza energetica, la sostenibilità e lo sviluppo economico.

A partire dal 1970, l'energia risparmiata attraverso l'efficienza energetica (1.337 Mtep) è stata maggiore dell'offerta mondiale di petrolio (1.202 Mtep), elettricità (552 Mtep) o gas naturale (509 Mtep) del 2011 e superiore al consumo finale dell'Unione Europea nel 2011 di tutte le fonti di energia (1.139 Mtep).



Tetti dei diversi stabilimenti che compongono l'insediamento produttivo di Eli Lilly a Sesto Fiorentino, impermeabilizzati con speciali membrane realizzate da Derbigum

Le analisi globali svolte dall'AIE mostrano come nel 2050 il 40% dell'energia dovrebbe provenire dai guadagni di efficienza energetica. Anche per questo motivo, il mercato dell'efficienza energetica sta ricevendo un'attenzione sempre crescente da parte delle istituzioni, testimoniata dal lancio nel 2014 di un Piano d'Azione per l'Efficienza Energetica da parte del Gruppo dei 20 (G20).

Nonostante tale ruolo strategico, le proiezioni rivelano che, nell'ambito delle attuali politiche, la maggior parte degli investimenti economicamente validi in efficienza energetica rimarrà irrealizzato.

Purtroppo proprio la scarsità degli investimenti potrebbe risultare la causa principale per il mancato conseguimento degli obiettivi fissati per il risparmio e per l'efficienza energetica. Per l'Europa è stato calcolato, infatti, che saranno necessari 100 miliardi di euro annui di investimenti per portare il risparmio energetico all'obiettivo del 20% per il 2020.

Nel 2012 l'Unione Europea ha ampiamente evidenziato questi pericoli sottolineando, nella Direttiva Europea sull'Efficienza Energetica, la necessità di:

- prevedere nuovi strumenti finanziari nel settore dell'efficienza energetica;

- sostenere lo sviluppo di una robusta rete di investimenti in questo settore;
- superare le barriere che impediscono la diffusione delle tecnologie per il risparmio energetico;
- consolidare e incrementare il flusso informativo verso gli stakeholder.

In Italia, il recepimento della Direttiva sull'Efficienza Energetica (Decreto Legislativo 102/2014) e il Piano d'Azione per l'Efficienza Energetica del 2014 (PAEE 2014) rappresentano ulteriori passi in avanti nel potenziamento della policy in questo settore, ai fini del raggiungimento dell'obiettivo fissato al 2020 di una riduzione dei consumi di energia primaria di 20Mtep l'anno, pari a 15,5 Mtep di energia finale (Tabella 1).

Settore	Misure previste nel periodo 2011-2020					Risparmio atteso al 2020	
	Articolo 7 Direttiva			Altre misure			
	Regime obbligatorio	Misure alternative					
	Certificati Bianchi	Detrazioni fiscali	Conto Termico	Standard Normativi	Investimenti mobilità	Energia Finale	Energia Primaria
Residenziale	0,15	1,38	0,54	1,60		3,67	5,14
Terziario	0,10		0,93	0,20		1,23	1,72
PA	0,04		0,43	0,10		0,57	0,80
Privato	0,06		0,50	0,10		0,66	0,92
Industria	5,10					5,10	7,14
Trasporti	0,10			3,43	1,97	5,50	6,05
Totale	5,45	1,38	1,47	5,23	1,97	15,50	20,05

Tabella 1 - Obiettivi di efficienza energetica al 2020 in energia finale e primaria (Mtep/anno) -
Fonte: PAEE 2014

Nel nostro Paese il regime obbligatorio previsto dalla Direttiva sull'efficienza energetica è basato sul meccanismo dei Certificati Bianchi: esso dovrà garantire il conseguimento di un risparmio energetico non inferiore al 60% dell'obiettivo di risparmio energetico nazionale cumulato. Il restante volume di risparmi di energia sarà ottenuto grazie alle vigenti misure di incentivazione degli interventi di incremento dell'efficienza energetica.

Il provvedimento istituisce, inoltre, il Fondo nazionale per l'efficienza energetica, un importante strumento finanziario di supporto alla riqualificazione energetica degli edifici della Pubblica Amministrazione

e agli interventi per la riduzione dei consumi di energia nei settori dell'industria e dei servizi. Una specifica sezione del Fondo è dedicata a sostenere gli investimenti in reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento.

Le risorse finanziarie complessive per l'attuazione delle misure ammontano complessivamente a oltre 800 milioni di euro. Per garantire un coordinamento ottimale degli interventi attivati attraverso il Fondo e le misure per l'efficienza energetica, il Decreto ha previsto un'apposita cabina di regia, istituita di recente: tra i suoi primi obiettivi, la rapida attuazione del programma per la riqualificazione energetica degli edifici della Pubblica Amministrazione, per il quale il Governo ha stanziato risorse per 350 milioni di euro per il periodo 2014-2020.

Domanda di energia

Nel 2013 l'andamento della domanda di energia primaria ha confermato il suo trend negativo: il consumo interno lordo è risultato pari a circa 173 Mtep, con una diminuzione dell'1,9% rispetto al 2012.

In dettaglio, il gas naturale ha registrato un consumo allo stesso livello di quello del petrolio (57,4 Mtep). Le rinnovabili sono state l'unica fonte energetica primaria che ha registrato un incremento (+27,2%), con un contributo relativo del 19,6%. I combustibili solidi hanno contribuito con una quota dell'8,2%, mentre il contributo dell'energia elettrica importata è stato pari al 5,4% (Figura 1).

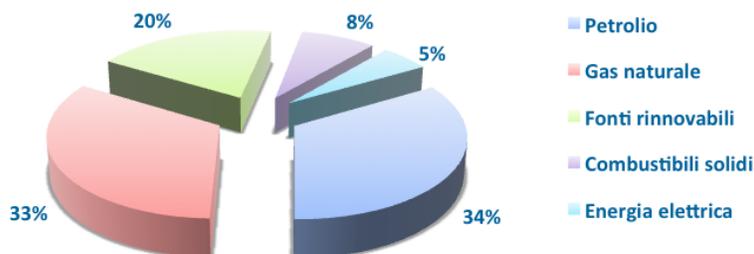


Figura 1 - Domanda di energia primaria per fonte (%), anno 2013 -
Fonte: Ministero dello Sviluppo Economico

La composizione percentuale della domanda per fonte conferma la specificità italiana, nel confronto con la media dei 28 paesi dell'Unione Europea, relativamente al maggior ricorso al gas naturale, all'import strutturale di elettricità, al ridotto contributo dei combustibili solidi e al mancato ricorso alla fonte nucleare.

Impieghi finali di energia

Nel 2013 gli impieghi finali di energia sono stati pari a 126,6 Mtep, in calo dell'1% rispetto al 2012: confermata pertanto la tendenza alla diminuzione riscontrata a partire dal 2010 che, di fatto, ha riportato i valori dei consumi finali agli stessi livelli registrati nel 1997.

Per quanto riguarda la distribuzione settoriale dei consumi osservata nel 2013, il settore civile assorbe il 39,1% dell'energia destinata agli impieghi finali, seguito da trasporti (29,9%) e industria (22,3%). L'energia finale rimanente (11,1 Mtep) è utilizzata nel settore agricoltura (2,2%), bunkeraggi (1,9%) e usi non energetici (4,7%), in particolare nel comparto del petrolchimico (Figura 2).

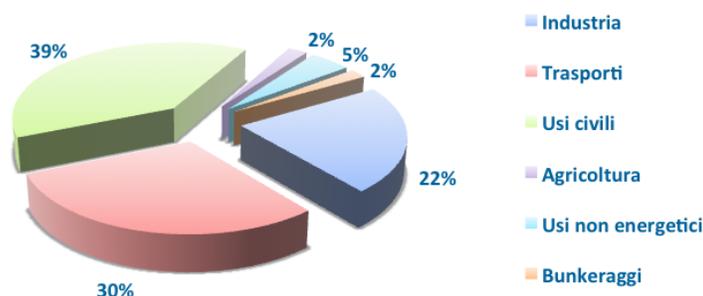


FIGURA 2 - Impieghi finali di energia per settore (%), anno 2013 -
Fonte: Ministero dello Sviluppo Economico

Intensità energetica

L'intensità energetica primaria italiana del 2013 è stata pari a 122,27 tep/M€₂₀₀₅, costante rispetto al valore del 2012, a fronte di una riduzione del PIL dell'1,9%. L'Italia mostra un'intensità energetica primaria inferiore alla media dei 28 paesi dell'Unione Europea (-17,2%) e di quelli appartenenti alla Zona euro (-14,2%) (Figura 3). La distanza da questi due gruppi si sta costantemente riducendo: nel 1995 la differenza tra Italia e la media dei paesi della Zona euro era di circa 40 tep/M€₂₀₀₅; nel 2013 di circa 20 tep/M€₂₀₀₅.

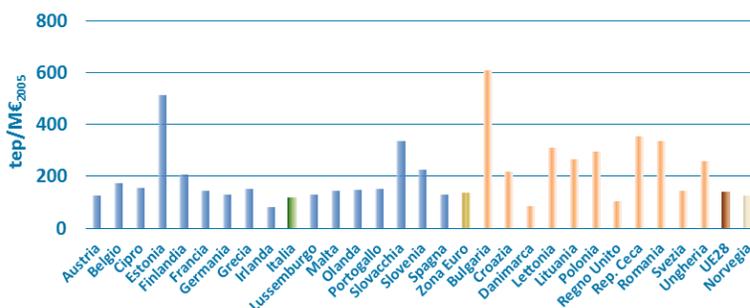


FIGURA 3 - Intensità energetica primaria dei Paesi UE-28 (tep/MEuro2005), anno 2013 - Fonte: EUROSTAT

Analisi del conseguimento degli obiettivi indicativi nazionali di risparmio energetico

Grazie alle politiche e alle misure messe in campo negli ultimi anni, il risparmio complessivo al 2013 di energia finale derivante dalle misure analizzate risulta pari a 7,55 Mtep/anno.

Il ruolo principale è stato dei settori residenziale e industriale: infatti già lo scorso anno, in anticipo sulla tabella di marcia, il settore industriale ha superato abbondantemente l'obiettivo prefissato al 2016 nel PAEE 2011.

Rispetto ai nuovi obiettivi vincolanti al 2020 derivanti dal recepimento della Direttiva 2012/27/UE e dal PAEE 2014, l'Italia continua il suo percorso virtuoso. Per il 2013 il risparmio energetico conseguito è circa il 21% dell'obiettivo finale (oltre 3,2 Mtep/anno, Tabella 2).

Settore	Decreto Legislativo 192/05	Certificati Bianchi	Detrazioni fiscali	Ecoincentivi e Regolamenti Comunitari	Altre misure	Risparmio energetico		Obiettivo raggiunto (%)
						Conseguito al 2013*	Atteso al 2020	
Residenziale	0,75	0,29	0,33		0,01	1,31	3,67	35,7%
Terziario	0,02	0,04	0,01			0,07	1,23	5,6%
Industria	0,06	1,28	0,02			1,36	5,10	26,6%
Trasporti				0,45	0,02	0,47	5,50	8,6%
Totale	0,83	1,61	0,35	0,45	0,03	3,21	15,50	20,7%

* Al netto di duplicazioni

TABELLA 2 - Risparmi energetici annuali conseguiti per settore, periodo 2011-2013 e attesi al 2020 (energia finale, Mtep/anno) - Fonte: elaborazione ENEA

In particolare, sono state analizzate le seguenti misure:

- Meccanismo dei Titoli di Efficienza Energetica o Certificati Bianchi: nel periodo 2011-2013 lo strumento ha contribuito con un risparmio energetico in energia primaria di oltre 2,05 Mtep/anno (equivalenti a circa 1,61 Mtep/anno di energia finale). Per raggiungere tale obiettivo sono state utilizzate sia le schede standard e analitiche sia quelle a consuntivo: il contributo complessivo delle due tipologie è pressoché paritario, ma con una significativa inversione di tendenza a favore delle schede a consuntivo registrata a partire dal 2010.
- Riconoscimento delle detrazioni fiscali (55/65%) per la riqualificazione energetica degli edifici esistenti: il risparmio complessivo di energia primaria è stato di poco superiore a 0,37 Mtep/anno, equivalenti a poco più di 0,35 Mtep/anno di energia finale. Tale misura è stata recentemente riconosciuta come *best practice* dall'AIE, con particolare riferimento al suo ruolo nella diffusione di una cultura dell'efficienza energetica a livello puntuale sul territorio nazionale. Infatti, tra il 2007 e il 2014 sono stati realizzati più di 2 milioni di interventi, e al 2013 sono stati investiti circa 22 miliardi di euro da parte delle famiglie, con un costo di circa 13 miliardi di euro di mancato gettito fiscale.
- Conto Termico: dall'avvio della misura nel mese di luglio 2013 fino a novembre 2014 sono state presentate al Gestore Servizi Energetici SpA (GSE) circa 9.000 richieste (di cui quasi 6.000 nel 2014). La spesa impegnata ha superato i 22 milioni di euro. Trattandosi di

interventi prevalentemente ancora in fase di realizzazione, non è stato possibile stimare il risparmio energetico conseguito.

- Recepimento della Direttiva 2002/91/CE e attuazione del Decreto Legislativo 192/05 con riferimento alla prescrizione di Standard Minimi di Prestazione Energetica degli edifici: il risparmio complessivo in termini di energia finale è stato di circa 0,83 Mtep/anno, derivanti principalmente dalla sostituzione di impianti termici negli edifici ad uso residenziale.

La metà di questi risparmi deriva dal meccanismo d'obbligo dei Certificati Bianchi, mentre se ci soffermiamo sui vari settori, il residenziale ha già conseguito oltre un terzo dell'obiettivo atteso e l'industria oltre un quarto.

La valutazione del costo-efficacia degli strumenti di incentivazione attuati premia i Certificati Bianchi con un valore pari a 0,0085 €/kWh (Tabella 3), di oltre sette volte inferiore rispetto alla media registrata per le detrazioni fiscali del 55/65%. All'interno del meccanismo dei Certificati Bianchi, il costo efficacia si riduce ulteriormente per gli interventi relativi alla Cogenerazione ad Alto Rendimento (0,0018 €/kWh).

Nell'ambito degli interventi di riqualificazione energetica incentivati dal meccanismo delle detrazioni fiscali, la riqualificazione globale dell'edificio rimane la misura con il rapporto costo-efficacia più basso, pari a 0,0415 €/kWh.

Misura	Contributo erogato (M€)	Vita utile (anni)	Contributo annuale (M€/anno)	Risparmio conseguito (GWh/anno)	Costo efficacia (€/kWh)	
Certificati Bianchi	3.359	10	336	39.530	0,0085	
di cui Cogenerazione ad Alto Rendimento	154	10	15	8.747	0,0018	
Detrazioni Fiscali 55/65%	Riqualificazione globale	438	20	22	527	0,0415
	Strutture opache e infissi	6.457	20	323	3.894	0,0829
	Climatizzazione invernale	3.571	12	298	4.319	0,0689
				Media pesata	0,0682	

TABELLA 2 - Risparmi energetici annuali conseguiti per settore, periodo 2011-2013 e attesi al 2020 (energia finale, Mtep/anno) - Fonte: elaborazione ENEA

La riqualificazione del patrimonio edilizio

Negli ultimi anni, il settore delle costruzioni ha beneficiato dell'unico apporto positivo del comparto della manutenzione edilizia (ordinaria, ma soprattutto straordinaria), che ha mitigato i pesantissimi effetti della crisi del settore a partire dal 2008. Infatti, dell'intero valore della produzione cumulato dal settore delle costruzioni nel 2013 (stimato dal CRESME in 174,6 miliardi di euro), circa il 67% è riconducibile ad interventi di manutenzione straordinaria e ordinaria sul patrimonio esistente. Tale percentuale è in fortissima crescita: basti pensare che dal 2006 al 2013 la quota di rinnovo sul totale della produzione edilizia è passata dal 55,4% al 66,9%. Tale dato testimonia la trasformazione che sta caratterizzando attualmente il settore, sempre più orientato verso la riqualificazione (statica, funzionale ed energetica) degli edifici.

Rispetto al totale dell'attività di rinnovo edilizio, il peso degli interventi agevolati, sia di carattere generale (36%, poi 41% e 50%), sia mirati alla riqualificazione energetica degli edifici (55%, poi 65%), si può quantificare in circa il 20% per l'edilizia residenziale e nel 15% riguardo al complesso del settore civile (residenziale e non residenziale). Nel 2012 e 2013, con le importanti modifiche legislative che hanno innalzato la somma massima detraibile per le spese di ristrutturazione ed elevato i limiti massimi di costo agevolabile, il peso relativo di questi interventi sul rinnovo è salito al 26% sul residenziale e al 18% sul totale.

Gli investimenti attivati che hanno usufruito delle detrazioni sono stimati, per il 2013, in circa 27,5 miliardi di euro, di cui circa 4 miliardi ascrivibili agli interventi di riqualificazione energetica. A tali investimenti corrispondono circa 274.000 occupati diretti e 411.000 complessivi (compreso l'indotto). Di questi, la quota parte della riqualificazione energetica ammonta a 40.000 diretti e 60.000 complessivi. Considerando l'intero periodo 2007-2014, l'impatto occupazionale è stimato in 271.000 lavoratori diretti e 406.000 complessivi, con un trend in forte accelerazione nell'ultimo biennio. Tali valori risultano ancora più significativi considerando che nel 2013 il settore ha perso circa 163.000 occupati.

In ottica futura, per rispondere alle indicazioni della Direttiva 2012/27/UE relativamente alla riqualificazione del patrimonio

immobiliare pubblico, il già citato Decreto Legislativo 102/2014 prevede piani settoriali per l'efficienza energetica. Il principale è dedicato alla Riqualificazione Energetica delle Pubbliche Amministrazioni Centrali (PREPAC), insieme alla Strategia per la Riqualificazione Energetica del Parco Immobiliare Nazionale (STREPIN), finalizzata a mobilitare investimenti nella ristrutturazione del parco nazionale degli edifici, e al Piano d'azione per gli edifici ad energia quasi zero (PANZEB).

A supporto dei Piani di riqualificazione degli edifici, l'ENEA ha recentemente predisposto delle Linee guida per l'attuazione della legislazione sull'esercizio, la manutenzione e il controllo degli impianti termici degli edifici. Il documento affronta gli aspetti procedurali che vedono coinvolti utenti e autorità competenti, quali la trasmissione dei rapporti di efficienza energetica, le ispezioni, le modalità comportamentali e gli obblighi dei responsabili degli impianti termici e degli ispettori.

Per l'attuazione della PREPAC e della STREPIN potrà giocare un ruolo importante il Patto dei Sindaci, un'iniziativa volontaria dell'UE rivolta agli enti locali di cui l'Italia è il primo Paese per numero di firmatari, coordinatori e sostenitori: a marzo 2015, dei 5.714 Enti Locali europei firmatari del Patto, oltre la metà sono italiani (3.028). Tra questi figurano le città più grandi e 2.400 Comuni italiani si sono già dotati del Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile (PAES).

Nel suo ruolo di Coordinatore Nazionale, l'ENEA ha costituito il *Forum dei Coordinatori italiani del Patto dei Sindaci* per condividere le buone pratiche finora attuate e accompagnare i Comuni nella pubblicazione periodica dei Rapporti sullo stato di attuazione del Piano ed i relativi risultati intermedi.

Tale azione ha l'obiettivo di rendere il PAES non solo un piano a lungo termine per integrare le politiche più adatte, efficaci e *cost-effective* sviluppate in vari settori, ma anche un mezzo per accelerare la transizione energetica. A tal fine l'ENEA ha incoraggiato la redazione di PAES congiunti, adottando percorsi condivisi ed omogenei negli aspetti tecnici e amministrativo-finanziari, considerando anche i diversi strumenti di riferimento quali i Fondi Strutturali 2014-2020, Horizon

2020, i fondi della Banca Europea per gli Investimenti e quelli disponibili a livello nazionale e regionale.

Il mercato dell'efficienza energetica e gli strumenti finanziari disponibili

L'indagine sull'offerta di prodotti e servizi per l'efficienza energetica curata dall'ENEA, in collaborazione con Confindustria, ha coinvolto circa 43.000 addetti, di cui circa 11.000 specializzati in un'attività del settore dell'efficienza energetica. Le aspettative per il prossimo triennio risultano buone: il 33,6% delle aziende prevede di aumentare i propri investimenti rispetto agli ultimi tre anni (Figura 4).

La trasparenza viene indicata come caratteristica ritenuta fondamentale delle politiche per l'efficienza energetica, in termini di chiarezza delle norme, semplificazione delle procedure e stabilità delle risorse finanziarie disponibili (Figura 5).

Le ESCo intervistate confermano la rilevanza della trasparenza e attribuiscono importanza anche all'implementazione del meccanismo dei Certificati Bianchi, strumento particolarmente utilizzato. Le aspettative di investimento di questo comparto sono migliori rispetto alla media del campione, risultando in crescita per oltre il 55,6% (Figura 6).

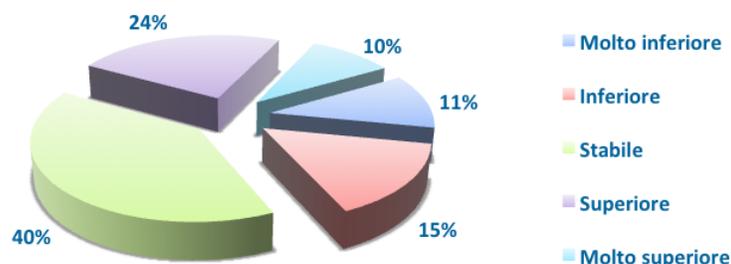


FIGURA 4 - Aspettative di investimento per i prossimi 3 anni, rispetto ai 3 anni passati - Fonte: ENEA

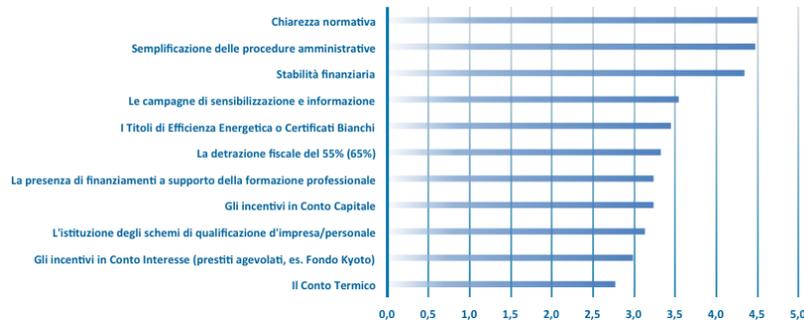


FIGURA 5 - Giudizio sulle caratteristiche delle politiche e alcune misure specifiche in atto (punteggio da 1 a 5) - Fonte: ENEA

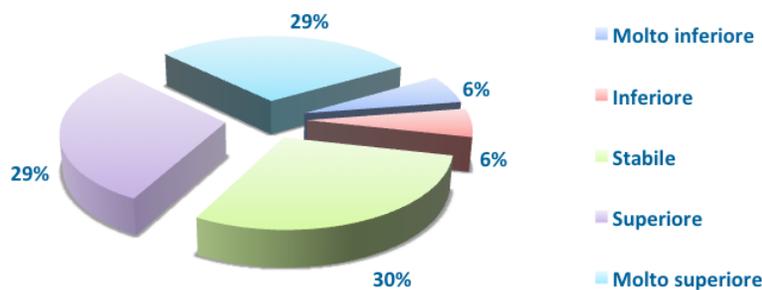


FIGURA 6 - Aspettative di investimento delle ESCo per i prossimi 3 anni rispetto ai 3 anni passati - Fonte: ENEA

L'indagine sulle *utilities* svolta da AGICI evidenzia come esse stiano allargando la loro offerta verso servizi addizionali post contatore, come generazione distribuita, rinnovabili termiche, efficienza di sistemi elettrici e termici, beni *energy saving* e servizi assicurativi.

Per quanto riguarda il mercato domestico, le filiere di estensione dell'*offering* sono molto coerenti con l'offerta energetica esistente, come nel caso della vendita dei beni *energy saving*, quali lampade a LED, TV, biciclette elettriche. Altri business hanno potenzialità e attrattività relativamente più elevate, ma richiedono competenze specifiche, come nel caso dell'attività di installazione/manutenzione di impianti elettrici e di generazione distribuita.

Per il settore industriale il business più attrattivo è sicuramente quello della generazione distribuita, non presentando particolari complessità in

quanto le dimensioni dei nuovi impianti sono comparabili a quelle degli impianti già gestiti da molte *utilities* per la loro produzione.

Al fine di sviluppare pienamente tale ingente potenziale, sia dal lato delle *utilities* che da quello delle imprese, l'aspetto cruciale risulta essere quello della capacità di finanziamento dei progetti, per i quali è a disposizione una molteplicità di soggetti finanziatori e di strumenti (Tabella 4).

Finanziatori	Strumenti di finanziamento
Banche di sviluppo	Banca Europea degli Investimenti – Fondo ELENA
	Banca Europea degli Investimenti – Fondo JESSICA
	Fondo Europeo per l'efficienza energetica
	Cassa Depositi e Prestiti – Plafond Casa
Unione Europea & Governo	Fondi FESR, FEASR & FSE
	Fondo nazionale per l'efficienza energetica
	Horizon 2020
	LIFE 2014-2020
Banche Commerciali	Prestiti
	Bond
	Leasing
ESCo	Finanziamento Tramite Terzi
Private Equity e Fondi di investimento	Fondi CPE, IDEA EESS, SUSI EEF
Altri	Assicurazioni e fondi pensione
	Crowdfunding
	Climate Bond, Minibond
	Modello Delaware

TABELLA 4 - Soggetti finanziatori e strumenti a disposizione - Fonte: elaborazione ENEA

Ai canali tradizionali se ne cominciano ad affiancare altri, che utilizzano strumenti di nuova concezione, come il *crowdfunding*. Da un'indagine realizzata da ABI Lab è emerso come l'86% del campione di istituti di credito intervistati preveda prodotti di finanziamento specifici per l'efficienza energetica.

Nonostante quest'ampia disponibilità di strumenti, l'utilizzo del "tradizionale" prestito bancario è ancora oggi predominante, mostrando un ampio margine di maturazione per il mercato italiano. L'ottenimento di finanziamenti "alternativi" è ostacolato da diverse barriere, tra cui:

- la complessità degli iter burocratici e l'elevato ammontare minimo richiedibile per i finanziamenti pubblici;
- la condizione sul "fattore di leva" che anche per i fondi europei privilegia i progetti di grandi dimensioni;
- elevati tempi di negoziazione e posizionamento sul mercato e problematiche gestionali per i mini-bond;
- condizioni troppo legate a specifiche soluzioni tecnologiche per la concessione del leasing.

In generale, anche il prestito bancario è presente sul mercato con caratteristiche poco affini alle peculiarità degli interventi di efficienza energetica, in prevalenza utilizzando come criterio per la sua concessione il merito creditizio del richiedente. A questo proposito, gli *stakeholder* del settore hanno giudicato positivamente l'istituzione del Fondo Nazionale per l'Efficienza Energetica.

Sostenibilità e competitività del sistema agricolo-alimentare

Le sfide poste dalla produzione alimentare sono enormi e saranno sempre più pressanti al fine di soddisfare il crescente bisogno di cibo in tutto il mondo. Per raddoppiare la disponibilità di cibo e ridurre, allo stesso tempo, i danni ambientali causati dall'agricoltura è necessario individuare metodi di produzione alimentare, sistemi e nuove tecnologie in grado di aumentare l'efficienza dei sistemi primari, garantendo quantità di cibo, qualità e sicurezza, e riducendo al tempo stesso l'inquinamento ambientale e gli input chimici ed energetici.

Il paradigma da utilizzare è quello della *Green Economy* in una prospettiva multidisciplinare, un approccio integrato che consideri non solo la produzione primaria degli alimenti, legata all'agricoltura, alla sua trasformazione industriale e distribuzione, ma anche la questione energetica, l'ambiente ed il territorio con le sue valenze culturali e sociali, l'alimentazione, nutrizione e salute, le abitudini alimentari dei consumatori.

Pertanto, un'agricoltura sostenibile che preservi o migliori la fertilità dei suoli, che contribuisca al riciclo e al riuso dei rifiuti della filiera agroalimentare, che concorra alla produzione di energie da fonti rinnovabili e che sia in grado di recuperare terreni marginali, rappresenta la scelta più opportuna al fine di garantire l'approvvigionamento alimentare. La sostenibilità non rappresenta soltanto un'esigenza, ma anche un'importante occasione di crescita: infatti, l'obiettivo generale delle future politiche agricole è rappresentato dal concetto di "competitività sostenibile".

Per mantenere la competitività sia sul mercato interno che sui mercati internazionali, la valorizzazione della sostenibilità ambientale rappresenta una scelta irrinunciabile per l'intero sistema agroalimentare italiano, comparto che raggiunge un valore economico annuale dell'ordine dei 250 miliardi di euro. In particolare, il segmento dell'industria alimentare italiana è il secondo del Paese dopo la metalmeccanica, con 132 miliardi di euro di fatturato, circa 400.000 addetti e 55.000 imprese nel 2013: è uno dei pochi settori che ha mostrato un andamento anticiclico negli anni della crisi grazie, in parte, al sempre maggior apprezzamento dei nostri prodotti sui mercati esteri e ad una buona capacità di innovazione, fattori che consentono di offrire al consumatore prodotti competitivi e garantiti in termini di sicurezza e qualità.

Infatti, la produzione agroalimentare italiana è sempre più orientata verso prodotti di qualità ottenuti nel rispetto delle normative che tutelano l'ambiente. Lo sviluppo della filiera agroalimentare ha portato all'affermazione del *Made in Italy* e le aziende operanti in questo settore sono sottoposte a controlli molto accurati volti a certificare che l'intero ciclo produttivo sia totalmente realizzato in Italia. Purtroppo ancora non esiste una legislazione europea precisa in merito all'origine geografica delle materie prime, che sempre più di frequente sono importate dall'estero e possono essere utilizzate anche in prodotti certificati al 100%.

Da notare come l'Italia sia protagonista assoluta e primo esportatore di alimenti biologici a livello mondiale, con circa 900 milioni di euro nel

2013, nonché tra i primi paesi al mondo per superficie coltivata a biologico (quasi 1 milione di ettari), numero di aziende dedicate (quasi 50.000 operatori) e produzione di ortaggi, cereali, agrumi, uva e olive biologiche. In particolare, l'agricoltura biologica consuma in media un terzo in meno di energia per unità di prodotto realizzato rispetto all'agricoltura convenzionale, grazie all'utilizzo di mezzi e tecniche meno intensivi e canali di vendita a livello locale.

Realizzare interventi di efficienza energetica nella fase di coltivazione significa soprattutto diminuire l'impiego dei mezzi meccanici o utilizzare al meglio i mezzi tecnici. L'agricoltura di precisione è una forma di agricoltura tecnologicamente avanzata, dove le macchine operatrici consentono l'ottimale gestione del terreno e possono quindi svolgere un ruolo importante in termini di diminuzione dei consumi energetici diretti ed indiretti.

Gli ambiti d'azione per incrementare e diffondere l'efficienza energetica nell'industria alimentare sono molteplici e riguardano, ad esempio, la valutazione del potenziale per la co-generazione, la tri e la poli-generazione o la diversificazione dell'approvvigionamento energetico, incrementando la quota di energia a impatto zero autoprodotta col ricorso a fonti energetiche rinnovabili, interne ed esterne all'impianto.

Altro elemento su cui intervenire è quello dello spreco: ogni anno in Europa vengono scartati milioni di tonnellate di cibo, che secondo la FAO corrispondono a quasi un terzo del cibo prodotto e distribuito. In Italia, per il 2010, considerando una produzione agricola rimasta in campo di oltre 1,5 milioni di tonnellate (pari al 3,2% della produzione totale) ed una spesa energetica dovuta all'agricoltura di poco più di 3 Mtep, la stima del costo energetico dello spreco di cibo in agricoltura è di circa 0,1 Mtep e quella dello spreco di cibo dovuto all'industria alimentare è di circa 0,18 Mtep.

Infine, gli interventi di efficientamento e razionalizzazione dovranno riguardare anche il segmento finale del sistema agricolo-alimentare: la Grande Distribuzione Organizzata, dove sussistono notevoli consumi di energia per il trasporto e lo stoccaggio in ambienti climaticamente controllati. Secondo elaborazioni ENEA, sulla base di una superficie

coperta da servizi commerciali di oltre 3.100 ettari nel 2013, il consumo di energia elettrica afferente alla Grande Distribuzione è di circa 4,5 Mtep, a fronte di un giro di affari di 116 miliardi di euro.

Dunque le aziende appartenenti a tale comparto individuano un consistente potenziale ancora inespresso, costituendo al tempo stesso una realtà cui fanno riferimento i settori più moderni e dinamici del commercio, in grado di raggiungere la più ampia fascia di consumatori, in termini di servizi, strutture, posizionamento ed offerta.

Il monitoraggio degli obiettivi regionali del Burden Sharing

Gli obiettivi del *Burden Sharing* regionale evidenziano come la partita dell'efficienza energetica non si giochi soltanto a livello nazionale. Per il raggiungimento dell'obiettivo nazionale è necessaria un'azione di coordinamento per condividere informazioni e strumenti efficaci a disposizione dei vari enti coinvolti nella pianificazione e nello sviluppo energetico locale: l'*Osservatorio Nazionale* per il monitoraggio del *Burden Sharing* rappresenta un interessante luogo di confronto tra diversi livelli della Pubblica Amministrazione per concretizzare tale azione.

Da una prima mappatura dello stato dell'arte della performance regionale in tema di efficienza energetica, ENEA ha elaborato un *Indice di Penetrazione delle Politiche di Efficienza Energetica* (IPPEE) composto da quattro dimensioni principali, tra loro complementari, contraddistinte dai seguenti indicatori:

- **Strumenti normativi (NORM)**. Attuazione di obblighi normativi introdotti nella legislazione vigente:
 - Attestati di Prestazione Energetica depositati ogni 1.000 edifici.
 - Energy Manager per addetto nominati da soggetti obbligati.
- **Politiche di incentivazione (INC)**. Effetti dei meccanismi di incentivazione e dei programmi di finanziamento in atto:

- Risparmio energetico per abitante derivante dal meccanismo delle detrazioni fiscali del 55/65%.
- Titoli di Efficienza Energetica per addetto emessi dall'avvio del meccanismo.
- Pagamenti per abitante da progetti FESR.
- **Strumenti volontari (VOL).** Adozione a livello locale di misure volte a garantire livelli di efficienza energetica maggiori rispetto ai requisiti minimi previsti dalla normativa nazionale:
 - Quota di popolazione residente in Comuni che hanno adottato regolamenti edilizi energeticamente efficienti.
 - Quota di popolazione residente in Comuni che hanno sottoscritto un PAES.
- **Smart City (SMART).** Grado di *smartness* dei Comuni capoluogo di provincia:
 - *Smart Building, Lighting & Grids.*
 - Mobilità alternativa.

Regione	NORM	INC	VOL	SMART	IPPEE
Piemonte	0,57	0,63	0,51	0,37	0,52
Valle d'Aosta	0,62	0,52	0,22	0,41	0,44
Lombardia	0,85	0,36	0,46	0,49	0,54
Trentino Alto Adige	0,50	0,59	0,37	0,90	0,59
Veneto	0,36	0,31	0,47	0,37	0,38
Friuli Venezia Giulia	0,40	0,39	0,43	0,45	0,42
Liguria	0,61	0,30	0,70	0,49	0,53
Emilia Romagna	0,71	0,35	0,69	0,60	0,59
Toscana	0,25	0,30	0,58	0,58	0,43
Umbria	0,25	0,40	0,49	0,49	0,40
Marche	0,26	0,30	0,50	0,34	0,35
Lazio	0,23	0,22	0,78	0,45	0,42
Abruzzo	0,37	0,26	0,66	0,37	0,42
Molise	0,26	0,47	0,47	0,35	0,39
Campania	0,13	0,23	0,22	0,45	0,26
Puglia	0,12	0,40	0,41	0,28	0,31
Basilicata	0,09	0,34	0,44	0,39	0,31
Calabria	0,08	0,32	0,18	0,27	0,21
Sicilia	0,16	0,17	0,24	0,25	0,20
Sardegna	0,24	0,42	0,49	0,31	0,36
Italia	0,38	0,33	0,47	0,43	0,40

TABELLA 5 - Indice di Penetrazione delle Politiche di Efficienza Energetica (IPPEE) - Fonte: ENEA

La Tabella 5 riporta i valori normalizzati delle quattro dimensioni principali e l'indice sintetico finale di penetrazione delle politiche di

efficienza energetica IPPEE: le migliori performance si registrano nel Nord Italia, in particolare per Trentino Alto Adige, Emilia Romagna, Lombardia, Liguria e Piemonte.

Strumento di supporto al cittadino per un utilizzo consapevole e razionale delle apparecchiature elettriche nelle abitazioni

L'aumento del prezzo dell'energia, unito alla diffusione di nuove apparecchiature elettriche e all'adozione di comportamenti sempre più energivori, hanno fatto sì che la spesa per le forniture energetiche pesi in maniera sempre più importante sul bilancio delle famiglie. Questo articolo descrive uno strumento sviluppato dall'ENEA che permette di stimare i consumi elettrici di una famiglia e di quantificare i risparmi in bolletta e la riduzione di emissioni di CO₂ che è possibile ottenere modificando le abitudini su "quanto" e "quando" vengono utilizzati gli elettrodomestici e le altre apparecchiature presenti in casa

DOI: 10.12910/EAI2015-055

Bruno Baldissara, Gaetano Fasano, Marco Rao

Bruno Baldissara, Marco Rao
ENEA, Unità Studi e Strategie

Gaetano Fasano
ENEA, Unità Tecnica Efficienza Energetica

Contact person: Bruno Baldissara
bruno.baldissara@enea.it

Introduzione

L'aumento del prezzo dell'energia, unito alla diffusione di nuove apparecchiature elettriche e all'adozione di comportamenti sempre più energivori, hanno fatto sì che la spesa per le forniture energetiche pesi in maniera sempre più importante sul bilancio delle famiglie.

Questo articolo descrive uno strumento sviluppato dall'ENEA nell'ambito delle attività della Ricerca di Sistema elettrico (Baldissara, Fasano, & Ciolelli, 2013) che permette di stimare i consumi elettrici di una famiglia e di quantificare i risparmi in bolletta e la riduzione di emissioni di CO₂ che è possibile ottenere



modificando le abitudini su “quanto” e “quando” vengono utilizzati gli elettrodomestici e le altre apparecchiature presenti in casa.

Tale strumento è stato utilizzato per un primo testing. L'articolo, oltre ad una descrizione dello strumento, dedica pertanto anche una parte all'analisi dei consumi energetici emersi, alle differenze tra tipologie di famiglia, all'incidenza dei diversi dispositivi, ai risparmi stimati dalle simulazioni di comportamenti più virtuosi. Attraverso la predisposizione di un questionario dedicato, lo studio analizza inoltre la “predisposizione al cambiamento” mostrata dal campione osservato, la qualità del Tool percepita e rilevata.

Lo strumento

Lo strumento parte dalla stima dei consumi elettrici nella situazione di partenza, fino ad arrivare a quantificare il risparmio economico, energetico ed ambientale che è possibile ottenere modificando le abitudini sull'utilizzo delle apparecchiature.

Le sezioni in cui si articola sono tre: audit energetico, stima dei risparmi da adozione di comportamenti maggiormente virtuosi (quanto vengono utilizzate le apparecchiature), stima dell'impatto della modifica delle fasce orarie di utilizzo delle apparecchiature nell'arco della giornata. Ad ogni sezione è associata una valutazione in termini energetici, economici e di emissioni di CO₂.

Lo strumento è sviluppato in Excel e, nella prima versione, è costituito complessivamente da dodici schermate (una di “copertina”, quattro per

la prima sezione, quattro per la seconda e tre per la terza), in cui l'utente è guidato nell'inserimento dei dati di input e nella spiegazione dei principali risultati, tramite appositi suggerimenti e commenti che accompagnano tabelle e grafici.

Al momento, esso contempla i consumi energetici derivanti dall'utilizzo di elettrodomestici e dalle apparecchiature per l'intrattenimento e per l'illuminazione, dalla climatizzazione estiva e dalla produzione di acqua calda sanitaria (tutti dispositivi alimentati da energia elettrica).

Nella *prima sezione*, il Tool stima i consumi energetici e la relativa spesa per l'utente, alla luce dei dati sul numero, la classe energetica ed il livello di utilizzo medio delle tecnologie presenti in casa dell'utente, informazioni recepite tramite opportune schede di anagrafica.

Stimata la bolletta energetica e le utenze che maggiormente contribuiscono alla sua composizione, quattro schermate successive sono relative alle azioni di risparmio energetico (*sezione due*). Qui l'utente può "simulare" comportamenti maggiormente virtuosi, riducendo (rispetto alle abitudini tradizionali) il livello di utilizzo medio di uno o più dispositivi simultaneamente. In questo modo l'utente ottiene informazioni circa i benefici economici ed ambientali derivanti dall'adozione di tali modelli di comportamento alternativi. (**Fig.1**)

Nell'*ultima sezione*, tre schede "uso razionale delle apparecchiature" permettono all'utente di quantificare il risparmio in bolletta associato ad un diverso utilizzo delle tecnologie relativo alle fasce orarie di accensione dei dispositivi, per l'effetto delle differenti fasce di prezzo dell'energia.

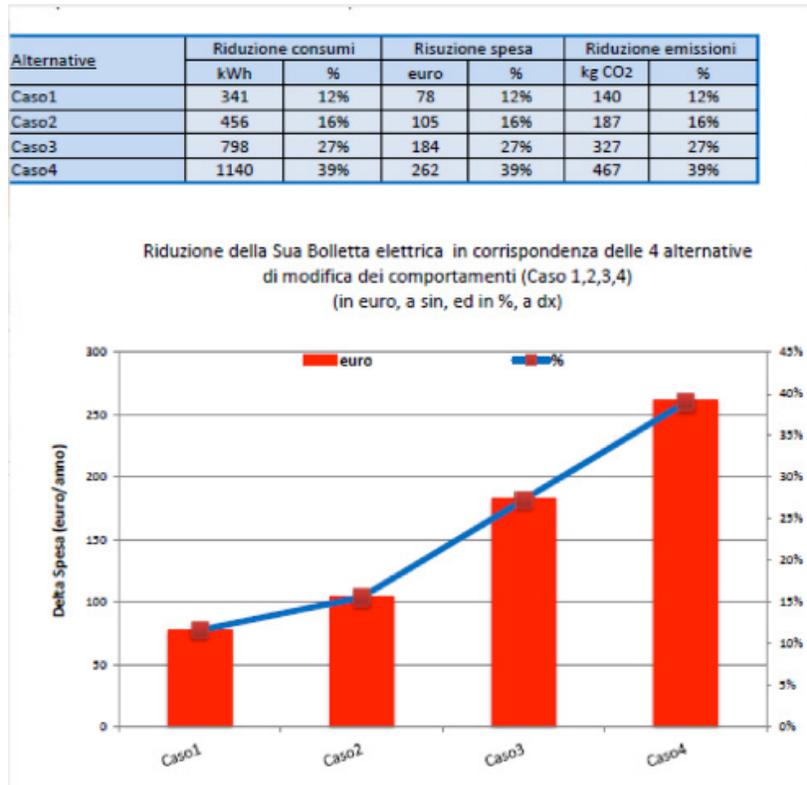


FIGURA 1 - Scheda n° 9. Sezione due “Azioni di risparmio energetico”

Applicazione

Sempre nell’ambito delle attività finanziate dalla Ricerca di Sistema è stata effettuata dall’ENEA una prima applicazione dello strumento descritto. Nonostante la bassa numerosità del campione, l’analisi dei risultati fornisce comunque interessanti spunti di riflessione, in diverse direzioni. L’esperimento condotto si propone così di fornire elementi di valutazione utili a future indagini dotate di maggiore significatività statistica.

La rilevazione è stata effettuata su un campione qualitativo di intervistati, selezionati allo scopo di rendere conto di diverse tipologie familiari: la classificazione per tipologia familiare è infatti coerente con le definizioni Istat (Istat, 2014). Come emerge dalla Figura 2, la composizione percentuale del campione segue quasi specularmente la ripartizione della Regione Lazio.

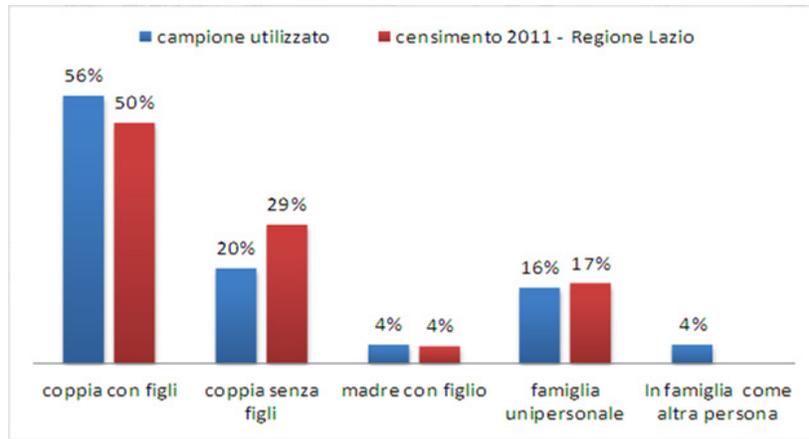


FIGURA 2 - Distribuzione del campione tra le tipologie di famiglia, Campione ENEA e dati - Fonte: elaborazioni ENEA

Il consumo medio annuo pro capite risultante dall'indagine ENEA è pari a circa mille kWh (1006 kWh/anno la media del campione), il 2% in meno rispetto al consumo medio annuo pro capite registrato in Italia nel 2013, pari a circa 1026 kWh (Terna, 2013). In termini di spesa media annua per tipologia familiare, la Figura 3 mostra una sostanziale uniformità dei risultati dell'indagine campionaria ENEA con i dati nazionali Istat. La sostanziale omogeneità dello scarto rilevato rispetto ai dati Istat (contenuto entro il 15%) è forse imputabile al prezzo dell'energia: la rilevazione ENEA è stata condotta, infatti, utilizzando un prezzo del kWh pari a 19 centesimi di euro (valore di *default* liberamente modificabile dall'utente, ma raramente modificato dal campione intervistato). Per un prezzo di 21 centesimi di euro/kWh, le stime risulterebbero sostanzialmente coincidenti.

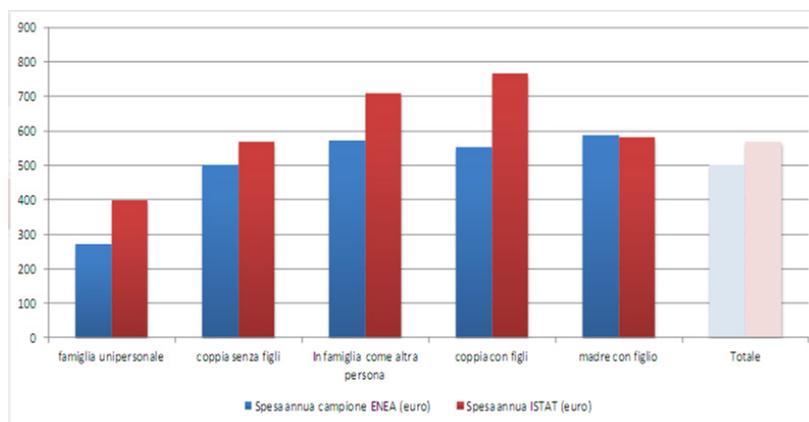


FIGURA 3 - Spesa media annua per usi elettrici per tipologia di famiglia, campione ENEA e dati Istat - Fonte: elaborazioni ENEA su dati ISTAT

La Figura 4 mostra l'incidenza delle singole apparecchiature elettriche per ciascuna delle tipologia familiari considerate: il peso dei servizi fortemente correlati alla numerosità del nucleo familiare (come il caso dell'acqua calda sanitaria) risulta naturalmente maggiore nel caso di nuclei familiari più numerosi.

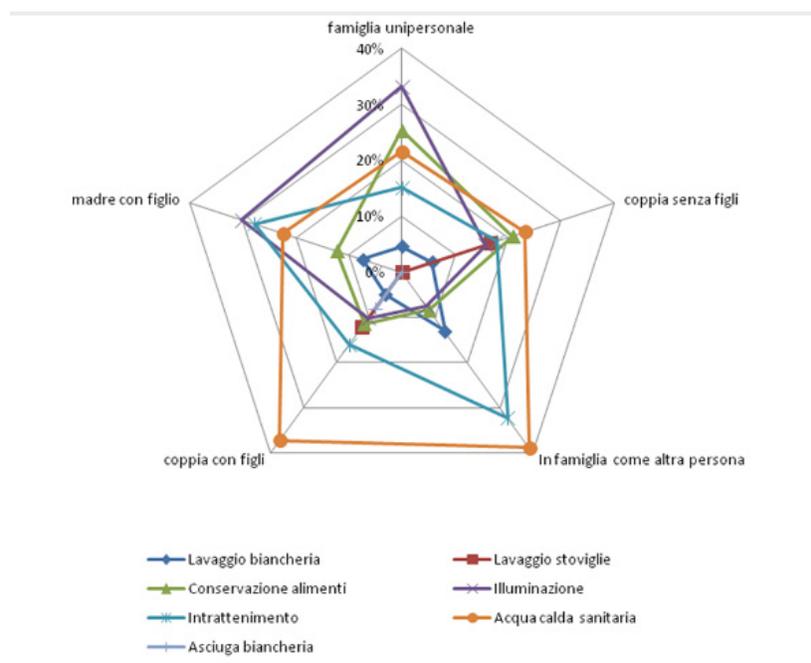


FIGURA 4 - Incidenza percentuale delle apparecchiature sulla bolletta elettrica annua, per tipologia di famiglia - Fonte: elaborazioni ENEA

Nel complesso, le alternative di comportamenti più virtuosi simulate dagli intervistati attraverso il Tool, hanno prodotto stime di risparmi medi annui dell'ordine del 30%, con variazioni differenti a seconda della tipologia di famiglia (Figura 5). Si osserva, inoltre, che i risparmi derivanti da comportamenti più virtuosi, risultano maggiori in quelle tipologie di famiglie meno numerose in cui, pertanto, un cambiamento di abitudini richiedere l'impegno di un numero minore di attori.

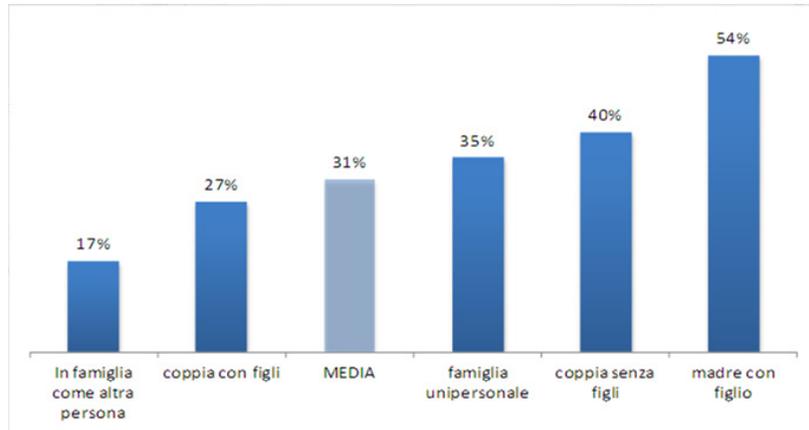


FIGURA 5 - Risparmio energetico medio annuo per l'adozione di comportamenti più virtuosi, per tipologia di famiglia (in % rispetto al consumo attuale) - Fonte: elaborazioni ENEA

Questionario

A valle della compilazione del Tool, agli intervistati è stato chiesto di rispondere ad una serie di quesiti finalizzati a cogliere:

1. il livello di complessità riscontrato nella raccolta dei dati di input;
2. il grado di conoscenza dell'intervistato in riferimento alle tematiche affrontate (costi e consumi per le utenze elettriche ecc.);
3. la predisposizione al cambiamento delle proprie abitudini;
4. il livello di attendibilità dei risultati ed il grado di complessità del Tool.



FIGURA 6 - Questionario somministrato agli intervistati a valle dell'utilizzo del Tool

L'insieme di quesiti posti a valle della disseminazione e compilazione del Tool, ha evidenziato:

- un livello di complessità/onerosità sostanzialmente basso nella raccolta dei dati di input;
- un grado di conoscenza dell'intervistato, in riferimento alle tematiche affrontate, medio-basso per oltre la metà del campione;
- una predisposizione "media" al cambiamento delle proprie abitudini a favore di comportamenti maggiormente virtuosi, alla luce di una situazione di partenza ritenuta molte volte già soddisfacente;
- un elevato livello di attendibilità dei risultati del Tool ed un grado di complessità medio, migliorabile con l'utilizzo di interfacce e/o soluzioni informatiche differenti;
- un interesse degli intervistati ad aumentare la conoscenza sulle proprie condizioni contrattuali e la necessità di sostituzione delle apparecchiature più obsolete.

Conclusioni

La spesa per le forniture energetiche pesa sempre più sul bilancio economico delle famiglie ^[1] : il Tool mira a dare una risposta a queste problematiche, permettendo infatti di quantificare il risparmio economico che è possibile ottenere a costo zero, modificando le abitudini relative all'utilizzo delle apparecchiature elettriche presenti in casa.

Scopo della realizzazione e diffusione di questo strumento è pertanto quello di accrescere, nei consumatori, la consapevolezza sul modo in cui si viene a formare la bolletta elettrica e di quanto può risparmiare attraverso un uso più oculato dei dispositivi. La familiarità con queste tematiche può inoltre indurre ad una maggiore attenzione nell'acquisto di tecnologie e apparecchiature (lo strumento, infatti, permette di simulare anche i risparmi ottenibili dalla sostituzione di una o più apparecchiature con altre più performanti) e nella stipula dei contratti di fornitura. Il lavoro svolto si inquadra nel contesto di ricerche che da diversi anni le principali istituzioni scientifiche del settore dell'energia promuovono con attività di indagine e analisi del comportamento (Wilson, Bhamra, & Lilley, 2010).

Dall'indagine condotta emerge che il consumo medio annuo pro capite per usi elettrici stimato dal Tool tramite rilevazione effettuata su un campione qualitativo di intervista, si scosta di circa il 2% rispetto al valore 2013 registrato in Italia. Anche in riferimento alle spesa media annua per tipologia familiare, si riscontra una sostanziale uniformità dei risultati stimati con i dati nazionali Istat. La stima dei risparmi conseguibili dalle alternative di comportamento simulate dagli intervistati è pari a circa il 30%, con variazioni differenti a seconda della tipologia di famiglia interrogata.

Da un'intervista supplementare è inoltre emerso un livello di complessità nell'utilizzo dello strumento non elevato, che è stato ritenuto sufficientemente affidabile per la stima della bolletta elettrica. Le attività future si concentreranno da un lato verso la disseminazione dello strumento ad un campione di numerosità sensibilmente maggiore e dall'altro verso il miglioramento dell'interfaccia dello strumento, più semplice ed immediato. Inoltre, la predisposizione di Tool semplificati

da diffondere nelle scuole, potrebbe rappresentare un utile strumento di informazione e sensibilizzazione in merito all'uso consapevole e razionale dell'energia nelle nuove generazioni.

Bibliografia

Baldissara, B., Fasano, G., & Ciolelli, L. (2013). *Strumento di supporto al cittadino per un utilizzo consapevole e razionale dell'energia (apparecchiature elettriche nelle abitazioni)*. RdS/2013/165: Ricerca di Sistema Elettrico.

http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/edifici-pa/2013/rds-par2013-150.pdf

Istat (2014). *Approfondimenti su nuclei familiari, migrazioni interne e internazionali, acquisizioni di cittadinanza*. Roma: Istat

Terna (2013). *Dati Statistici sull'Energia Elettrica in Italia – Anno 2013*. Roma: Terna SpA

Wilson, G., Bhamra, T., & Lilley, D. (2010). *Reducing domestic energy consumption: a user-centred design approach*. Delft: Loughborough University

[1] Analizzando il *datawarehouse* Istat, il dato di spesa media mensile familiare per la voce “combustibili ed energia” (suddiviso in energia elettrica, gas e riscaldamento centralizzato), mostra nel 2013 un aumento del 2% sull'anno precedente e del 6% sul 2011.

Elettrificazione del trasporto pubblico locale: valutazione e risultati per il caso dell'Aquila

Lo studio dimostra la fattibilità tecnico-economica dell'elettrificazione di alcune linee del servizio di Trasporto Pubblico Locale dell'Aquila, progetto ambizioso e dai risvolti ambientali ed economico-sociali interessanti, e traccia un efficace percorso valutativo di ausilio alle aziende di trasporto pubblico interessate all'introduzione di flotte a trazione elettrica

DOI: 10.12910/EAI2015-056

V. Fabrizi, S. Orchi, F. Ortenzi, G. Valenti, M.P. Valentini

*Valentina Fabrizi, Silvia Orchi, Fernando Ortenzi, Gaetano Valenti, Maria Pia Valentini
ENEA, Dipartimento Tecnologie Energetiche, Laboratorio sistemi e Tecnologie per la Mobilità e l'Accumulo*

Contact person: Maria Pia Valentini
mariapia.valentini@enea.it

L'elettrificazione del parco veicoli (e-Mobility) è oggi considerata come una valida opzione per affrontare le difficili sfide poste per la mobilità sostenibile. Gran parte della spinta verso l'e-Mobility è in questo momento dettata dall'esigenza di decarbonizzare il trasporto stradale, attualmente responsabile in Italia di circa il 28% delle emissioni complessive di CO₂ legate agli usi finali di energia, e di ridurre la dipendenza dai prodotti petroliferi con il contestuale sviluppo delle energie rinnovabili.

Questo processo di trasformazione non è limitato solo ai veicoli privati ma riguarda anche gli autobus del servizio di Trasporto Pubblico Locale (TPL), che rappresenta la principale alternativa disponibile per risolvere la criticità della mobilità urbana.

Il passaggio dal bus convenzionale ad uno elettrico non è immediato, soprattutto se le aziende del TPL non sono coinvolte attivamente nel processo di cambiamento e se non sono assistite nel valutare i vantaggi di queste nuove tecnologie.

Le difficoltà economiche in cui versano oggi gran parte delle aziende italiane del TPL non consentono gli investimenti necessari per un rinnovo del parco circolante, tra i più vecchi in Europa. Naturalmente questo problema si presenta con maggiore forza nel processo di elettrificazione del servizio che necessita da un lato di un maggiore investimento iniziale, per la realizzazione delle infrastrutture di ricarica e per la copertura dell'extra costo dei veicoli stessi, dall'altro di un'adeguata integrazione tecnologica ed organizzativa.

In un periodo come questo è quanto mai indispensabile disporre di elementi sufficienti a definire un quadro completo e oggettivo sulle diverse scelte tecnologiche ed, inoltre, di convincenti analisi costi/benefici per valutare la convenienza delle diverse ipotesi di realizzazione.

L'articolo si propone pertanto di esaminare la fattibilità tecnico-economica del passaggio dalla trazione convenzionale a quella elettrica in un caso molto concreto, quello di due linee di trasporto pubblico nella città dell'Aquila, con l'obiettivo più generale di supportare i processi decisionali delle aziende di TPL nella scelta e valutazione tra soluzioni alternative e in uno scenario di medio-lungo termine di graduale elettrificazione del trasporto. Lo studio è stato svolto nell'ambito del Progetto di Ricerca di Sistema Elettrico promosso dal Ministero dello Sviluppo Economico, Accordo di Programma ENEA-MISE, Piano Annuale di Realizzazione 2013/14, Progetto C.4 - Prodotti e processi per il miglioramento dell'efficienza energetica nell'elettromobilità.

L'attività descritta fa seguito a un precedente studio, focalizzato su due diversi sottoinsiemi della rete di trasporto pubblico di Roma ^[1], in cui si dimostrava che, sull'intero arco della vita utile dei mezzi, considerando anche i benefici ambientali conseguenti, l'elettrificazione di una rete di trasporto pubblico è economicamente conveniente, specie sfruttando le opportunità offerte dai sistemi di ricarica rapida, grazie alle quali è

possibile ridurre i costi complessivi di investimento (come somma dei costi di acquisto dei veicoli elettrici e di installazione dei sistemi di ricarica ai capolinea o alle fermate). In quella fase, erano stati utilizzati valori di consumi specifici dei mezzi desunti da letteratura, senza approfondire le reali condizioni di operatività dei veicoli. Il caso di applicazione in esame, invece, ha previsto una consistente quota di attività dedicata a questo importante aspetto.

Come caso di studio sono state selezionate alcune linee del servizio di trasporto pubblico nel Comune dell'Aquila, la cui Amministrazione ha aderito all'implementazione di progetti dimostrativi di Smart Cities, all'interno dei quali rientrano iniziative di elettrificazione del trasporto su strada e, congiuntamente, di diffusione di sistemi ICT applicati ai trasporti, per una gestione ottimizzata e più efficiente dell'offerta.

Le linee di trasporto pubblico su cui effettuare l'analisi di elettrificazione sono state individuate sulla base della dimensione dei mezzi attualmente utilizzati dall'Azienda Mobilità Aquilana (AMA) dell'Aquila per effettuare il servizio: sono state infatti selezionate due linee a bassa frequentazione servite da veicoli di ridotte dimensioni (Cacciamali TCC635L), così da poter sfruttare dati relativi a precedenti rilevazioni sul minibus Gulliver della Tecnobus in dotazione al Centro Ricerche ENEA Casaccia (Figura 1).



I veicoli a confronto nello studio: (a sinistra) un Cacciamali TCC635L in servizio all'Aquila, (a destra) il minibus Gulliver Tecnobus operativo nel Centro Ricerche ENEA Casaccia

Le due linee collegano il Terminal di Collemaggio, adiacente al centro storico dell'Aquila, con le frazioni Foce di Sassa alla periferia ovest (linea "12A") con un percorso di circa 11 km (Figura 2), e Bagno

Grande alla periferia sud-est (linea “10”) con un percorso di circa 22 km (Figura 3).

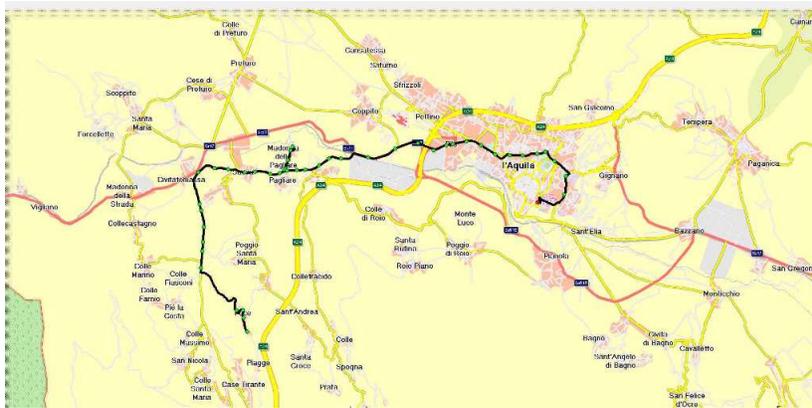


Figura 2 - Percorso della linea “12 A” dell’Azienda Mobilità Aquilana dell’Aquila

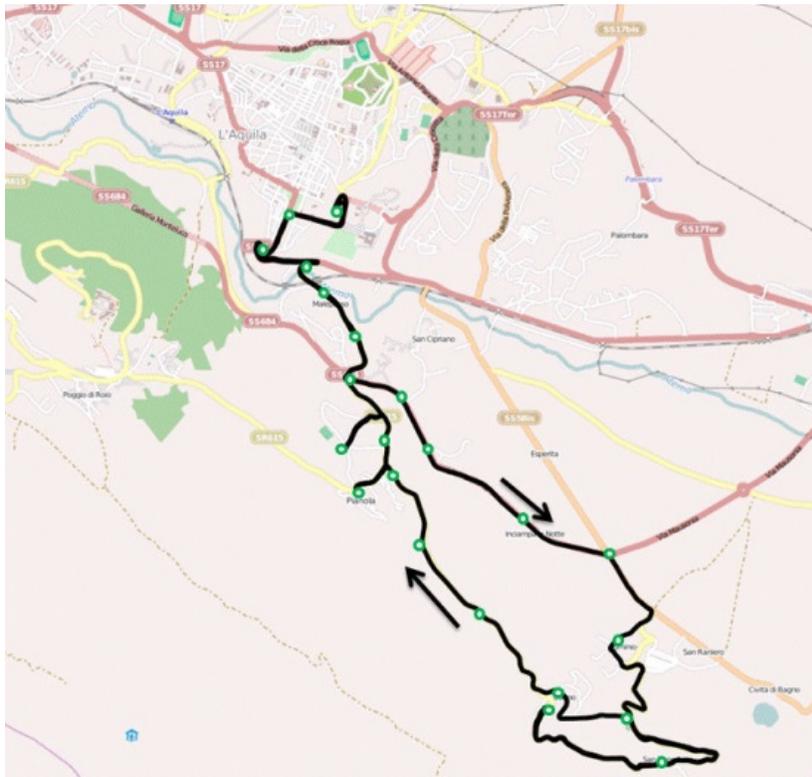


Figura 3 - Percorso della linea “10” dell’Azienda Mobilità Aquilana dell’Aquila

Tali percorsi si completano con le tratte di trasferimento del veicolo dal deposito aziendale ai capolinea, e viceversa, previsti ad ogni inizio e fine turno del personale di guida.

Il nuovo caso di studio, molto differente da quello esaminato l'anno precedente per condizioni di esercizio e tipologia di veicoli utilizzati, ha dato modo di estendere le verifiche di fattibilità dell'elettrificazione ad altri contesti che non linee in servizio prettamente urbano.

La metodologia di analisi ha previsto il confronto fra i dati di consumo acquisiti durante una campagna di rilevamento nelle reali condizioni di esercizio del veicolo Cacciamali, appositamente effettuata all'Aquila con la fattiva e preziosa collaborazione dell'AMA, e i risultati delle simulazioni relative alle prestazioni del Gulliver Tecnobus nelle medesime condizioni di esercizio.

La campagna di rilevamento, basata su misure di posizione geografica e velocità istantanea, e le successive operazioni di filtraggio e *smoothing* delle serie dei dati di posizione e velocità fornite dal ricevitore GPS, hanno permesso la definizione e caratterizzazione dei profili di marcia ed dei profili altimetrici di ciascuna tratta (vedi Figura 4, a titolo esemplificativo).

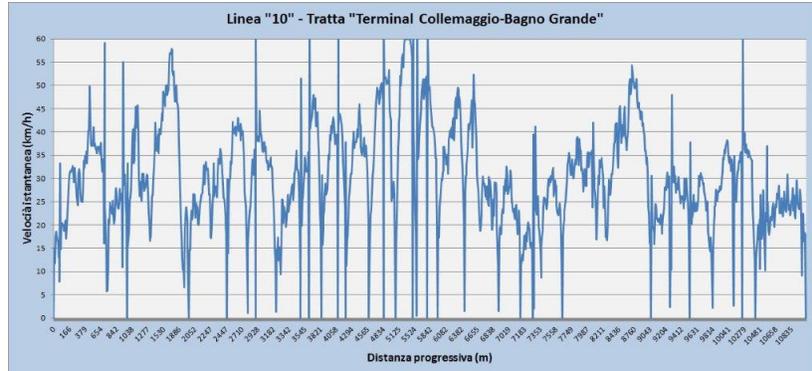


Figura 4a - Parametri cinematici del percorso di andata della linea "10": velocità istantanea

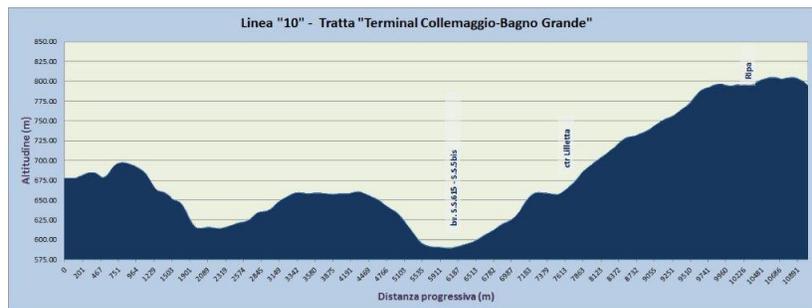


Fig 4b - Parametri cinematici del percorso di andata della linea "10": altitudine

I dati tecnici dei minibus, le informazioni sul numero di passeggeri trasportati ed il set di profili costituiscono gli input fondamentali e strutturali del modello di simulazione dinamica finalizzato alla stima del fabbisogno energetico del minibus elettrico nelle reali condizioni di esercizio ed alla verifica della compatibilità delle prestazioni del veicolo in termini sia di potenza impegnata che di energia elettrica resa disponibile dalle batterie con le caratteristiche del servizio.

Le simulazioni della trazione in elettrico sono state rese possibili grazie alla messa a punto di un software *ad-hoc*, calibrato utilizzando i dati della campagna sperimentale realizzata in passato nel Centro Ricerche ENEA Casaccia con il Gulliver Tecnobus.

Il modello di simulazione del bus è stato interamente sviluppato da ENEA in ambiente Simulink, secondo lo schema funzionale riportato in Figura 5.

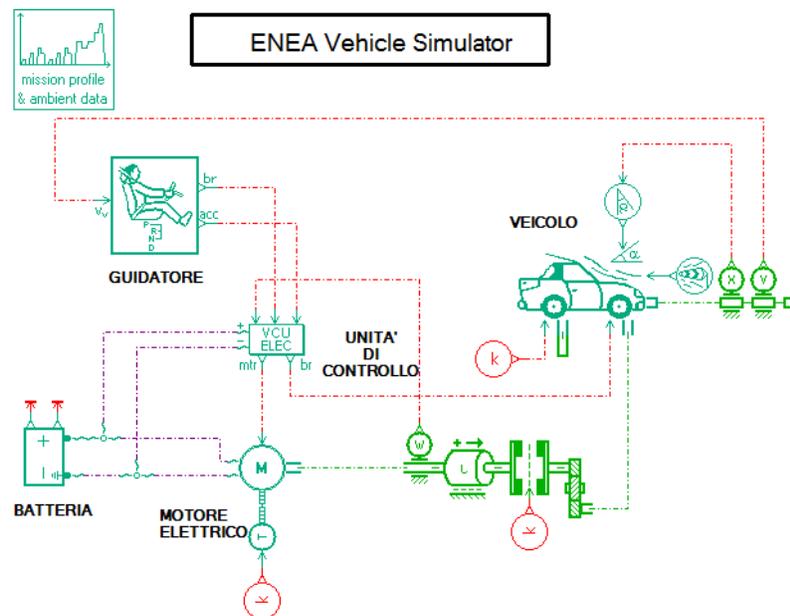


Figura 5 - Schema funzionale del modello di simulazione

Si tratta di un modello di simulazione con approccio di tipo “zero-dimensionale” in grado di calcolare il consumo energetico a partire dai

dati tecnici dell'autobus e dall'effettivo ciclo di marcia realizzato dall'autobus durante il servizio di linea [1],[2],[3].

La simulazione comincia con l'inizializzazione del ciclo di marcia che il modello dovrà riprodurre. Tutti i dati sono in funzione del tempo e per ogni istante sono forniti i valori di velocità del veicolo, pendenza stradale, massa del veicolo (che può variare durante la missione a causa di salite e discese dei passeggeri), potenza degli organi ausiliari (che può variare durante la giornata, es. compressore per apertura e chiusura porte, impianto per l'aria condizionata ecc.). Tutti i parametri di input sono utilizzati per calcolare le resistenze al moto, il numero di giri del motore oltre che per simulare una ricarica durante il reale funzionamento del veicolo.

Per stimare il consumo energetico istantaneo ed integrale è necessario innanzitutto calcolare la forza di trazione applicata alle ruote, necessaria al movimento del veicolo. Tale valore è somma di quattro diversi termini [3]: forza d'inerzia, resistenze di attrito dei pneumatici, resistenze aerodinamiche, pendenza stradale.

Una volta nota la potenza richiesta alle ruote per svolgere la missione, tale potenza è riportata alla trasmissione, poi al motore e infine alle batterie attraverso l'applicazione dei valori di rendimento nei diversi passaggi, caratteristici del veicolo. Il modello di calcolo [1] dei parametri in batteria ha come input la corrente assorbita o erogata e come uscita lo stato di carica, la tensione e la temperatura. La relazione fra lo stato di carica e la corrente erogata dipende dal tipo di batteria. Ad esempio, per le batterie tradizionali al piombo acido, quali quelle montate sul veicolo in dotazione all'ENEA ed utilizzato per la calibrazione del modello, la relazione non è lineare, come invece accade per le più recenti batterie agli ioni di litio.

Altro fattore che influenza la capacità delle batterie (e quindi l'autonomia del veicolo) è la temperatura esterna e nel simulatore è presente un algoritmo che modifica i valori di resistenze interne alla batteria al variare della temperatura esterna.

Il modello di calcolo restituisce, *step by step*, i valori di consumo energetico del veicolo elettrico, la potenza impegnata e lo stato di carica della batteria, rendendo possibile il dimensionamento del sistema di trazione necessario per il profilo di missione assegnato.

I risultati delle simulazioni per il caso dell'Aquila hanno evidenziato che, per portare a compimento la missione assegnata, è necessario aumentare la potenza disponibile (fino a circa 80 kW) ma non la capacità del sistema di accumulo rispetto ai valori del Gulliver attualmente in commercio (Tabella 1); infatti, l'impiego di batterie agli ioni di litio comporta una riduzione di peso del veicolo e un maggiore recupero di energia in frenata.

	Configurazione originale	Configurazione modificata
Tecnologia batteria	Piombo acido	LiFePO ₄
Capacità nominale	585 Ah	100 Ah
Tensione nominale di cella	2	3,2 V
Celle in serie	36	128
Celle in parallelo	1	1
Tensione nominale	72	409,6 V
Energia nominale	42,12	40,96 kWh
Potenza massima	24 kW	80 kW

Tabella 1

Inoltre, per venire incontro agli elevati assorbimenti di energia dovuti ai particolari e impegnativi profili cinematici delle missioni analizzate, si deve prevedere la possibilità di ricaricare le batterie durante le soste programmate nel corso del servizio giornaliero del veicolo, installando adeguati sistemi di erogazione di energia ad elevata potenza (50 kW); in alcuni casi è necessario anche prolungare leggermente i tempi di sosta o inserire nuove brevi soste ai capolinea (non oltre dieci minuti), senza che ciò, tuttavia, pregiudichi l'efficacia del servizio di trasporto o richieda l'impiego di ulteriori mezzi.

In sostanza, con i dovuti accorgimenti tecnologici e gestionali, si è dimostrata la possibilità tecnica di sostituire gli attuali veicoli ad alimentazione diesel con veicoli elettrici di analoghe prestazioni.

La fattibilità economica di tale sostituzione è stata verificata per due diversi soggetti interessati:

- l'Azienda di Trasporto, che si farebbe carico di notevoli oneri finanziari aggiuntivi nelle fasi di investimento rispetto all'acquisto di un nuovo veicolo convenzionale, beneficiando però di una sostanziale riduzione dei costi operativi durante la vita utile del mezzo;
- la collettività, in senso ampio, la quale dovrebbe sostenere anch'essa maggiori esborsi iniziali in conto capitale, a fronte di una riduzione sia delle spese correnti – più contenuta che per l'Azienda [2] – sia dei costi delle esternalità ambientali.

In entrambi i casi, l'analisi ha dato risultati positivi, evidenziando che nell'arco della vita utile del veicolo è più conveniente ricorrere alla trazione elettrica piuttosto che al motore diesel, nonostante la necessità di impiegare pacchi batteria di notevole potenza e di installare sistemi di ricarica rapida ad elevata intensità di corrente.

In Tabella 2 sono riportati i risultati delle analisi economiche, riferite alla sostituzione di un veicolo diesel con un veicolo elettrico potenziato in relazione alle esigenze del servizio all'Aquila e all'installazione di due sistemi di ricarica rapida in corrispondenza dei terminali della linea oggetto dello studio. Si sottolinea che nell'analisi si è ipotizzato un utilizzo dei sistemi di ricarica condiviso da più veicoli elettrici eventualmente impiegati anche su altre linee della rete del trasporto pubblico aquilano; più precisamente l'investimento è stato ripartito su cinque mezzi.

Scenario di base	Azienda	Collettività
Valore Attuale Netto (VAN)	€ 9.095	€ 3.473
Rapporto Beneficio/Costo (B/C)	1,05	1,02
Tasso Interno di Rendimento (TIR)	7,5%	4,3%

Tabella 2 - Fonte: elaborazione ENEA su dati ENEA(4), Ministero Sviluppo Economico(5), AEEG(6), ASSTRA(7), Agenzia delle dogane(8), European Commission-DG Move(9), ISPRA(10)

La redditività economica potrebbe addirittura migliorare in un possibile scenario di ulteriore aumento dei prezzi dell'energia; anche una riduzione degli attuali prezzi di listino dei veicoli, legata a una auspicabile diffusione sul mercato della trazione puramente elettrica, contribuirebbe a incrementare il rapporto fra benefici e costi.

Peraltro è consigliabile un impiego intensivo dei mezzi, al fine di garantire un rientro sufficientemente veloce degli investimenti iniziali che altrimenti potrebbe non verificarsi; per questo specifico aspetto i servizi di trasporto pubblico su percorsi periurbani offrono più opportunità rispetto a quelli realizzati in ambito strettamente urbano.

Conclusioni

Lo studio dimostra che l'introduzione di veicoli elettrici nei servizi di trasporto pubblico locale è fattibile sia sotto il profilo tecnico sia sotto il profilo economico, anche in contesti particolarmente onerosi per le condizioni di esercizio dei veicoli in termini di percorrenze e profili plano-altimetrici.

In particolare, la fattibilità tecnica in condizioni sfavorevoli è sostenuta dai recenti progressi nelle prestazioni sia delle batterie, che aumentano l'autonomia e la potenza dei veicoli, sia dei sistemi di ricarica, che consentono il rifornimento energetico in tempi sempre più brevi.

Gli investimenti aggiuntivi per l'acquisto dei veicoli e per l'installazione delle stazioni di ricarica sono compensati nel corso della vita utile del veicolo dai risparmi sul costo dell'energia, che incidono più significativamente proprio in condizioni di utilizzo intensivo dei veicoli.

È tuttavia da osservare che l'introduzione di veicoli elettrici richiede alcune modifiche nell'esercizio dei veicoli stessi, *in primis* la necessità di effettuare la ricarica delle batterie durante le soste programmate ai capolinea; tali esigenze potrebbero comportare la variazione di alcuni termini contrattuali sulle mansioni dei dipendenti delle Aziende di Trasporto Pubblico.

[1] Report Ricerca di Sistema Elettrico RdS/2013/131 “Scenari di elettrificazione della rete di trasporto pubblico a Roma – Il fabbisogno energetico”

[2] Nell’analisi per la collettività non sono da prendersi in considerazione le voci che rappresentano una partita di giro e, in particolare, le accise sul prezzo dell’energia

Mobilità sostenibile per la merce fresca in città: sperimentazione a Roma

Le aziende che giornalmente trasportano e consegnano prodotti freschi a consumatori finali o rivenditori nelle aree urbane, possono conseguire una riduzione dei costi di gestione e dell'impatto ambientale con una maggiore efficienza energetica, grazie all'utilizzo di veicoli come il prototipo allestito dall'ENEA. Nell'articolo vengono descritti i requisiti principali del veicolo e si riportano i risultati ottenuti in una campagna sperimentale durata 5 mesi. Durante la campagna il veicolo ha percorso 8.500 km e ha effettuato 85 consegne di merce fresca proveniente da tre aziende agricole romane, con destinazione bar, ristoranti o mercati rionali nel centro della Capitale

DOI: 10.12910/EAI2015-057

A. Lioi

Antonio Lioi

ENEA, Dipartimento Tecnologie Energetiche, Laboratorio sistemi e tecnologie per la mobilità e l'accumulo

Contact person: Antonio Lioi

antonio.lioi@enea.it

Introduzione

La crescita della popolazione nei centri urbani è un fenomeno globale ed apparentemente inarrestabile e con essa cresce il bisogno di una mobilità sempre maggiore; aumenta sempre di più la domanda di spostamento, sia per i cittadini che per le merci, e di conseguenza l'impatto ambientale dei trasporti sul territorio risulta sempre più pesante. In particolare il trasporto merci urbano genera fino al 20% del traffico e l'incidenza

sull'ambiente è pari a circa il 20% per le emissioni di CO₂ e fino al 60% per il particolato sospeso PM10 [[1],[2],[3]].

Attualmente la refrigerazione, necessaria in primo luogo per il trasporto di generi alimentari e prodotti ortofrutticoli, si ottiene con sistemi ad aria condizionata prodotta da compressori che 'bruciano' molta energia, fino al 15% del consumo di carburante del veicolo quando si effettuano le consegne quotidiane, voce che può essere molto pesante per le numerose piccole e medie aziende del settore. Nella distribuzione refrigerata delle merci deperibili, alle emissioni proprie del veicolo, occorre poi sommare quelle derivanti dai motori delle macchine frigorifero a bordo per la conservazione della merce a temperatura controllata; all'inquinamento atmosferico si aggiunge inoltre il rumore prodotto dal veicolo e dal compressore per il mantenimento del fresco a bordo.

Il progetto EFRUD, finanziato dal programma LIFE della UE al consorzio TRAIN, in partenariato con Roma Capitale, Metes e ITENE (Spagna), ha avuto come obiettivo la realizzazione di un sistema di trasporto innovativo adibito alla distribuzione di merce a temperatura controllata, in grado di produrre una riduzione degli inquinanti ed una migliore efficienza energetica durante le consegne giornaliere di merci fresche nelle città (latte e suoi derivati, ortofrutta, medicine ecc.). Il consorzio TRAIN, beneficiario principale del progetto, ha assegnato all'ENEA il coordinamento generale dell'intero progetto, nonché tutta la parte tecnica relativa allo sviluppo, allestimento e assemblaggio del veicolo prototipo, il compito di seguire la campagna sperimentale, la validazione dei risultati e una prima valutazione del nuovo sistema di logistica urbana con i costi/benefici diretti ed indiretti [4].

Requisiti del sistema

Il prototipo allestito per il progetto è costituito da una innovativa cella frigorifera "ad accumulo di frigoriferie", e perciò senza la macchina frigorifera a bordo durante le operazioni di trasporto e distribuzione delle merci. Il vantaggio di tale sistema è che la "ricarica" del freddo al veicolo viene effettuata a terra, a fine lavoro o di notte prelevando

energia elettrica direttamente dalla rete. La cella frigorifero, opportunamente gestita, consente l'apertura/chiusura delle porte fino a 15 volte, ideale per consegne in quantità moderata (capacità max di carico 500 kg).

La ricarica di energia per le frigoriferie necessarie per avere una temperatura controllata a bordo è variabile da 12 a 16 kWh, per refrigerare un volume di circa 12,5 m³ a seconda delle necessità e tenere la temperatura voluta all'interno della cella (tra gli 0-8 °C). La ricarica, come detto, può essere effettuata da generatori alimentati da fonti rinnovabili (Figura 1) o dalla rete elettrica nelle fasce orarie in cui l'energia costa meno.



FIGURA 1 - Ricarica del veicolo da fonti rinnovabili

Il principio di funzionamento si basa sulla capacità del sistema di accumulare energia termica (frigorie) necessaria per il funzionamento autonomo, senza apporto di energia, mediante congelamento di un liquido eutettico eseguito da una unità di ricarica esterna moto condensante a terra, che fa circolare il fluido frigorifero in una serpentina collocata alla parete di testa della cella a bordo del veicolo; la temperatura viene mantenuta costante intorno a valori ottimali mediante l'assorbimento progressivo del calore passante dall'esterno all'interno della cella e quello generato dalla merce. La fusione della massa termica (calore latente), preventivamente congelata, fornisce l'energia necessaria

per mantenere la temperatura interna alla cella fra gli 0-8 °C per almeno 24 ore, con l'umidità relativa nel *range* ottimale per la conservazione del prodotto.

Il sistema sperimentato è basato su più tecnologie già disponibili sul mercato, che nel progetto EFRUD sono confluite nell'assemblaggio di un prototipo costituito da una cella frigorifera montata a bordo di un pianale di veicolo Van-bimodale (diesel-elettrico) a basso impatto ambientale avente un'autonomia di circa 20 km con la trazione elettrica, consentendo così un'andatura in modalità elettrica nei centri urbani delle città.

Il requisito essenziale del prototipo è di non interrompere la catena logistica del freddo durante le consegne e rifornire i punti vendita (mercati rionali) o consumatori finali (bar/ristoranti/hotel) localizzati in centro città. Altra novità è rappresentata dall'utilizzo di un sistema diagnostico a bordo del veicolo, in grado di monitorare il mantenimento del freddo e lo stato di refrigerazione della merce durante la distribuzione.

Il sistema diagnostico permette anche il monitoraggio dei dati telemetrici del motore durante il percorso giornaliero e la sua posizione in modo da poter determinare le condizioni di traffico e anche lo stile di guida del conducente, informandolo in tempo reale sui consumi di carburante, sulle emissioni istantanee e le temperature all'interno della cella frigorifero. A tale proposito, nel corso della sperimentazione, sono state tenute alcune giornate di formazione per gli autisti impegnati nella campagna sperimentale, selezionati alla guida del veicolo prototipo per orientarli ad una conduzione più razionale nelle operazioni di consegna e trasporto.

Il sistema EFRUD messo in campo a Roma per una sperimentazione pilota comprende (Figura 2):

1. un prototipo di sistema diagnostico composto da un HW e SW per l'acquisizione, gestione e trasmissione di tutti i dati cinematici ed ambientali per caratterizzare la missione;

2. un veicolo bimodale (diesel/elettrico) Iveco Daily Mod. 35C13, equipaggiato per la trazione elettrica da *Micro-Vet SpA*, in grado di utilizzare il motore termico nei percorsi extra-urbani e la trazione elettrica per i percorsi in centro città;
3. una cella box a bordo con un sistema di refrigerazione basato sull'accumulo di frigoriferie che viene caricato alla stazione di partenza con tecnologia Raf™ con circa 15 kWh di energia elettrica al giorno per la ricarica del freddo;
4. una centrale operativa di controllo a cui vengono trasmessi le condizioni di temperatura ed umidità della cella e tutti i dati telemetrici rilevati sul veicolo in modo da estrapolare parametri di controllo utili per stimare lo stile di guida del conducente;
5. un display che mostra le condizioni di transito e regime del motore, che include una piattaforma di *e-learning* per l'orientamento degli autisti ad una guida più razionale ed ecologica tramite un'interfaccia in cabina per indicazioni in tempo reale al conducente.

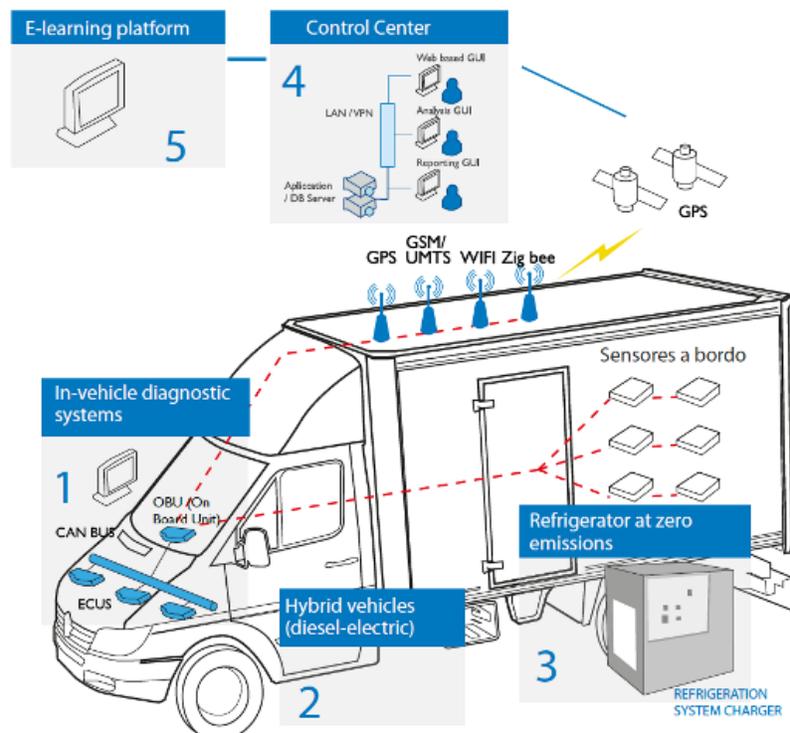


FIGURA 2 - Schema di assemblaggio del veicolo prototipo

Il veicolo è stato allestito ed equipaggiato dall'ENEA, con della strumentazione a bordo per monitorare, in tempo reale, temperatura e umidità della cella pre-refrigerata, conteggio di apertura/chiusura dei portelloni, un sistema di ventilazione per stratificare e uniformare la temperatura all'interno della cella. È stato inoltre progettato ed installato un sistema di bordo caratterizzato da un HW e SW per l'acquisizione e la trasmissione dei dati on line, sia telemetrici, con una interfaccia al CanBus del veicolo, che riferiti allo stato di refrigerazione della cella e installato in cabina un "display" come interfaccia con l'autista per orientarlo ad una guida più ecologica e razionale.

Azioni e risultati

Per 5 mesi consecutivi (agosto-dicembre 2012), è stata eseguita una campagna sperimentale a Roma e sono state eseguite più di 85 consegne di merce fresca a bar e ristoranti, o punti vendita localizzati nel centro storico percorrendo oltre 8.500 km con consegne giornaliere di prodotti deperibili (latte fresco, latticini e prodotti ortofrutticoli) con il veicolo prototipo EFRUD; le temperature registrate durante il giorno sono state sempre comprese tra i 2-8 °C, senza interruzione della catena del freddo all'interno della cella.

L'esperienza è stata effettuata con aziende agricole di Roma (Tenuta del Cavaliere e Castel di Guido), produttori di latte biologico fresco, latticini e formaggi che hanno eseguito consegne quotidiane, e dalla cooperativa Agricoltura Nuova, produttore e distributore di ortofrutta e altri prodotti freschi con destinazione mercati rionali o consegne a bar e ristoranti localizzati in centro città (Figura 3).

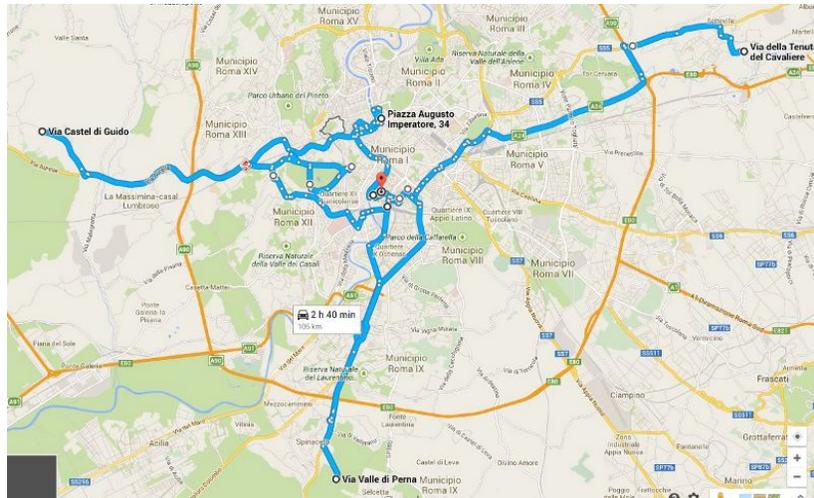


FIGURA 3 - Percorsi tipo durante le consegne

Durante le consegne, nei percorsi nelle Zone a Traffico Limitato (ZTL), è stata utilizzata quasi sempre la trazione elettrica del veicolo, percorrendo più di 850 km nel centro urbano, con emissioni nulle di gas serra e rumore zero nell'ambiente circostante (Figura 4).

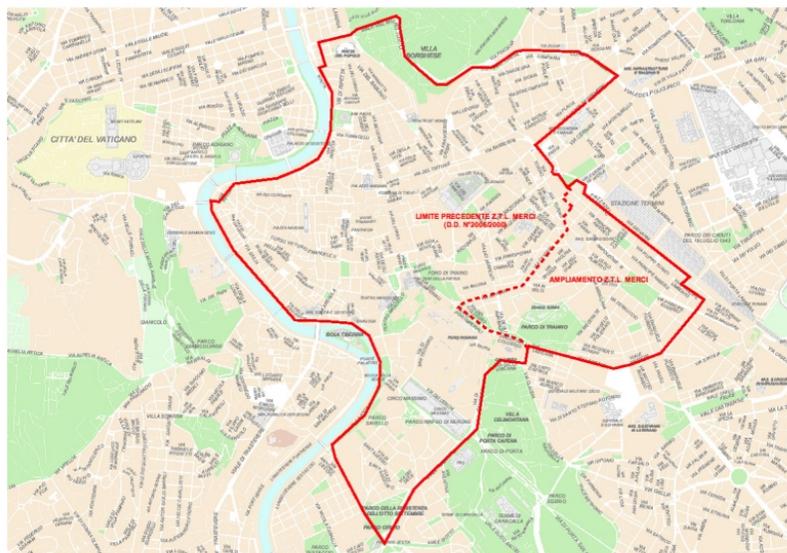


FIGURA 4 - La Zona a Traffico Limitato interessata dalle consegne

Durante la sperimentazione sono state rilevate misure di energia elettrica giornaliera per la trazione e per la ricarica del freddo, mentre a bordo del veicolo sono stati rilevati direttamente dal CanBus i consumi di carburante, le percorrenze del veicolo, le emissioni di CO₂, la velocità, la

temperatura e l'umidità all'interno della cella frigorifero e sulla merce in consegna, ed altre caratteristiche motoristiche e cinematiche dell'automezzo per definire e caratterizzare la piena efficienza del veicolo. In Tabella 1 sono riportati i dati acquisiti più rilevanti, relativi alle missioni di consegna merce, con i consumi energetici reali del veicolo durante il percorso giornaliero, mentre i fattori di emissione mensili di CO₂ sono derivati direttamente dai consumi di combustibile.

Dati acquisiti	km percorsi	Consumi (km/litro)	km percorsi in elettrico	Consumi (Wh/km)	CO ₂ (kg/km)	Temperatura media cella box (°C)	Umidità (%RH)
No - Eco-driving Agosto 2012	1712	7,36	120,3	284,4	0,352	6,0	71,3
Yes - Eco-driving Settembre 2012	2189	8,76	288,7	273,2	0,296	5,7	66,7
Yes - Eco-driving Ottobre 2012	3210	7,94	216,5	285,3	0,326	6,5	76,1
Yes - Eco-driving Novembre 2012	1770	8,14	178,1	284,6	0,318	5,7	75,8
Yes - Eco-driving Dicembre 2012	1088	8,11	37,2	302,4	0,319	8,1	74,8

Tabella 1 - Dati acquisiti durante la campagna sperimentale EFRUD

Le quantità di gas serra (CO₂) e inquinanti (ossidi di azoto NO_x e particolato PM₁₀) emessi durante la sperimentazione, stimati secondo l'inventario ISPRA sui trasporti delle emissioni su strada [5] nei cicli urbani per veicoli diesel leggeri Euro 4, sono indicati in Tabella 2.

Emissioni	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
km percorsi	1712	2189	3210	1770	1088
kg di CO ₂	552,867	706,908	103,627	571,597	351,335
g di NO _x	1780,88	2277,07	3339,15	1841,22	1131,78
g di PM ₁₀	153,97	196,87	288,70	159,19	97,85

Tabella 2 - Emissioni complessive prodotti dal veicolo EFRUD

Le emissioni evitate al centro di Roma con il veicolo EFRUD durante la campagna sperimentale sono mostrate in Tabella 3.

Risparmio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
km in elettrico	120,3	288,7	216,5	178,1	37,2
kg di CO ₂	-38,849	-93,231	-69,915	-57,515	-12,013
g di NO _x	-125,14	-300,32	-225,21	-185,27	-38,70
g di PM ₁₀	-10,82	-25,96	-19,47	-16,02	-3,35

Tabella 3 - Emissioni evitate sull'area urbana per l'utilizzo della trazione elettrica

I conducenti che hanno eseguito le sedute formative sull'eco-driving, hanno ottenuto un impatto significativo sulla riduzione dei consumi e delle emissioni (16% a settembre, 12% a ottobre, 11% novembre e dicembre) con una percorrenza media di 8-9 km/litro rispetto ad agosto quando ancora non era stata data nessuna indicazione o formazione per una guida ecologica e razionale (Figura 5).

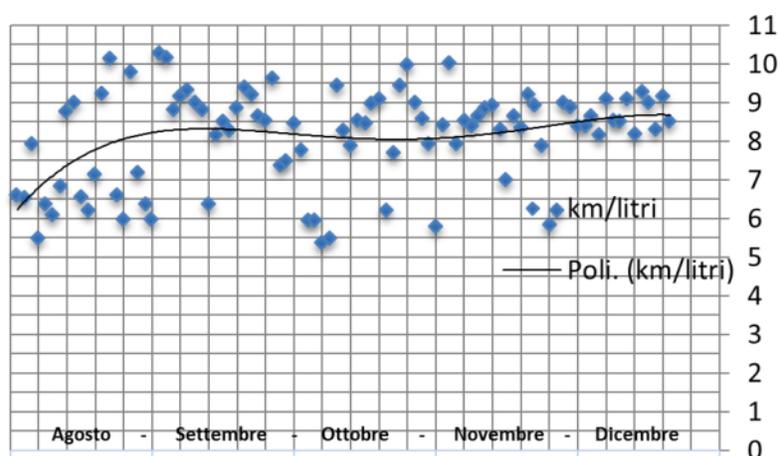


FIGURA 5 - La riduzione dei consumi durante la sperimentazione

Gli autisti che non hanno partecipato alle sedute formative di eco-driving hanno conseguito consumi che si sono attestati intorno ai 6-7 km/litro.

Il miglioramento medio per gli autisti, dopo il training formativo, è stato evidente. Nei primi 15-20 viaggi consegna eseguiti dallo stesso autista, successivi alla formazione, si è registrata una riduzione nei consumi ed emissioni di circa il 16%; successivamente i benefici si sono assestati intorno all'11-12% sempre riferiti allo stesso conducente, motivo per cui si sono ritenute necessarie ulteriori sedute di formazione.

Le tecniche di eco-driving adottate dagli autisti dopo il training formativo hanno mostrato risultati più che interessanti; nel tempo vi è stato un reale cambiamento che ha portato ad una modifica nei tragitti e modalità di guida durante i percorsi; gli autisti più attenti hanno modificato la gestione del veicolo con uno stile di guida più fluido e attento con accelerazioni/decelerazioni o frenate meno brusche, riducendo così anche i tempi a veicolo fermo.

Le prestazioni di guida durante la giornata lavorativa vengono determinate con una serie di indicatori (giri motore, cambi marcia, velocità, accelerazione e decelerazione, uso freno) i quali, opportunamente elaborati, forniscono degli *eco-indici* per ciascun percorso che, confrontati con i valori registrati prima della formazione, permettono di elaborare dei suggerimenti personalizzati per ogni conducente finalizzati ad ottenere una guida sempre più ecologica.

Durante la sperimentazione con il veicolo EFRUD, grazie all'utilizzo della trazione elettrica nelle Zone a Traffico Limitato e nelle aree pedonali, le emissioni rispetto ad un veicolo convenzionale si sono significativamente ridotte: 25% di CO₂, 14% di NOx e 22% di PM₁₀.

Il veicolo EFRUD ha percorso in media circa 15 km al giorno nell'area pedonale o in ZTL con la trazione elettrica, ottenendo così un risparmio di 2 litri di carburante giornaliero, con un abbattimento di emissioni di gas serra del 26-27%; se si ipotizza di sostituire 600 veicoli, che sono circa il 50% della flotta attualmente adibita al trasporto e consegna merce deperibile nel centro di Roma [6], si può raggiungere una riduzione di carburante di 1200 litri per veicolo al giorno.

I risultati della sperimentazione durante le attività di consegna, sia in termini di gestione operativa del mezzo (capacità di carico, manovrabilità, funzionalità, prestazioni ecc.), sia in termini di risparmio energetico, hanno accertato la riduzione delle emissioni e un abbattimento della rumorosità confermando le premesse sull'efficienza del sistema di trasporto adottato.

Per alcune giornate tipo, anche se il percorso di consegna è stato simile, è stato rilevato che la differenza dei consumi è influenzata unicamente

dallo stile di guida e dalla fluidità del traffico lungo il percorso, come risulta evidente nell'esempio di seguito citato. Durante il viaggio di consegna del 13 ottobre 2012 l'autista non ha eseguito le indicazioni di eco-driving (in più occasioni, ha superato la soglia di 3000 giri/motore), ottenendo così maggiori consumi rispetto alla consegna del 23 ottobre dove l'autista ha adottato uno stile di guida molto più ecologico e razionale (Figura 6).



Figura 6 - Confronto e tendenza dei consumi energetici su percorsi simili e diverse giornate con differenti autisti

La conservazione e la qualità dei prodotti ortofrutticoli è stata efficacemente dimostrata da uno studio preliminare dell'INRAN (Istituto Nazionale di Ricerca per gli Alimenti e la Nutrizione), che ha effettuato dei test sulla cella evidenziando la salvaguardia della qualità (disidratazione e calo di peso) dei prodotti ortofrutticoli trasportati durante la sperimentazione.

La temperatura registrata all'interno della cella frigorifero non ha mai superato il valore medio di 7-8 °C durante l'intera campagna sperimentale e i picchi riportati nel grafico di Figura 7 sono riferiti solo ad alcuni minuti di apertura delle porte per il prelievo della merce durante le consegne del giorno.

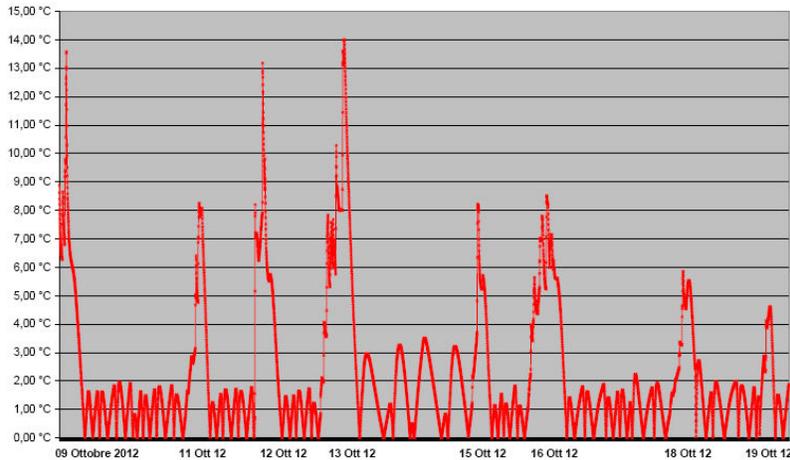


Figura 7 - Andamento delle temperature all'interno della cella frigorifero

L'energia elettrica giornaliera utilizzata per la ricarica delle batterie del veicolo e la ricarica del freddo è stata di 12-16 kWh, che corrispondono a circa 5,5 kg di CO₂ [7], ovviamente se non si dispone di una fonte di energia rinnovabile; per contro una cella frigo tradizionale, se alimentata con un compressore autonomo, può raggiungere un consumo di 1,5 litri di gasolio/ora e, considerando almeno 4 ore di funzionamento giornaliero del compressore, consumerebbe 6 litri di gasolio rilasciando giornalmente 15,5 kg di CO₂. Sommando il combustibile risparmiato per mantenere il fresco in una cella frigo convenzionale (6 litri al giorno) a 2 litri di combustibile risparmiati perché il veicolo percorre il centro città con la trazione elettrica, si può ottenere un abbattimento della CO₂ di circa 21 kg al giorno.

La soluzione di trasporto sperimentata non è significativamente più costosa delle tecnologie tradizionali. A determinate condizioni logistiche e ambientali, al contrario, esternalizzando i costi esterni dovuti all'impatto sulle città dei veicoli tradizionali, la logistica sperimentata con il veicolo EFRUD può ottenere un abbattimento dei costi fino al 30%.

I costi unitari esterni dei gas serra e dei gas inquinanti emessi e del rumore generato per km percorso nelle aree urbane, sono ricavabili dal manuale europeo sui costi ambientali del trasporto [8].

Per avere un ordine di grandezza, in Italia una tonnellata di particolato PM_{10} emesso nelle aree urbane produce 48.000 € di costi esterni. Il differenziale dei costi esterni che impattano sul contesto urbano fra un veicolo Daily a propulsione tradizionale ed un veicolo Daily a propulsione elettrica è pari a circa -30% [9] a favore del veicolo a trazione elettrica.

Altri risultati elaborati a fine sperimentazione rispetto al primo mese di consegna, che si sommano come ulteriore contributo al risparmio e ottimizzazione del servizio, sono stati:

- le fermate del veicolo durante le consegne nella sperimentazione si sono ridotte del 3%;
- il superamento di 3.000giri/motore durante le consegne si sono ridotti del 4%;
- la velocità media del veicolo è aumentata del 2,5%;
- il tempo di apertura/chiusura della cella durante le consegne dall'inizio a fine sperimentazione si è ridotto del 13%.

Ai dati su riportati si aggiunge il risparmio economico conseguito per i permessi di accesso alle aree ZTL applicati dal Comune di Roma per i veicoli a basso impatto ambientale (Figura 8).



Figura 8 - Attraversamento di un varco ZTL

Dall'analisi e valutazione dei risultati ottenuti con la sperimentazione si evince che il sistema EFRUD, così come progettato, è in grado di rispondere alle necessità per cui è stato ideato ed è funzionale a rendere un servizio conforme e vantaggioso alle esigenze degli operatori che operano con consegne nei centri urbani di merce fresca in modeste quantità ai distributori finali (piccoli e medi negozi, bar, ristoranti).

La tecnologia sperimentata, la localizzazione della posizione del veicolo, lo stato di conservazione della merce ed efficienza della cassa frigorifero, i parametri più significativi del veicolo e le sue condizioni di marcia hanno funzionato senza inconvenienti o avarie durante i 5 mesi di sperimentazione.

Il sistema EFRUD ha dimostrato la sua piena validità per le esigenze del mercato di trasporto di merce fresca nelle consegne ed un eventuale utilizzo e commercializzazione su larga scala per le città che vogliono adottare un trasporto e consegna merci a basso impatto ambientale. L'organizzazione della sperimentazione, una volta avviata, non ha subito interruzioni se non quelle programmate per l'eco-driving agli autisti o azioni correttive per ottimizzare la ricarica dell'energia termica (fluido frigorifero) effettuata tramite l'unità autonoma esterna "Raf charger" sulla base delle temperature stagionali e a seconda dei prodotti trasportati (Figura 9 – vedi anche schema di Figura 2).



Figura 9 - La stazione di ricarica di energia per la cella frigorifero e combustibile per il veicolo

Si può affermare che la refrigerazione ad accumulo di frigoriferie, completamente testata con la sperimentazione EFRUD, associata con i veicoli a basso impatto ambientale (elettrici, ibridi o bimodali) destinati alla distribuzione di merce deperibile (alimentari e medicine) nei centri urbani, soprattutto dove sono operative aree con traffico limitato o ampie zone pedonali, accoppia le due tecnologie in modo ottimale ed incide sui diversi indicatori che caratterizzano la vivibilità e qualità di un'area urbana:

- si ottiene un risparmio energetico e si azzerano le emissioni inquinanti e acustiche quando il veicolo utilizza la trazione elettrica in centro città;
- la catena del freddo è assicurata e garantita durante il ciclo distributivo con emissioni e rumore zero e nessuna richiesta di energia aggiuntiva viene richiesta durante il trasporto;
- viene ottimizzata la gestione delle consegne, si riducono i costi esterni sull'ambiente urbano ed anche i costi di esercizio e gestione per gli operatori impegnati nella promozione della filiera corta a km zero e produzione biologica;
- i dati telemetrici on-line rilevati a bordo del veicolo possono essere utilizzati per studi sulle previsioni di traffico in città ed interagire

con azioni per migliorare la fluidità del traffico su tutta l'area urbana.

La soluzione EFRUD può essere facilmente adattata a qualsiasi tipo di distribuzione e consegna di prodotti a temperatura controllata (2-8 °C); con l'utilizzo di un veicolo con maggiore autonomia in modalità elettrica (nuove batterie al litio) si possono ottenere risultati ancora più performanti perché tutta l'area urbana può essere percorsa con la trazione elettrica.

Conclusioni

La sperimentazione del progetto EFRUD è stata l'occasione per dimostrare l'affidabilità e la convenienza di una soluzione facilmente adottabile, economicamente vantaggiosa, che risponde in modo efficace alla necessità di ridurre l'impatto ambientale nelle aree urbane e favorire lo sviluppo di politiche eco-sostenibili. EFRUD apre la strada ad un processo innovativo che aggrega i principali operatori del settore con gli enti istituzionali e ne ascolta le esigenze, offrendo un contributo concreto allo sviluppo di nuove forme di trasporto sostenibile ed ecologico per un servizio di consegna efficiente di merci fresche nei centri delle città europee. Si esaltano così efficacemente i valori ambientali insiti nei prodotti con filiera corta a km zero e si offre un'opportunità aggiuntiva per il miglioramento della qualità della vita nelle aree urbane.

A Roma, diversi operatori che operano con le consegne giornaliere di merce nel centro storico hanno acquistato veicoli commerciali a basso impatto ambientale (ibridi, bimodali, a GPL, a metano ecc.) con incentivi resi disponibili dal Comune, sia per risparmiare nei costi generali che nell'accesso alle aree ZTL.

Diversamente nella città di Valencia, durante la sperimentazione a Roma, è stata condotta una simulazione sulla distribuzione urbana di merci mediante il veicolo prototipo EFRUD. I tecnici di ITENE si sono avvalsi di un supporto software di simulazione del traffico (TRANSCAD). La simulazione è stata applicata a due diversi scenari: il primo, utilizzando tre veicoli commerciali convenzionali, e un secondo scenario in cui è

stato ipotizzato l'impiego del nuovo sistema di trasporto EFRUD, con associato un centro di distribuzione urbana per le consegne.

Il risultato finale è stato che, impiegando un veicolo tipo EFRUD, è possibile ridurre di un terzo i km percorsi rispetto al primo scenario, le consegne sono state più veloci con una riduzione nei tempi di viaggio del 25% e la riduzione di 2/3 dei km totali percorsi in un anno; una riduzione del consumo di energia del 90%; l'eliminazione di 2.560 kg CO₂ per anno; una riduzione della densità di traffico del 5%; una riduzione dei ritardi nelle consegne del 6%; un incremento della velocità media del 3% ed il rumore praticamente eliminato nella zona urbana sottoposta a simulazione [10].

Si può prevedere il raggiungimento di risultati ancora migliori con i diversi interventi realizzati mediante un approccio integrato che veda come obiettivo finale la riduzione dei consumi energetici e la riduzione delle emissioni. Il sistema EFRUD può avere un utilizzo e commercializzazione su larga scala nelle città che vogliono adottare un trasporto e consegna merci a basso impatto ambientale, con il concorso di tecnologie innovative (già disponibili e neanche eccessivamente costose), l'impegno dei governi del territorio (pianificazione, gestione della mobilità e incentivi/disincentivi) e operatori o autisti che operano sul territorio, consapevoli e fautori di una mobilità e una logistica eco-sostenibile.

Bibliografia

[1] EEA (2007). European Environment Agency, *EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2007*, Technical Report no. 16/2007, Published December 06, 2007 (latest version)

[2] EEA (2011). European Environment Agency, *COPERT – Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport*, Published: Nov 08, 2011. <http://emisias.com/copert>

[3] EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2013

[4] Consorzio TRAIN, 2001, Piano Ship Rail Road - Realizzazione di strumenti e prodotti per l'attuazione di processi innovativi di logistica multimodale, Progetto e realizzazione del cassa mobile a refrigerazione passiva, Prove comparate di consumo energetico. Progetto EFRUD (2010/2013) "Emissions Free Refrigerated Urban Distribution"

[5] ISPRA (2010). *Road Transport Emissions National Inventory*, Technical Report no. 124/2010, Italy

[6] Roma Capitale, Dipartimento Mobilità e Trasporti

[7] ISPRA (2011). *Produzione termoelettrica ed emissioni di CO₂*, Technical Report no. 135/2011, Italy

[8] M. Mailbach et al. (2008). *Handbook on estimation of external costs in the transport sector*, Delft, 2008

[9] "Study to support an impact assessment of the urban mobility package – activity 31" – European Commission 2013

[10] ITENE, progetto EFRUD

Il fotovoltaico *off-grid* per lo sviluppo dell'Africa sub-sahariana

Nei prossimi decenni assisteremo ad un straordinario sviluppo demografico ed economico dell'Africa. Il cambiamento climatico in atto impone che questo sviluppo sia centrato sull'utilizzo su larga scala di energie rinnovabili. L'esperienza ENEA in Senegal, descritta in questo articolo, dimostra che i sistemi fotovoltaici ibridi sono già oggi competitivi e possono perciò consentire, nel prossimo decennio, l'accesso all'energia elettrica a centinaia di milioni di africani. L'Italia, anche attraverso il rilancio della cooperazione internazionale, deve favorire l'ingresso delle nostre imprese in questo enorme mercato e contribuire così efficacemente al superamento della povertà e al contrasto del cambiamento climatico

DOI: 10.12910/EAI2015-058

De Paoli, M. Stefanoni

Giovanni De Paoli, Marco Stefanoni
ENEA, Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali

Contact person: Marco Stefanoni
marco.stefanoni@enea.it

Quadro di riferimento

L'Africa, nel 2050, raddoppierà la sua popolazione raggiungendo i 2 miliardi di abitanti. Se consideriamo le gravi condizioni di povertà e carenza di servizi che caratterizzano l'esistenza dei suoi attuali 920 milioni di abitanti, possiamo facilmente prevedere che saranno necessarie enormi quantità di energia, cibo e risorse naturali per assicurare condizioni di vita dignitosa ad una popolazione doppia dell'attuale. Ne consegue che l'Africa, nei prossimi anni, sarà una delle aree a più intenso sviluppo ed uno dei più grandi mercati del pianeta.

Occorre anche considerare che, congiuntamente alla sfida dello sviluppo, l'umanità si trova ad affrontare la sfida ambientale.

Secondo l'IPCC ^[1] le emissioni mondiali di gas serra devono essere ridotte dal 40 al 70% tra il 2010 e il 2050. Il segretario generale dell'Onu, sottolinea che “dobbiamo agire ora per ridurre le emissioni di CO₂ e adottare energie rinnovabili per evitare il peggioramento del clima che si riscalda ad una velocità senza precedenti” e che “l'azione contro il cambiamento climatico può contribuire alla prosperità economica, ad un migliore stato di salute e a città più vivibili”.

L'Africa sub-sahariana potrebbe essere una delle aree nelle quali sperimentare con successo nuove forme di produzione di energia distribuita da fonti rinnovabili che possono conciliare un rapido e significativo sviluppo di queste regioni con il superamento della povertà e il contrasto ai cambiamenti climatici.

Opportunità e barriere per l'accesso all'energia

Secondo le stime dell'IEA ^[2] nel 2040 l'economia della regione quadruplicherà. Oggi solo 300 milioni di persone hanno accesso all'energia elettrica. Il grafico di Figura 1 mostra che nei prossimi 30 anni lo sviluppo dell'Africa sub-sahariana consentirà tale accesso ad oltre 1,5 miliardi di persone.

Il ruolo delle energie rinnovabili non potrà che essere decisivo, in particolare nella elettrificazione delle aree rurali ^[3]. L'Africa sub-sahariana rappresenta perciò un mercato molto promettente per i sistemi di generazione fotovoltaica *off-grid* ^[4] che potrà interessare 300 milioni di persone nel prossimo decennio e oltre 1 miliardo di persone nei due decenni successivi (Figura 1).

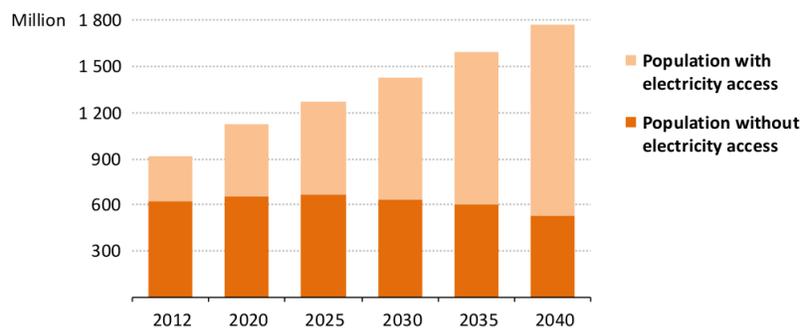


Figura 1 - Accesso all'energia elettrica nell'Africa sub-sahariana - Fonte: IEA

I principali elementi a favore della generazione elettrica fotovoltaica distribuita in questa area sono:

- insolazione favorevole con poche variazioni stagionali;
- facilità di accesso per le zone rurali;
- costo dell'energia già oggi competitivo rispetto a quella prodotta con motori diesel;
- previsione di costi in diminuzione rispetto ai probabili aumenti dei combustibili fossili;
- bassa densità di popolazione e conseguenti elevati costi e tempi di realizzazione di reti di distribuzione;
- ottimi risultati di esercizio nel settore delle telecomunicazioni e dell'industria estrattiva ^[5]
- drastica riduzione di costi sociali e ambientali;
- favorisce processi di condivisione, partecipazione e democrazia.

Le barriere che invece si frappongono alla diffusione di questi sistemi nella regione sono:

- scarsa qualità dei componenti e dei sistemi offerti dai distributori locali;
- assenza di una rete di rivenditori in grado di offrire garanzie e parti di ricambio;
- prezzi sensibilmente superiori a quelli del mercato europeo;
- difficoltà di accesso al credito per alti tassi di interesse e assenza di incentivi pubblici;
- carenze del sistema formativo che ostacolano la creazione di tecnici e micro imprese locali;
- significativo numero di installazioni fotovoltaiche pregresse con risultati insoddisfacenti.

In particolare, i tassi di interesse di operatori finanziari privati sono elevati (16-24%) in ragione della percezione di elevati rischi sociali, politici, economici. Le Casse Rurali locali hanno generalmente tassi più bassi (10-12%) ma con una disponibilità limitata. I Fondi di Sviluppo offrono finanziamenti a tassi agevolati, ma solo a progetti di dimensioni considerevoli.

Sole, energia, cibo, salute e scuola

Le applicazioni dei sistemi distribuiti di generazione fotovoltaica sono moltissime e riguardano settori decisivi per assicurare condizioni di vita dignitose e aumentare il reddito di centinaia di milioni di persone che vivono nelle regioni rurali sub-sahariane, come ad esempio:

- kit per la fornitura di servizi alle famiglie: elettricità, luce, Tv, frigo (0,250-2 kW_p);
- mini-impianti per l'elettrificazione di scuole, ospedali, ambulatori, uffici, imprese (2-20 kW_p);
- impianti con piccole reti elettriche di distribuzione a villaggi/paesi (20-2000 kW_p);
- sistemi di pompaggio di acqua per irrigazione e allevamento (2-200 kW_p);
- conservazione e trasformazione di prodotti agricoli, celle frigo, mulini ecc. (5-200 kW_p);
- sistemi di telecomunicazione (5-20 kW_p).

Lo sviluppo di un modello di produzione di energia elettrica con fonti rinnovabili, autonomo e distribuito, può determinare fortissime ricadute sociali, economiche ed occupazionali. La diffusione di questi impianti migliora, in tempi ragionevoli, l'istruzione, la salute, la condizione femminile, la cura dei bambini, la produzione agricola e il reddito delle famiglie; contrasta gravi fenomeni di inurbamento e di emigrazione; evita danni irreversibili per l'ecosistema.

Un modello energetico, efficace, partecipato e democratico.



Sistemi fotovoltaici per il pompaggio agricolo

L'utilizzo di sistemi di pompaggio fotovoltaico per scopo irriguo in sostituzione di motopompe diesel è un argomento di grande interesse per lo sviluppo di attività agricole sostenibili e produttrici di reddito. Vaste zone dell'Africa sub-

sahariana sono caratterizzate da presenza di acqua di superficie (fiumi e laghi) o di falde poco profonde, con terreni fertili che consentono tre rotazioni colturali all'anno.

Il costo del carburante per le motopompe è sempre più oneroso per gli agricoltori, riducendo quasi a zero il margine di guadagno di ogni attività agricola; la maggior parte dei paesi dell'Africa sub-sahariana non ha infatti nessun tipo di sussidio per i carburanti agricoli.

Ai fini della modernizzazione e dell'aumento della redditività della produzione agricola risulta inoltre decisiva la possibilità di disporre di impianti per la conservazione e trasformazione dei prodotti: celle frigo, sistemi di essiccazione, impianti per la produzione di conserve e formaggi. Queste attività possono integrarsi perfettamente con questi sistemi per il pompaggio agricolo perché spesso si collocano al termine dei cicli colturali. Ciò significa che il medesimo impianto fotovoltaico può fornire energia agli impianti di conservazione quando essa non è più necessaria per l'irrigazione. Inoltre, la richiesta di energia termica necessaria per gli impianti di essiccazione e conservazione può essere soddisfatta con l'aggiunta di sistemi solari termici dedicati.

L'esperienza ENEA in Senegal

A seguito della collaborazione con la Direzione Generale per la Cooperazione allo Sviluppo (DGCS) del MAECI ^[6], avviata da ENEA nell'ambito del progetto "Educarsi al futuro", si sono create diverse opportunità per fornire supporto tecnico-scientifico alle Organizzazioni Non-Governative (ONG) impegnate in progetti che prevedono l'utilizzo di nuove tecnologie e di fonti di energia rinnovabile.

In particolare, a partire dal 2012, un gruppo di tecnici ENEA è impegnato nella progettazione e nell'assistenza tecnica alla realizzazione di due impianti di pompaggio fotovoltaico nell'ambito del progetto FREDDAS, promosso da Green Cross Italia e cofinanziato dalla Cooperazione italiana (MAECI), a beneficio di due cooperative agricole nel nord del Senegal.



La progettazione è iniziata dopo due visite sul terreno e un intenso scambio di informazioni e approfondimenti con gli esperti di Green Cross, gli agronomi e le comunità locali per individuare le soluzioni più appropriate. Tenuto conto delle sensibili variazioni mensili di richiesta irrigua e dell'andamento della radiazione solare nell'arco dell'anno, si è scelta una configurazione ibrida fotovoltaico-generatore diesel, oggi utilizzata con successo in diversi settori.

Il progetto, tenuto conto dei vincoli prefissati dal programma FREDDAS, ha privilegiato i seguenti obiettivi:

- massimizzare l'utilizzo di energia fotovoltaica (integrazione diesel max 10%);
- utilizzare componenti commerciali, di alta qualità e con elevata efficienza;
- ottimizzare l'utilizzo dell'acqua attraverso sistemi di irrigazione razionale;
- integrare nel ciclo di produzione agricola la fase di conservazione dei prodotti.

I principali dati di progetto dei due impianti sono riportati in Tabella 1.

Villaggio	Gouriki	Bokhol
Superficie coltivata	40 ha	20 ha
Numero beneficiari	160	80
Portata irrigazione massima	1.459 m ³ /giorno	1.232 m ³ /giorno
Pressione nominale	6,7 bar	4,3 bar
Volume cella frigo	80 m ²	65 m ²
Potenza nominale fotovoltaico	100 kW _p	50 kW _p

TABELLA 1 - Principali dati di progetto dei due impianti

Lo schema di impianto è riportato in Figura 2. L'energia prodotta dai moduli fotovoltaici viene trasferita tramite l'inverter alla micro-rete (trifase 400 V - 50 Hz) che alimenta le pompe per l'irrigazione, la cella frigo e altre eventuali utenze di villaggio. Il generatore diesel fornisce energia supplementare alla micro-rete nei periodi di maggiore richiesta idrica. Inoltre un modesto accumulo di energia elettrica in batteria consente di minimizzare l'intervento del diesel per compensare carenze o eccessi di energia fotovoltaica prodotta. Le pompe sono alimentate tramite un inverter a velocità variabile per consentire di variare la portata e mantenere costante la pressione nell'impianto di irrigazione. Le valvole di irrigazione delle parcelle vengono aperte e chiuse manualmente in funzione dell'energia solare disponibile e delle esigenze definite dal calendario culturale. In questo modo si minimizza l'accumulo di energia elettrica in batteria e si evitano costosi serbatoi per accumulo d'acqua. Un sistema di monitoraggio e segnalazione permette all'operatore di regolare i tempi di irrigazione delle singole parcelle.

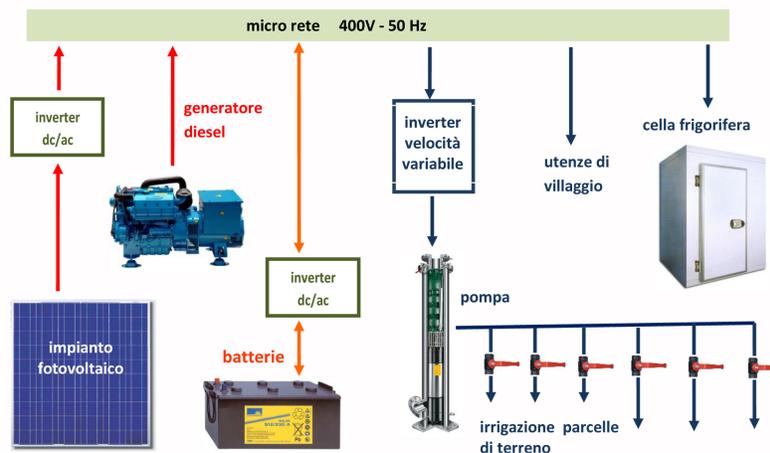


FIGURA 2 Schema di massima impianto ibrido fotovoltaico-diesel

Le celle frigo sono progettate con un isolamento superiore ai normali standard al fine di ridurre i consumi e aumentare la loro inerzia termica. Ciò consente il loro corretto funzionamento pur fornendo alimentazione elettrica solo nelle ore diurne.

Le imprese coinvolte nella fornitura e installazione dei componenti del sistema sono: Enel Green Power (moduli fotovoltaici 3SUN), Caprari (pompe e inverter Danfoss), IBC (inverter SMA e batterie Moll), Pramac (generatori diesel), GEA e SOSIE (progettazione esecutiva e installazione), Agrisol (sistema di irrigazione goccia a goccia).

La messa in esercizio dei due impianti è avvenuta lo scorso marzo. Nel progetto è stata coinvolta l'Università Gaston Berger di Saint Louis attraverso la partecipazione di un gruppo di docenti e studenti che seguiranno l'installazione degli impianti e cureranno il monitoraggio e l'analisi delle prestazioni.

ENEA ha realizzato un modello di simulazione ^[7], fruibile su web, per il dimensionamento e l'analisi delle prestazioni di sistemi fotovoltaici *off-grid* che verrà anche utilizzato per supportare la formazione di tecnici locali.

Valutazioni tecnico-economiche

A partire dalla progettazione realizzata e utilizzando il modello di simulazione ENEA citato⁷, si è condotto uno studio volto a individuare le condizioni che rendono conveniente questa tipologia di impianti.

Il caso-studio si riferisce a un sistema di pompaggio nella regione di Matam (Senegal) i cui dati meteorologici sono riportati in tabella (Tabella 2). La prevalenza massima considerata è di 15 metri e il fabbisogno giornaliero di acqua per l'irrigazione è quello riferito ad un terreno con tre cicli colturali per anno (Tabella 3).

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre	Totale annua
H _{tot} (radiazione totale orizz.) (kWh/m ² gg)	4,67	5,47	6,49	6,87	6,93	6,75	6,44	5,96	5,84	5,59	4,91	4,3	5,9
Temperatura max - media nel mese (°C)	31	35	37	40	41	39	36	34	35	37	36	25,7	35,6

TABELLA 2 - Dati meteo della regione del Matam (Senegal) - Fonte: NASA

Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
73	28	26	41	27	32	70	70	43	8	27	57

TABELLA 3 - Fabbisogno giornaliero di irrigazione per ettaro (m³/giorno)

I dati economici inseriti nella simulazione si riferiscono ai prezzi dei diversi componenti dell'impianto, ai costi di installazione e manutenzione praticati da tecnici locali e a un tasso di interesse del 10% ipotizzabile per programmi regionali di sviluppo rurale (Tabelle 4 e 5).

In particolare, per i moduli fotovoltaici, si è considerato il costo di 560 €/kW_p offerto dal produttore italiano Solsonica, con garanzia di 12 anni sul prodotto e di 25 anni sulla performance. Per gli inverter del produttore SMA la garanzia è di 5 anni, estensibile a 25. La Tabella 5 mostra come, con l'aumento della dimensione dell'impianto da 5 a 34 kW_p, il costo del sistema può diminuire del 25% per i minori costi specifici di componenti (inverter, pompe, batterie) e dell'installazione. Per impianti di taglia superiore, da 50 a 200 kW_p il costo specifico non presenta ulteriori significative diminuzioni.

Costo gasolio	1,2 €/litro
Consumo specifico generatore diesel	0,33 litri/kWh
Costo annuale manutenzione diesel	7%
Tasso di interesse	10%
Manutenzione annuale fotovoltaico	2%
Costo generatore diesel	300 €/kW
Costo batterie	110 €/kWh

TABELLA 4 - Dati economici per la valutazione tecnico-economica dei costi dell'impianto ibrido fotovoltaico-diesel

Potenza fotovoltaica (kW _p)	Costo specifico (€/kW _p)
5	1.994
12	1.634
17	1.484
34	1.452

TABELLA 5 - Costo dell'impianto fotovoltaico di pompaggio riferito all'unità di potenza

I risultati principali dello studio sono riportati di seguito.

Prendendo ad esempio un impianto fotovoltaico da 17 kW_p, destinato all'irrigazione di un terreno di 42 ettari, la simulazione calcola la richiesta di energia giornaliera necessaria al pompaggio (linea blu) e la corrispondente produzione di energia da fotovoltaico (linea rossa).

La Figura 3 mostra che l'impianto fotovoltaico non è in grado di produrre l'energia necessaria al pompaggio nei mesi di gennaio, aprile e dicembre. La quota mancante, pari al 30% del totale annuo, viene quindi fornita dal generatore diesel.

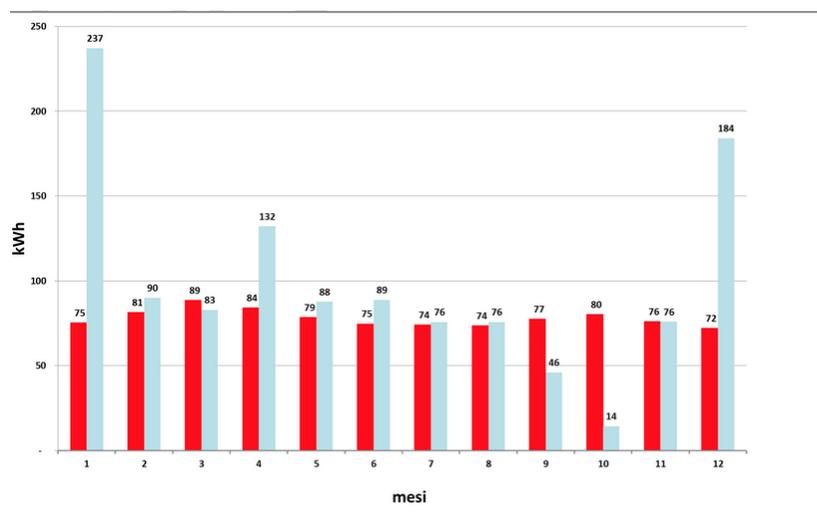


Figura 3 - Energia elettrica giornaliera (kWh medi mensili - impianto fotovoltaico di 17 kWp + diesel 30%) - Legenda: produzione da fotovoltaico (rosso); consumo per pompaggio (azzurro)

In Tabella 6 è indicata l'energia elettrica prodotta e consumata annualmente dall'impianto.

Produzione da fotovoltaico	Produzione da generatore diesel	Consumo pompaggio	Eccedenza fotovoltaico	Coefficiente utilizzo fotovoltaico
28.099	10.711	35.716	3.094	89%

TABELLA 6 - Energia elettrica prodotta e consumata annualmente (kWh)

Grazie a questo dimensionamento si ottimizza il fattore di utilizzo del fotovoltaico e si raggiunge un risultato economico di grande interesse. Il costo dell'energia prodotta dall'impianto ibrido fotovoltaico-diesel risulta essere 0,27 €/kWh, sensibilmente inferiore (-36%) a quello di un generatore diesel convenzionale pari a 0,42 €/kWh (Tabella 7).

Potenza impianto fotovoltaico	Percentuali di integrazione con generatore diesel			
	5%	10%	20%	30%
5 kW	0,45	0,40	0,33	0,32
12 kW	0,36	0,33	0,29	0,29
17 kW	0,34	0,31	0,27	0,27
34 kW	0,32	0,29	0,26	0,26

TABELLA 7 - Costo dell'energia elettrica prodotta da impianto ibrido fotovoltaico-diesel (€/kWh)

In Tabella 8 è riportata la stima fornita dal modello di simulazione della superficie irrigabile da un impianto ibrido al variare della taglia dell'impianto fotovoltaico e del grado di integrazione diesel. Ad esempio, un impianto fotovoltaico da 17 kW_p può soddisfare l'irrigazione di 42 ha se è associato a una integrazione diesel del 30%. Gli ettari serviti scendono a 17 se l'integrazione diesel si riduce al 10% del totale.

Potenza PV	Percentuali di integrazione del generatore diesel			
	5%	10%	20%	30%
5 kW	4	5	8	11
12 kW	10	12	19	25
17 kW	17	21	31	42
34 kW	29	35	53	72

TABELLA 8 - Superficie irrigabile in relazione a potenza fotovoltaica e integrazione diesel (ha)

Il grafico della Figura 4 mostra come anche i tempi di ritorno dell'investimento variano sensibilmente con la taglia dell'impianto e la quota di integrazione diesel. Nell'impianto da 17 kW_p, il tempo di ritorno scende da 8 a 4 anni se aumentiamo l'integrazione diesel dal 10% al 30%.

La lunga durata di vita dei moduli fotovoltaici, stimata in oltre i 25 anni, evidenzia la forte convenienza economica di questo investimento. Tale vantaggio aumenta considerevolmente se si tiene conto dei trend di riduzione dei costi di moduli, inverter e batterie e dei trend di aumento dei costi dei carburanti. Notevoli anche i benefici ambientali: per l'impianto da 17 kW_p si evita l'emissione di 21 t CO₂/anno.

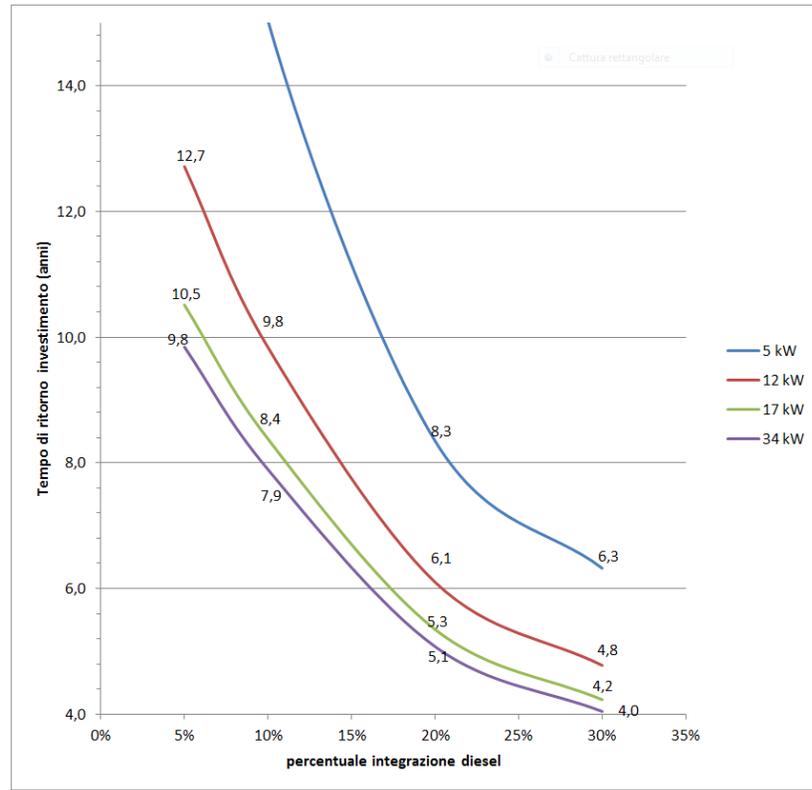


FIGURA 4 Sistemi ibridi fotovoltaico-diesel. Tempo di ritorno dell'investimento in relazione a potenza dell'impianto fotovoltaico e integrazione diesel

Conclusioni

L'esperienza ENEA in Senegal ha evidenziato che i sistemi di pompaggio ibridi fotovoltaici-diesel sono già oggi economicamente competitivi rispetto ai sistemi diesel convenzionali. Ciò rende attuabile e conveniente l'avvio di programmi regionali di sostituzione delle motopompe, largamente utilizzate in tutta la regione sub-sahariana per fornire acqua sia per usi civili che agricoli, con elevatissimi benefici economici, sociali ed ambientali.

Un costo dell'energia ridotto del 36% e in prospettiva ancora più basso, apre grandi potenzialità di mercato per questa tipologia di impianti e può consentire un significativo ampliamento delle terre coltivate, degli allevamenti e delle attività di conservazione e trasformazione dei prodotti agricoli, con rilevanti effetti sulla sicurezza alimentare e sulla salute.

Più in generale, occorre considerare che molte applicazioni del fotovoltaico *off-grid* in Africa diventano ogni giorno più competitive e sono indispensabili per

assicurare l'accesso all'energia e la soddisfazione di bisogni primari di centinaia di milioni di persone che vivono distribuite su territori molto vasti. Un mercato di grandissimo interesse, fortemente orientato all'innovazione e che coinvolge molti comparti produttivi. Un mercato che l'Italia non può trascurare, se non altro per ragioni di prossimità con il continente africano.

Anche il mondo della cooperazione nazionale e internazionale sta mettendo a punto nuove strategie di sviluppo in considerazione delle emergenze ambientali e climatiche derivanti dall'uso dei fossili. La creazione dell'Agenzia Italiana per la Cooperazione allo sviluppo può delineare un nuovo e più efficace approccio finalizzato a sostenere lo sforzo di qualificate imprese italiane a entrare in questi mercati nell'ambito di accordi istituzionali con i paesi africani interessati.

ENEA può mettere a disposizione competenze multidisciplinari e laboratori per fornire consulenza scientifica ai diversi soggetti internazionali (MAECI [8] , FAO [9] , IFAD [10] , WFP [11] ecc.) nonché assistenza tecnica alle ONG e alle imprese coinvolte nella realizzazione di progetti innovativi.

Il protocollo d'intesa appena sottoscritto tra Dipartimento Generale Cooperazione allo Sviluppo del MAECI ed ENEA ha aperto ampi spazi di collaborazione che possono ora concretizzarsi nella realizzazione di studi di fattibilità tecnico-economica, programmi finalizzati ad aumentare la *capacity building*, progetti di elettrificazione rurale e collaborazioni con università e centri di ricerca dei paesi interessati.

Bibliografia

“IEA - Africa Energy Outlook 2014”

http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2014_Africa_EnergyOutlook.pdf

“Renewable Energies in Africa” JRC – 2011

http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC67752/reqno_jrc67752_final%20report%20.pdf

“Mini-grid Policy Toolkit “ - EUEI <http://www.euei-pdf.org/thematic-studies/mini-grid-policy-toolkit>

“Sunshine for mines: implementing renewable energy for off-grid operations” - Johns Hopkins -The Carbon War room- March 2014

http://static.squarespace.com/static/52dfe864e4b005a175c9fd59/t/5348126ce4b02c4a1416d693/1397232236588/CWR14_MinesReport_singles.pdf

“Modello per il dimensionamento energetico-economico di impianti fotovoltaici non connessi alla rete per irrigazione e elettrificazione rurale” M. Stefanoni - ENEA- UTMEA <http://utmea.enea.it/research/MVPM/index.php>

[1] IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

[2] IEA - Africa Energy Outlook 2014

http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2014_AfricaEnergyOutlook.pdf

[3] Renewable Energies in Africa” JRC – 2011

http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC67752/reqno_jrc67752_final%20report%20.pdf

[4] Mini-grid Policy Toolkit - EUEI <http://www.euei-pdf.org/thematic-studies/mini-grid-policy-toolkit>

[5] Per l'utilizzo degli impianti fotovoltaici ibridi nel settore estrattivo vedi: Sunshine for mines

http://static.squarespace.com/static/52dfe864e4b005a175c9fd59/t/5348126ce4b02c4a1416d693/1397232236588/CWR14_MinesReport_singles.pdf;

[6] MAECI - Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale

[7] Il modello di simulazione è fruibile sul sito <http://utmea.enea.it/research/MVPM/index.php> e consente il dimensionamento e la valutazione economica di impianti fotovoltaici per il pompaggio, l'irrigazione e l'elettrificazione rurale.

[8] MAECI - Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale

[9] FAO - Food and Agriculture Organization of United Nations

[10] IFAD - International Fund for Agricultural Development

[11] WFP - World Food Program

Analisi

Spazio aperto - Analisi

Governance e commercializzazione dell'innovazione tecnologica

L'innovazione tecnologica non è solo conseguenza diretta delle risorse economiche destinate ad attività di ricerca e sviluppo. È anche frutto di un lavoro di creazione e organizzazione di un sistema complesso per l'innovazione che punta a coinvolgere numerosi attori e stakeholder lungo un processo articolato in fasi che vanno dalla scoperta alla maturità tecnologica. La condivisione del rischio e dei finanziamenti tra settore pubblico e privato rappresenta un elemento fondamentale per la transizione di una tecnologia verso la commercializzazione, senza il quale il processo d'innovazione rischia di rimanere intrappolato nella cosiddetta "Valle della morte" di una tecnologia. Il superamento di questo ostacolo può avvenire se il processo è basato su tre pilastri che sono la ricerca, la dimostrazione e la produzione di una determinata tecnologia

DOI: 10.12910/EAI2015-059

A. Fidanza

Andrea Fidanza
ENEA, Unità Studi e Strategie

Contact person: Andrea Fidanza
andrea.fidanza@enea.it

Introduzione

La capacità d'innovazione tecnologica costituisce un elemento essenziale per aumentare la competitività delle imprese e favorire al contempo la ripresa economica, soprattutto in un'ottica di sviluppo sostenibile. Questo concetto, tuttavia, viene spesso ricondotto, in maniera quasi esclusiva, alle attività di ricerca che per loro natura hanno l'obiettivo di produrre nuova conoscenza e quindi di contribuire all'innovazione. In realtà il processo che porta alla diffusione dell'innovazione tecnologica all'interno del sistema produttivo e della società, e quindi a passare dalla scoperta di un nuovo concetto o idea fino alla sua commercializzazione, va ben oltre le attività di ricerca, essendo estremamente lungo e complesso e coinvolgendo numerosi attori differenti.



Non esiste una definizione unica (vedi riquadro) di *Sistema Nazionale dell'Innovazione* (National Innovation System – NIS), tuttavia è possibile affermare che esso è basato su un flusso continuo di tecnologie e informazioni tra soggetti diversi, come persone, imprese, istituzioni pubbliche, università ed enti di ricerca, che instaurano complesse relazioni tra loro e che portano a loro volta all'innovazione tecnologica. In quest'ottica la comprensione dei legami tra i vari attori coinvolti e l'implementazione di politiche volte a favorire l'interazione tra questi soggetti e ad aumentare la capacità delle imprese di “assorbire” nuove tecnologie, rappresentano delle leve decisive per favorire il processo d'innovazione. ^[1]

Definizioni in letteratura di Sistema Nazionale dell'Innovazione

- “ .. *the network of institutions in the public and private sectors whose activities and interactions initiate, import, modify and diffuse new technologies.*” (Freeman, 1987)

- “ .. the elements and relationships which interact in the production, diffusion and use of new, and economically useful, knowledge ... and are either located within or rooted inside the borders of a nation state.” (Lundvall, 1992)
- “... a set of institutions whose interactions determine the innovative performance ... of national firms.” (Nelson, 1993)
- “ .. the national institutions, their incentive structures and their competencies, that determine the rate and direction of technological learning (or the volume and composition of change generating activities) in a country.” (Patel and Pavitt, 1994)
- “.. that set of distinct institutions which jointly and individually contribute to the development and diffusion of new technologies and which provides the framework within which governments form and implement policies to influence the innovation process. As such it is a system of interconnected institutions to create, store and transfer the knowledge, skills and artefacts which define new technologies.” (Metcalf, 1995)

Il concetto di NIS riflette un approccio sistemico allo sviluppo tecnologico, dove gli input al cambiamento tecnologico, e quindi all'innovazione, provengono da diverse parti, in qualunque fase del processo d'innovazione (Figura 1) e in qualunque forma, compresi gli adattamenti di prodotto e i miglioramenti incrementali di processo, secondo una sequenza non di tipo lineare ma più simile a un *loop* di continui feedback tecnologici dai diversi attori coinvolti. Fondamentale per l'efficacia di un NIS è il ruolo delle imprese, centrali a questo processo, e la loro capacità di accedere alle fonti esterne di nuova conoscenza (altre imprese, enti di ricerca, università.) e di utilizzare tale capitale nella maniera più efficace.

Il processo d'innovazione tecnologica può essere rappresentato come il percorso evolutivo di una tecnologia lungo un ciclo di cinque fasi principali che sono ricerca, sviluppo, dimostrazione, creazione del

mercato e diffusione commerciale [2], durante le quali aumenta progressivamente il grado di maturità della tecnologia (Figura 1). Tale processo si inserisce all'interno del più ampio sistema dell'innovazione, dove i vari soggetti coinvolti (aziende, università, centri di ricerca, agenzie governative, decision-maker, istituzioni finanziarie e società civile) interagiscono attraverso differenti modalità (partnership, network, cluster industriali, progetti) generando maggiore "knowledge" e nuove tecnologie all'interno di una cornice composta da istituzioni, infrastrutture e anche politiche industriali.

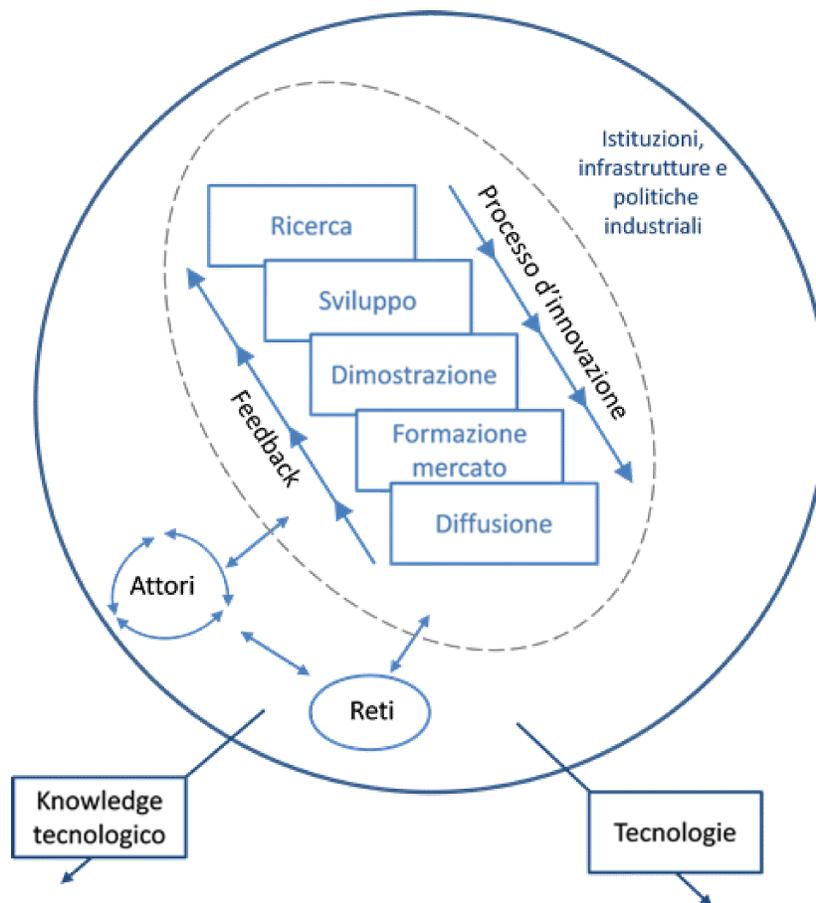


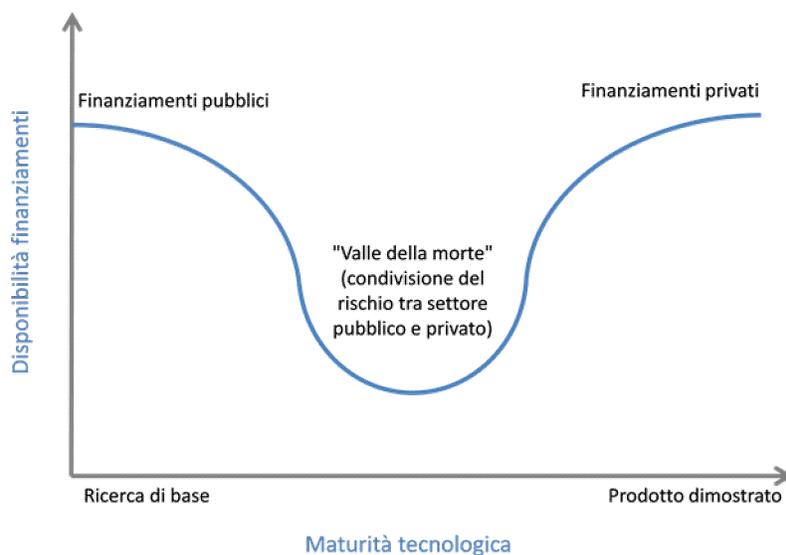
FIGURA 1 - Il sistema dell'innovazione - Fonte: adattato da UN - Department of Economic and Social Affairs, World Bank

In quest'ottica, un'efficace politica di sviluppo – e quindi anche della ricerca – dovrebbe necessariamente tenere conto della complessità sia del sistema che del processo d'innovazione tecnologica, e soprattutto dell'importanza di tessere un solido e complesso intreccio di

interrelazioni tra soggetti diversi che puntano nella stessa direzione. Solo cogliendo appieno tutte le dinamiche del sistema si riesce a pianificare una efficace politica di sviluppo che consenta di arrivare all'obiettivo comune di far penetrare una tecnologia all'interno del sistema produttivo e della società. All'interno dei NIS il ruolo dei governi è, infatti, anche quello di individuare e correggere le carenze di sistema, soprattutto quelle relative alla presenza di deboli, o addirittura assenza, interazioni tra i soggetti coinvolti.

La Valle della morte delle tecnologie

Il momento più critico lungo l'intero processo d'innovazione è costituito dalle fasi di sviluppo e dimostrazione della tecnologia, situate a metà strada tra quelle della ricerca di base e della commercializzazione della tecnologia stessa. Queste fasi comprendono tutte le attività che puntano a superare la cosiddetta "Valle della morte" di una tecnologia, dove l'innovazione rischia di rimanere intrappolata a causa di poche e ridotte risorse finanziarie e del limitato supporto pubblico (Figura 2). Il settore pubblico generalmente interviene all'inizio del processo d'innovazione, finanziando le attività di ricerca di base in laboratorio che generalmente non hanno ancora identificato uno specifico prodotto finale e sono caratterizzate da una elevata incertezza.



*FIGURA 2 - Il finanziamento del sistema dell'innovazione - Fonte:
adattato da UN - Department of Economic and Social Affairs,
World Bank*

Il settore privato, invece, diventa progressivamente sempre più interessato all'oggetto della ricerca con l'aumentare del potenziale di profitto e il superamento dei principali ostacoli tecnologici associati ad esso. La "Valle della morte" si riferisce proprio a questo momento intermedio di supporto finanziario tra il settore pubblico e quello privato, dove quest'ultimo, seppure interessato, potrebbe considerare eccessivamente rischioso procedere allo sviluppo della tecnologia in maniera autonoma. In questo modo una tecnologia, seppur promettente, potrebbe non progredire lungo le fasi di dimostrazione e sviluppo necessarie per arrivare alla commercializzazione ^[3].

La Montagna della morte delle tecnologie

L'innovazione tecnologica va di pari passo con una progressione lungo la curva di apprendimento tecnologico connessa a un graduale calo dei costi della tecnologia. Ad esempio, nel caso di tecnologie energetiche, il fenomeno della Valle della morte tecnologica è strettamente connesso al progressivo aumento dei costi che un'impresa deve affrontare nel passare da un impianto a livello "concettuale" ad uno pilota, per poi realizzarne uno dimostrativo e infine arrivare alla costruzione del primo impianto su scala commerciale. I costi incominciano a ridursi gradualmente solo dopo la realizzazione dei primissimi impianti commerciali fino al raggiungimento di un discreto grado di maturità della tecnologia. Tale fenomeno di aumento e diminuzione viene chiamato la "Montagna della morte" dei costi tecnologici e può essere identificato come il principale motivo per cui le aziende private sono restie ad investire nella realizzazione di impianti pilota e dimostrativi (Figura 3). In generale, è possibile quindi affermare che l'investimento necessario per far transitare una tecnologia attraverso le prime fasi di ricerca è relativamente modesto, se confrontato con l'investimento necessario per superare le fasi di dimostrazione tecnologica.

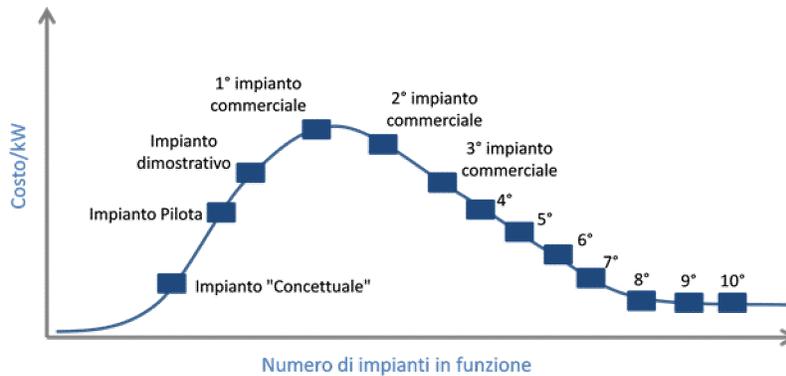


FIGURA 3 - La “Montagna della morte” dei costi tecnologici -
Fonte: adattato da World Bank – Electric Power Research Institute

La debolezza europea

Nel febbraio 2013 la Commissione Europea ha costituito il nuovo *High-Level Expert Group (HLG) on Key Enabling Technologies (KETs)* [4], che ha il compito di promuovere lo sviluppo industriale europeo in alcuni settori chiave al fine di aumentare la competitività delle imprese, favorire la crescita, creare posti di lavoro e affrontare le principali sfide della società di oggi. Secondo l'*HLG*, nonostante il settore della ricerca europeo sia abbastanza competitivo in termini di sviluppo di nuove tecnologie, le fasi di transizione dall'invenzione al prodotto e la sua dimostrazione su scala industriale (*scale-up*) rappresentano l'elemento più debole della catena del valore europea nelle tecnologie chiave [5].

Sempre secondo il gruppo, la debolezza europea durante le fasi che coincidono con la “Valle della morte” di un prodotto o tecnologia, cioè quel passaggio critico a metà strada tra l'idea innovativa e l'accesso al mercato globale, rappresenta un grande ostacolo per la competitività delle imprese europee rispetto a quelle americane o asiatiche. L'incapacità di superare tale fase farebbe perdere alle aziende europee la possibilità di beneficiare dei vantaggi del “first-mover”, ossia quelli derivanti dall'essere i primi a collocarsi su nuovi settori tecnologici piuttosto che essere superati da più agili *competitors* americani o asiatici.

Ad esempio, nel settore delle celle solari l'Europa evidenzia rispetto all'Asia una evidente sproporzione tra numero di brevetti depositati e produzione (Figura 4). Sembrerebbe infatti esserci una sorta di

disconnessione tra la capacità di produrre conoscenza e il successivo utilizzo di questa conoscenza per le attività manifatturiere e la commercializzazione dei prodotti [6] .

È importante considerare che gli ostacoli connessi alla “Valle della morte” non sono esclusivamente di tipo finanziario (ad esempio mancanza di Venture Capital/Angel investors), ma anche legati ad altri aspetti come l’assenza di supporto politico o di imprenditorialità. L’Europa, infatti, sconta in particolare la mancanza di partnership pubblico-private e programmi orientati al mercato, basati su attività di ricerca transnazionali che puntino ad abbreviare il tempo di accesso al mercato di una tecnologia/prodotto.

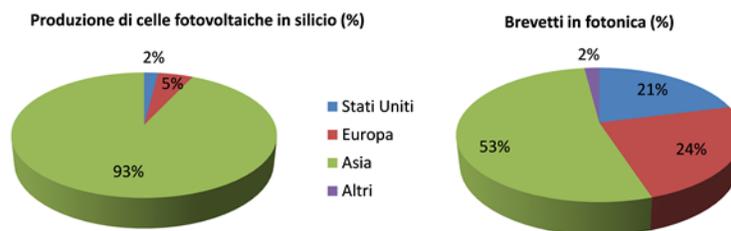


Figura 4 - Confronto tra Europa, America e Asia in termini di produzione di celle e proprietà brevettuale a livello globale nel settore fotovoltaico nel 2012 - Fonte: European Commission - High-Level Expert Group on Key Enabling Technologies

A tal proposito, uno studio [7] [8] del 2013 finanziato dalla Commissione Europea evidenzia come gli Stati Uniti e altri cinque paesi asiatici abbiano messo in campo diverse misure e strumenti di policy per favorire investimenti in attività di R&S e nuova capacità manifatturiera nei settori delle KETs, attirando numerose aziende europee che arrivano in alcuni casi a coprire fino al 20-25% dell’investimento. Tra le misure e gli strumenti adottati vi sono:

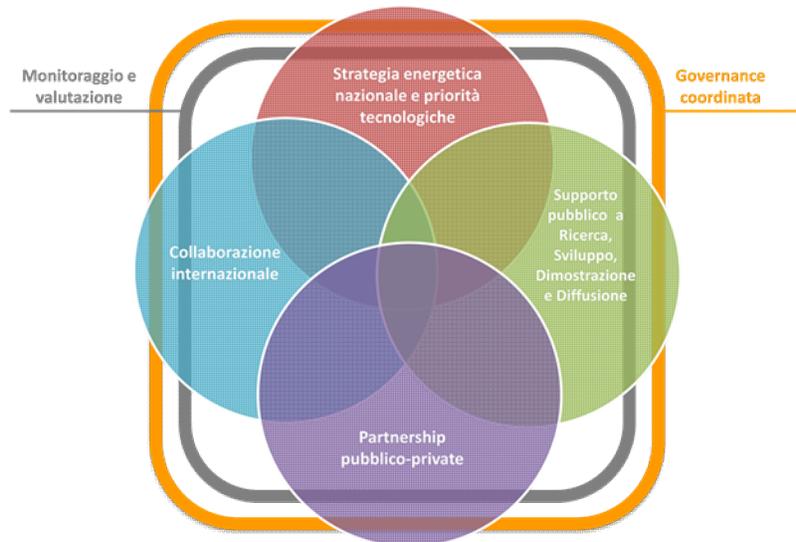
- finanziamenti diretti non rimborsabili;
- prestiti e garanzie sui prestiti;
- incentivi fiscali (ad esempio agevolazioni o esenzioni dai dazi doganali);
- fornitura di beni o servizi (ad esempio concessione gratuita di terreni);

FIGURA 5 - Il processo europeo di superamento della valle della morte per le tecnologie chiave - Fonte: High-Level Expert Group on Key Enabling Technologies

A livello nazionale il ruolo dei governi è fondamentale nel guidare il processo d'innovazione tecnologica. Pur non esistendo una combinazione unica di politiche, strumenti e incentivi all'innovazione, è possibile delineare in maniera generale quello che dovrebbe essere il contesto all'interno del quale essa possa svilupparsi. Nell'ottica della decarbonizzazione del sistema energetico, secondo l'International Energy Agency, le politiche per le tecnologie energetiche, di promozione sia della domanda che dell'offerta, dovrebbero puntare all'accelerazione della commercializzazione delle tecnologie stesse e a stimolare gli investimenti privati all'interno di un contesto ideale ^[9] come quello rappresentato in Figura 6.

Secondo l'Agenzia, infatti, i paesi dovrebbero:

- mettere a punto chiare strategie per le tecnologie energetiche a livello nazionale, dando priorità alle aree dove il paese presenta già un vantaggio in termini di competitività;
- investire in progetti di Ricerca, Sviluppo e Dimostrazione per abbassare i costi dell'innovazione, aumentare le opportunità di *breakthrough* tecnologici e sperimentare nuovi modelli di business;
- supportare l'industria durante ciascuna fase del processo d'innovazione, in particolare attraverso partnership pubblico-private finalizzate anche a condividere i rischi, aumentare l'efficacia degli investimenti pubblici e accrescere la commerciabilità delle innovazioni;
- collaborare a livello internazionale per condividere i costi dell'innovazione e le competenze, oltre che per accelerare il relativo processo;
- monitorare e valutare l'intero processo al fine di fornire feedback per rendere il tutto più efficace;
- coordinare le varie istituzioni afferenti allo sviluppo di tecnologie energetiche per una migliore *governance* dell'innovazione.



*FIGURA 6 - Il contesto politico per l'innovazione energetica -
Fonte: adattato da International Energy Agency, Chiavari and Tam,
2011*

Conclusioni

In quest'ottica, anche in Italia il ruolo di una politica per l'innovazione tecnologica che punti a integrare le competenze e a ottimizzare l'utilizzo di risorse umane, strumentali e finanziarie, costituisce il fattore determinante per favorire gli investimenti privati, anche provenienti dall'estero, riducendo i fattori di rischio per le imprese connessi alle attività di sviluppo e dimostrazione di processo e di prodotto.

Ad oggi, infatti, il processo d'innovazione è marcatamente più rapido e complesso rispetto al passato, avvenendo in un contesto di competizione sempre più globalizzata che coinvolge numerosi soggetti. Pertanto, un'ampia base di solide ed efficaci interrelazioni tra attori nazionali rappresenta un elemento essenziale per competere sui mercati esteri, considerando soprattutto il contesto economico produttivo italiano, caratterizzato da una dimensione d'impresa "medio-piccola" che per sua natura presenta maggiori difficoltà rispetto ad una "grande" nell'affrontare da sola i rischi connessi alle fasi di sviluppo e dimostrazione di una tecnologia.

Nel nostro Paese esistono alcuni esempi di eccellenza di partenariati pubblico-privati, come quello tra l’Agenzia ENEA ed ENEL relativo al progetto Archimede nel solare termodinamico, che ha contribuito a far diventare l’Italia un paese leader in questo settore, anche dal punto di vista della produzione industriale. Lo stesso dicasi per la collaborazione tra l’Agenzia e l’azienda Mossi & Ghisolfi per la produzione di biocarburanti di seconda generazione, che ha portato alla realizzazione in Italia della prima bioraffineria al mondo per la produzione di bioetanolo da biomasse non alimentari.

Esempi simili potrebbero essere moltiplicati se solo esistessero, o meglio venissero rafforzate, le condizioni al contorno del sistema dell’innovazione descritte sopra, favorendo in maniera sostanziale il trasferimento tecnologico verso le imprese e aumentando l’integrazione tra politica industriale, politica ambientale e politica della ricerca. Servono quindi strumenti e misure, anche di supporto finanziario, in grado di accompagnare il processo d’innovazione tecnologica durante tutte le fasi che lo compongono, fino a quella finale della commercializzazione. In particolare, ciò dovrebbe avvenire durante le fasi intermedie in cui si assiste a un progressivo “phasing-out” del capitale pubblico a favore di quello privato, che in generale necessita di maggiori garanzie a copertura del rischio rispetto al primo.

[1] *National Innovation Systems*. OECD, 1997.

[2] *World Economic and Social Survey 2011. The Great Green Technological Transformation*. United Nations, 2011.

[3] *Accelerating Clean Energy Technology Research, Development, and Deployment. Lessons from Non-energy Sectors*. World Bank, Working Paper n. 138, 2008.

[4] http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/key_technologies/kets_high_level_group_en.htm

[5] *Mastering and deploying Key Enabling Technologies (KETs): building the bridge to pass across the KETs “Valley of death” for future European innovation and competitiveness*. High-Level Expert Group on Key Enabling Technologies Working Document.

[6] *Final Report 2011*. High-Level Expert Group on Key Enabling Technologies.

[7] *Study on the international market distortion in the area of KETs: A case analysis*

[8] . ECSIP Consortium - DG Enterprise and Industry. Maggio 2013.

[9] *Energy Technology Perspectives 2012. Pathways to a Clean Energy System*. International Energy Agency.

Panoramica

Spazio aperto - Panoramica

Agricoltura biologica, una scelta giusta per l'ambiente, la sicurezza alimentare e la salute?

A scala globale l'agricoltura biologica rappresenta una realtà in forte crescita. Anche in Italia esiste una tendenza positiva del biologico, sia in termini di superficie (ormai a quota 1,3 milioni di ettari), sia di numero di aziende (52.383 operatori), sia di fatturato (3,5 miliardi di euro). Numerosi studi, evidenziano come la produzione ed il consumo di alimenti biologici abbia effetti positivi sulla vita umana, limitando gli impatti negativi delle attività agricole su aria, suolo e biodiversità, riducendo i consumi di fertilizzanti, acqua ed energia. Tuttavia, vi sono anche forti dubbi e importanti sfide ai quali il "bio" deve rispondere, come il contribuire a sfamare una popolazione mondiale che nel 2050 toccherà i 9 miliardi di abitanti. L'articolo traccia un quadro d'insieme dell'agricoltura ecosostenibile in Italia e in Europa, discutendo aspetti ambientali e produttivi strategici delle filiere agricole biologiche

DOI: 10.12910/EAI2015-060

L. Ciccarese, V. Silli

Lorenzo Ciccarese, Valerio Silli
ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), Dipartimento Difesa della
Natura

Contact person: Lorenzo Ciccarese, Valerio Silli
lorenzo.ciccarese@isprambiente.it, valerio.silli@isprambiente.it

Introduzione

Il forte aumento dei prezzi dei prodotti alimentari registrato negli ultimi anni e il livello crescente di persone affamate e malnutrite del pianeta, nonché una serie multipla di *stress* (inclusi i cambiamenti climatici) che agiscono sulla produttività delle colture, hanno accresciuto la consapevolezza tra i decisori politici e il pubblico in generale rispetto alla fragilità del sistema alimentare globale.

La gravità del tema è affrontato dall'edizione 2015 dell'Expo di Milano, il cui titolo *Feeding the Planet, Energy for Life*, è eloquentemente un invito per la politica, la scienza e le imprese, a trovare soluzioni rapide e sostenibili alla questione della sicurezza alimentare del pianeta.

Il tema di Expo 2025 riecheggia il titolo *How to feed the world in 2050*, un memorabile forum svoltosi nel 2009 presso la FAO, durante il quale centinaia di esperti di ogni parte del mondo si riunirono per discutere le soluzioni più adatte a garantire la sicurezza alimentare nel 2050. Per quella data i demografi ritengono che la popolazione mondiale possa raggiungere 9 miliardi di persone e che la domanda globale di alimenti e fibre possa crescere del 70% rispetto a quella attuale (Godfray et al., 2010). Altri elementi di preoccupazione rispetto alla sicurezza alimentare derivano da una competizione endogena al sistema agricolo (la competizione dei suoli agricoli tra prodotti alimentari e non alimentari, tra cui biocarburanti e bioplastiche) e da una esogena (la competizione per le risorse territoriali e idriche derivanti da altri settori produttivi e dall'espansione degli insediamenti urbani e infrastrutturali).

In più, di fronte a questo scenario, occorre assicurare l'integrità degli *habitat* naturali e seminaturali e, più in generale, della biodiversità, prerequisito dei servizi ecosistemici, sui quali si fonda il benessere delle comunità. *How Much Land Can Ten Billion People Spare for Nature?* si domandava in un celebre articolo Paul Waggoner (1997), in cui l'autore affrontava la gravità delle sfide poste dai trend demografici e dall'aumento della domanda globale di cibo e fibre e alla compatibilità tra le strategie per la sicurezza alimentare del pianeta e quelle della protezione della natura e della biodiversità rispetto all'uso del territorio.

In questo contesto è importante chiedersi quale ruolo rivesta l'agricoltura biologica e quale sarà il contributo alla conservazione dell'ambiente naturale e nella fornitura a breve e lungo periodo dei servizi ecosistemici.

È opinione diffusa che il biologico fornisca vantaggi ambientali *sensu lato* rispetto a quello convenzionale e che, viceversa, quest'ultimo dia maggiori livelli di produttività per unità di superficie e che pertanto è preferibile al biologico per la sicurezza alimentare del pianeta (si veda per esempio lo studio di Seufert *et al.*, 2012). Va segnalato altresì che questi studi tendono a non includere nelle loro valutazioni il declino nel tempo della produttività dei terreni agricoli gestiti con pratiche intensive. Ciò non accade invece nei suoli bio, dove – come si dirà nel paragrafo successivo – il principale obiettivo è proprio il mantenimento e miglioramento dei livelli di sostanza organica e, più in generale, della fertilità dei suoli.

Nei paragrafi che seguono cercheremo di affrontare questo interrogativo, anche ricorrendo ai risultati di indagini meta-analitiche svolte da diversi studiosi che si sono posti in precedenza lo stesso quesito.

L'agricoltura biologica

L'agricoltura biologica è un'agricoltura alternativa a quella 'convenzionale' per gli aspetti che riguardano sia la gestione dell'azienda agricola sia la produzione agricola. L'agricoltura biologica o «bio» — per usare l'epiteto con cui è nota in Italia — ha come obiettivo principale non il raggiungimento d'elevati livelli di produzione, ma il mantenimento e l'aumento dei livelli di sostanza organica nei suoli (da cui l'espressione *organic farming* usata in Inghilterra, dove il bio ha mosso i primi passi), riducendo o eliminando del tutto l'apporto di fertilizzanti di sintesi, d'erbicidi per distruggere le 'malerbe' e di fitofarmaci per combattere parassiti (insetti, acari ecc.) e patogeni (funghi, batteri, virus). Solo le misure manuali, meccaniche e termiche sono ammesse per il controllo delle infestanti. Le specie della fauna selvatica (insetti, acari, lumache ecc.) considerate parassite delle colture

possono essere controllate attraverso misure biotecnologiche e insetticidi naturali.

Il metodo di produzione biologico esplica pertanto una duplice funzione: rispondere alla domanda da parte dei consumatori di alimenti e fibre salubri e sicuri; dall'altro, fornire beni pubblici che contribuiscono alla tutela dell'ambiente, al benessere degli animali e allo sviluppo rurale.

In Europa la produzione biologica è disciplinata dal regolamento CE n. 834/2007 e dal successivo regolamento d'esecuzione CE n. 889/2008. Questi contengono una serie di disposizioni comuni riguardo ai metodi di produzione, all'etichettatura dei prodotti, al sistema dei controlli, ai provvedimenti finanziari di sostegno all'agricoltura biologica e integrata, alle misure adottate per la tutela dell'ambiente agricolo e per la biodiversità

(http://www.isprambiente.gov.it/files/biodiversita/focus_agricoltura_bio.pdf).

In particolare, il Regolamento n. 834/2007 CE prevede l'obbligatorietà d'uso del marchio biologico. Un codice numerico è associato al logo, indicante la nazione, il tipo di metodo di produzione, il codice dell'operatore e il codice dell'organismo di controllo (Figura 1).



FIGURA 1 - Il logo EU (più noto come Eurofoglio), reso obbligatorio per tutti i prodotti bio prodotti e confezionati all'interno dell'UE, secondo i Regolamenti del Consiglio

EC/834/2007 e EC/889/2008. L'Eurofoglia, il cui uso è disciplinato dal Regolamento CE 271/10, può essere usata su base volontaria nel caso di prodotti bio non confezionati o altri prodotti bio importati da Paesi terzi. Per i prodotti trasformati, almeno il 95% degli ingredienti deve essere biologico. Un codice numerico è associato al logo, indicante la nazione, il tipo di metodo di produzione, il codice dell'operatore e il codice dell'organismo di controllo

Il Regolamento di esecuzione (UE) n. 505 della Commissione del 14.6.2012 modifica e rettifica il Regolamento CE n. 889/2008 per quanto riguarda la produzione biologica, l'etichettatura e i controlli; in particolare detta alcune norme relativamente all'apicoltura e sulle deroghe per le pollastrelle e per la mangimistica. Viene istituito il SIB (Sistema Informativo Biologico) per la gestione informatizzata di tutto l'iter amministrativo che gli operatori sottoposti al regime di controllo devono rispettare.

I numeri del biologico

Nel 2013 la superficie destinata all'agricoltura biologica aveva già raggiunto nel mondo un'estensione superiore ai 37 milioni di ettari (dati FIBL-IFOAM), con una crescita maggiore del 3% rispetto all'anno precedente. Le aree con le maggiori superfici bio sono presenti in Oceania con circa 12 milioni di ettari (Mha), pari al 35% circa del totale e in Europa con circa 11 Mha, corrispondenti all'incirca al 30% dell'area totale, con incremento di 0,3 Mha rispetto all'anno precedente. Nella sola UE la superficie destinata al bio era, sempre nel 2013, pari a 10,2 Mha.

L'Italia, con 1,3 Mha dedicati all'agricoltura biologica (+12,8% nel 2013 rispetto al 2012) (Figura 2) e 46 mila produttori bio (ISPRA, 2014), assume una posizione di leader europeo del settore. L'Italia è infatti ai primi posti nella UE per la produzione agricola bio e si colloca al secondo posto (dopo la Spagna, 1,6 Mha) per l'estensione delle aree biologiche (SINAB, 2014), risultando anche tra i primi produttori al mondo di agrumi, olive, frutta (nel dettaglio, uva, ciliegie, pere, prugne, mele, melacotogne e albicocche), cereali e ortaggi. Inoltre il nostro Paese

si colloca ai vertici del mercato mondiale anche per la produzione di confetture e marmellate biologiche di elevata qualità. Il numero degli operatori certificati bio sono, nel 2013, 52.383 (5,3% in più rispetto al 2012) (ISPRA, 2014).

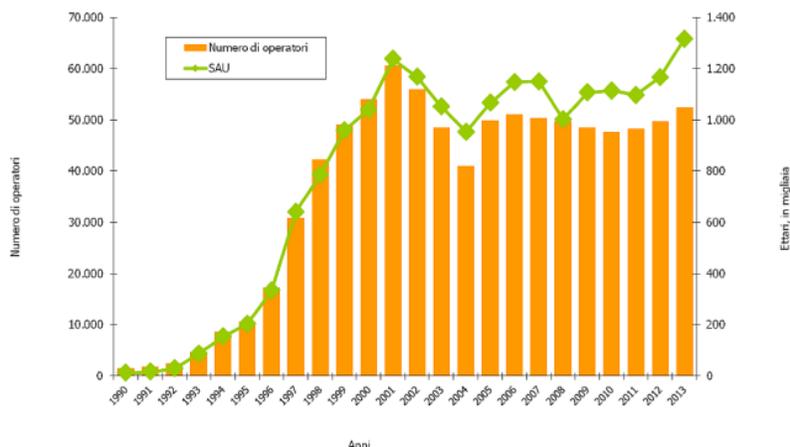


FIGURA 2 - Evoluzione della superficie coltivata a biologico (SAU) e del numero di operatori impiegati nel settore

Questa tendenza rispecchia la crescita della domanda di biologico. Secondo l'Istituto di Servizi per il Mercato Agricolo Alimentare (ISMEA, 2014), il 60% dei consumatori totali acquista bio. Nel 2014 si è registrato un netto incremento sia rispetto al 2012 (+5,8) sia rispetto al 2013 (+4,5%). Questi dati sono confermati da un'indagine curata da Nomisma e dall'Osservatorio del Salone Internazionale del Biologico e del Naturale (2014) secondo cui meno del 50% degli italiani dichiara di non aver mai acquistato prodotti bio nell'ultimo anno. Secondo un'indagine dell'ISMEA (ISMEA, 2014) e del Sistema d'Informazione Nazionale sull'Agricoltura Biologica (SINAB, 2014), il mercato italiano del biologico continua a crescere a ritmi elevati. Nei primi cinque mesi del 2014, nelle famiglie italiane i consumi di prodotti biologici confezionati nella grande distribuzione sono aumentati del 17% in valore rispetto ai primi cinque mesi del 2013, mentre la spesa agroalimentare complessiva ha subito una diminuzione (-1,4%).

Coldiretti ha stimato per il 2014 un fatturato di prodotti biologici di circa 3,5 miliardi di euro, pari a più del 2% delle vendite alimentari totali del Paese. Nel confronto con il 2013 i maggiori incrementi sono risultati per

pasta, riso e sostituti del pane (+73 %), zucchero, caffè e tè (+37,2 %), biscotti, dolci e snack (+15,1 %), seguiti da prodotti ortofrutticoli freschi e trasformati (+11 %) e lattiero caseari (+3,2 %), uova (+5,2 %) e bevande bio (+2,5 %). Questi dati concordano con quelli diffusi dall'Associazione Italiana per l'Agricoltura Biologica (AIAB) sulla costante crescita del bio a fronte di una diminuzione dei consumi alimentari convenzionali.

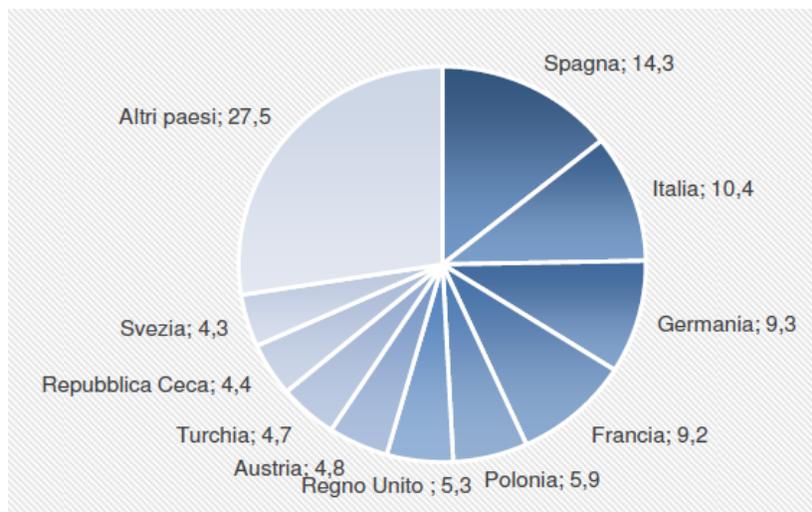


FIGURA 3 - Ripartizione percentuale della superfici coltivate a biologico in Europa (2013) - Fonte: FIBL-IFOAM

Biologico e nutrizione

È opinione diffusa che gli alimenti biologici siano qualitativamente migliori dal punto di vista nutrizionale rispetto a quelli derivanti da tecniche produttive tradizionali. A questa conclusione giunge anche un rapporto del Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria (CRA, 2012), che ha preso in esame la bibliografia scientifica pubblicata negli ultimi anni sul rapporto tra biologico e nutrizione. Ciò che è emerso è che la qualità degli alimenti non è solo legata alle pratiche agronomiche adottate, ma anche alle caratteristiche genetiche della coltura e a quelle del suolo e del clima.

Per quanto riguarda i cereali, le differenze di rilievo osservate tra biologico e convenzionale hanno riguardato le proteine totali, che sono

risultate maggiori nei prodotti tradizionali.

Nella frutta gli studi hanno mostrato, in alcuni casi, un maggiore contenuto di acido ascorbico a favore dei prodotti biologici. È interessante osservare che in un significativo numero di campioni studiati i singoli frutti hanno presentato un peso medio minore di quello evidenziato per le coltivazioni convenzionali; ciò concorderebbe con la tendenza osservata nel bio di una minore resa di prodotto. Per la frutta inoltre non è stato possibile riscontrare differenze tra le due modalità di coltivazione riguardo alla concentrazione di sali minerali e vitamine. In molti casi però i prodotti biologici hanno presentato delle concentrazioni di composti antiossidanti, quali ad esempio i fenoli (considerati benefici per la salute umana), maggiori rispetto a frutti provenienti da agricoltura convenzionale. Viceversa, in pomodori, patate e peperoni, che rappresentano anche gli ortaggi più studiati, non sono state invece evidenziate differenze importanti di composti antiossidanti, zuccheri e carotenoidi.

Per il latte e i suoi derivati, invece, gli studi disponibili (pur limitati in numero) non evidenziano differenze significative nel contenuto di vitamina A ed E; allo stesso modo mancano dati consistenti circa le differenze in contenuto totale di proteine, lattosio e grassi tra agricoltura bio e convenzionale. Un importante dato che emerge dalle ricerche svolte è che il latte biologico possiede un più elevato rapporto di acidi omega 3 rispetto agli omega 6. Questo rapporto rappresenta un parametro di rilievo nella valutazione nutrizionale nel latte, poiché gli studiosi ritengono che nella dieta dei paesi occidentali tale rapporto sia sbilanciato a favore degli ultimi. Tale squilibrio è ipotizzato essere alla base di importanti patologie cardiovascolari e alcuni tipi di neoplasie e malattie infiammatorie autoimmuni.

Il contenuto di acido linoleico (in breve CLA) è stato rinvenuto in concentrazioni superiori nel latte bio, a riprova che il tipo di alimentazione, in questo caso foraggera, rappresenta un fattore cruciale in grado di determinare le differenze a livello di composizione nutrizionale del latte e dei suoi derivati. Il contenuto di acidi grassi saturi e monoinsaturi è invece risultato simile in entrambe le tipologie di

prodotti esaminati. I principali risultati dello studio comparativo sono sintetizzati in Tabella 1.

	Cereali	Frutta	Ortaggi	Latte
Peso		-		
Sostanza secca			=	
Solidi solubili		= / -	+ / =	
Acidità titolabile		+ / =		
Zuccheri	+ / =		=	=
Proteine	-			=
Minerali		=	=	
Acido ascorbico		+	=	
Composti fenolici *		=	=	
Carotenoidi		=	+ / =	
Capacità antiossidante		+ / =	=	
Lipidi totali				=
Acidi grassi saturi				=
Acidi grassi monoinsaturi				=
Acido linoleico				=
Acido linolenico				+
CLA				+

TABELLA 1- Riepilogo dei risultati degli studi nutrizionali comparativi tra prodotti biologici e convenzionali, divisi per categorie alimentari - Fonte: CRA 2012

Dove:

+ indica una differenza a vantaggio del biologico

- indica una differenza a vantaggio del convenzionale

= indica che non vi sono differenze

* Nei piccoli frutti (lampone, fragola e mirtillo) i composti fenolici kampferolo e acido ellagico, sono risultati maggiormente presenti nei prodotti bio che in quelli provenienti da agricoltura convenzionale

Per altri alimenti, tra cui olio, carne e uova, non vi sono informazioni statisticamente adeguate per la ricerca, essendo gli studi comparativi disponibili scarsi e poco approfonditi.

Un articolo sul settimanale *Time* ha analizzato e discusso in modo approfondito *pro* e *contra* degli alimenti biologici, soprattutto in tema di valore nutrizionale (Kluger 2010). L'indagine avvalora l'idea di una

superiorità del biologico, specialmente per i prodotti di origine animale quali latte, carne e uova. Le condizioni di vita degli animali, liberi di pascolare e nutriti con foraggio e cereali, piuttosto che con mangimi di varia origine, migliorerebbe il valore nutrizionale degli alimenti, conferendo un maggiore apporto di nutrienti e minore contenuto di grassi ai prodotti, a vantaggio della salute dei consumatori. Frutta e verdura bio, invece, secondo lo stesso articolo, presentano caratteristiche nutrizionali molto simili a quelle dei prodotti convenzionali. A conferma di ciò, Hoefkens *et al.* (2010) ritengono che non vi siano differenze significative nella frutta e nella verdura bio e convenzionale per contenuto di vitamine e altri fattori nutritivi.

Alcuni caratteri delle aziende bio in Italia

Secondo stime condotte da AIAB, le aziende bio italiane sono in gran parte a conduzione e manodopera familiare (circa il 90%), dirette da persone giovani con un'età compresa tra i 20 e i 40 anni, spesso in possesso di un titolo di studio di buon livello, quale laurea o diploma di scuola media superiore. Inoltre un'azienda su sei è contraddistinta da un buon grado di sviluppo tecnologico e di informatizzazione e possiede un proprio sito web commerciale. Altro dato di rilievo è che le opportunità di impiego nel campo del bio sono maggiori (+14%) rispetto a quelle offerte dall'agricoltura convenzionale e che il reddito netto per unità lavorativa familiare è in media circa il 33% maggiore di quello delle aziende agricole non bio, anche grazie all'integrazione di attività non strettamente legate alla produzione agricola.

Agricoltura biologica e biodiversità

L'espandersi delle pratiche agricole di tipo intensivo finalizzate all'ottimizzazione della produttività per unità di superficie (che implicano cioè la trasformazione di uso del suolo e la frammentazione degli *habitat*, la meccanizzazione delle pratiche agricole, l'utilizzo di

fertilizzanti, pesticidi e regolatori di crescita) ha rappresentato uno dei principali fattori responsabili del declino della biodiversità e, specificatamente, dell'introduzione di specie esotiche nell'ambiente (Bengtsson *et al.* 2005; Hole *et al.* 2005). La biodiversità è il presupposto affinché processi ecologici di vitale importanza presenti negli ecosistemi agricoli (tra i quali l'impollinazione, la riduzione dell'erosione del suolo e il controllo naturale dei parassiti) funzionino correttamente. Gli *habitat* agricoli caratterizzati da una maggiore ricchezza di specie posseggono anche maggiore capacità di adattamento e resilienza agli stress ambientali, inclusi quelli legati ai cambiamenti climatici. La ricchezza genetica di specie e di *habitat* delle aree produttive agricole riveste invece un'importanza strategica per garantire nel lungo periodo adeguati livelli di produttiva, essendo di grande importanza anche nel contrastare gli impatti negativi dei cambiamenti globali, tra cui quelli climatici, in atto.

In queste particolari condizioni ambientali l'agricoltura biologica può contribuire non solo a garantire e mantenere la diversità genetica delle piante coltivate e degli animali allevati, ma a tutelare e aumentare la diversità genetica e di specie (sia vegetale sia animale).

Questo è un valore aggiunto di grande rilevanza che il bio possiede, in quanto è ormai consolidato, anche a livello scientifico, che i metodi di coltivazione impiegati, possono influire sulla biodiversità presente a tutti i livelli trofici dell'ecosistema (Hole *et al.*, 2005). L'impiego di soli concimi organici e di rimedi biologici in luogo di pesticidi e fertilizzanti sintetici, ha un forte impatto positivo sulla biodiversità esistente, ad esempio aumentando la concentrazione di microfauna, quali anellidi, coleotteri e aracnidi presenti nel terreno, preziosissimi per preservare lo stato funzionale e produttivo del suolo. La rotazione delle colture, contribuisce poi a favorire la biodiversità a livello genetico e di specie. Infine, scegliendo di coltivare varietà autoctone di piante e razze animali, si continua ad agire a tutela della biodiversità, proteggendo la specificità esistente nelle differenti aree geografiche. A tale riguardo, una ricerca condotta da Royal Society mostra come, rispetto ai terreni coltivati con metodi convenzionali, nei terreni biologici sia possibile

rilevare un numero doppio di specie vegetali, fino al 50% in più di aracnidi, il 60% in più di avifauna e il 75% in più di chiroteri.

La maggior parte degli studi confermano quindi senza incertezze come l'agricoltura biologica favorisca e supporti elevati livelli di biodiversità (Rahmann, 2011; Pfiffner e Balmer, 2011) (Figura 4)

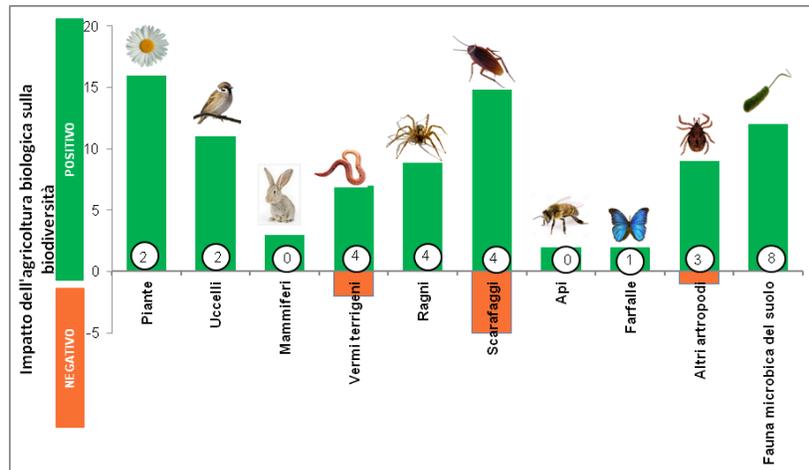


FIGURA 4 - Numero di studi che evidenziano l'effetto positivo (barra verde) o negativo (barra arancione) dell'agricoltura biologica sulla biodiversità. I numeri nei cerchi bianchi indicano il numero di studi nei quali non sono stati osservati effetti - Fonte: elaborazione ISPRA da Pfiffner e Balmer, 2011

Agricoltura biologica e servizi ecosistemici

La biodiversità, oltre al suo valore intrinseco, è importante anche poiché fonte di beni, risorse e servizi per l'uomo, indispensabili per la sua sopravvivenza. Oltre a rappresentare il prerequisito della fornitura di cibo, legname e fibre, la ricchezza genetica, di specie e di ecosistemi assicura una serie di servizi "senza prezzo", quali la regolazione delle risorse idriche, il funzionamento dei cicli biogeochimici, la regolazione del clima locale, la mitigazione dei cambiamenti climatici, la fornitura di valori spirituali, storici, ricreativi e turistici (Maes *et al.*, 2012). La totalità di questi beni servizi sono stati raggruppati e descritti dal *Millenium Ecosystem Assessment* nell'espressione *ecosystem services* (MEA, 2010). Di questi servizi (che gli specialisti classificano in *provisioning, regulating, cultural e supporting*), beneficiano

direttamente o indirettamente tutte le comunità umane, animali e vegetali del Pianeta (Tabella 2). Le pratiche produttive biologiche, essendo a basso impatto ambientale, favoriscono l'incremento degli *habitat* disponibili per flora e fauna a tutela a supporto della biodiversità e garantiscono la fruizione di questi importanti servizi nel pieno rispetto dell'ambiente e della salute umana.

Servizi Ecosistemici (Tipologia di Servizi)	Agricoltura Biologica	Agricoltura convenzionale
<p><i>Fornitura di beni e servizi a diretto beneficio delle persone e di evidente valore economico (cibo, fibre tessili, biomasse provenienti da foreste, pesci, piante medicinali e tutti quei prodotti che derivano dagli ecosistemi).</i></p>	<p>-</p> <p>Minore resa di prodotto per unità di superficie (-20% come media nelle varie colture rispetto al convenzionale), nel breve periodo.</p> <p>Maggiore capacità produttive, nel medio-lungo periodo, a causa del mantenimento della fertilità del suolo</p>	<p>+</p> <p>Più elevata resa di prodotto per unità di superficie coltivata (uso massivo di fertilizzanti azotati di sintesi) ma anche minore sostenibilità ambientale nel medio e lungo periodo, con probabile calo di produttività e profitto nel tempo.</p>
<p><i>Servizi di regolazione spesso di elevato valore ambientale ma difficili da quantificare dal punto di vista monetario (regolazione del clima anche attraverso il sequestro del carbonio ed il controllo delle precipitazioni locali, rimozione degli inquinanti in atmosfera e suolo e la protezione del territorio da eventi estremi quali frane o tempeste nelle aree costiere)</i></p>	<p>++</p> <p>Maggiore capacità di fissazione del carbonio. Riduzione delle emissioni di gas-serra connessa al non uso di fertilizzanti di sintesi (soprattutto composti dell'azoto) e ad una ridotta richiesta di energia.</p> <p>Miglior controllo dell'erosione del suolo, del runoff delle acque superficiali, abbattimento delle emissioni di inquinanti presenti in aria, acqua e suolo.</p>	<p>-</p> <p>Maggiori emissioni di gas serra e minore capacità di sequestro della CO₂ presente in atmosfera. Forte impatto negativo sui cambiamenti climatici in atto anche attraverso elevate emissioni di inquinanti e CO₂ legate alla più alta richiesta di energia e conseguente consumo di combustibili fossili per le attività produttive.</p>
<p><i>Servizi culturali e sociali, difficilmente percepibili come benefici diretti, ma che contribuiscono in modo determinate a soddisfare i bisogni della società umana (valore storico ed estetico del paesaggio, ma anche l'importante funzione sociale delle aree verdi e la loro fruizione turistica e ricreativa, bio-farms, agriturismo, ecc).</i></p>	<p>++</p> <p>Valorizzazione del paesaggio attraverso alternanza di forme e colori e il mantenimento dell'integrità degli ecosistemi e della biodiversità.</p> <p>Miglioramento della fruizione ambientale e del rapporto uomo-natura, anche attraverso la creazione di strutture produttive integrate ed attrezzate per il turismo.</p>	<p>-</p> <p>Banalizzazione e perdita di valore del paesaggio e del suolo a causa dello sfruttamento monocolturale del suolo e la riduzione di alberi ed arbusti. Perdita di valore socio-economico del suolo e della attrattiva turistica.</p>
<p><i>Servizi di supporto, che non producono benefici diretti, ma che sono essenziali per il corretto funzionamento degli ecosistemi e per la fruizione di altri importanti servizi ambientali. (supporto alla biodiversità di flora e fauna..)</i></p>	<p>+++</p> <p>Supporto e accrescimento della biodiversità di flora e fauna presente. Salvaguardia di aree naturali ad alto valore ambientale. Sostegno ai più importanti servizi e benefici forniti dagli ecosistemi alla società umana.</p>	<p>-</p> <p>Effetti negativi e mancato supporto ad importanti benefici e servizi essenziali di base per la società umana, forniti dagli ecosistemi; in particolare a salvaguardia della biodiversità e della qualità/naturalità ambientale.</p>

TABELLA 2 - Servizi Ecosistemici e contributo dell'agricoltura biologica e convenzionale agli stessi servizi ecosistemici, suddivisi per categorie principali (fornitura di beni e servizi, servizi specifici di regolazione, servizi culturali e sociali e servizi di supporto)

Tali servizi hanno un ruolo chiave nell'economia e nello sviluppo dei paesi di tutto il mondo. La biodiversità vegetale in particolare, sia nelle piante coltivate sia in quelle selvatiche, costituisce la base dell'agricoltura, consentendo la produzione di cibo e contribuendo alla salute e alla nutrizione della popolazione del pianeta. Le risorse genetiche e la loro variabilità hanno consentito in passato il miglioramento e la selezione delle specie vegetali coltivate e animali allevate e continueranno a svolgere questa importante funzione in futuro. È proprio questa variabilità che consentirà di rispondere all'evoluzione del mercato dei prodotti agricoli e di adattarsi alle mutevoli condizioni climatiche e ambientali che ci troviamo già ora a fronteggiare.

Biologico ed uso delle risorse

Gli studi indicano come l'agricoltura biologica sia caratterizzata da un impatto ambientale ridotto sulle componenti abiotiche (come aria, suolo e acqua) e biotiche (flora e fauna) rispetto a quella convenzionale. I più importanti benefici derivanti dall'utilizzo di metodologie sostenibili e biocompatibili sono:

- **minore richiesta di energia fossile;** l'agricoltura biologica consuma in media il 30% in meno di energia per unità di prodotto, grazie all'utilizzo di mezzi e tecniche a basso impatto e a filiere di vendita brevi a livello preferenzialmente locale (prodotti a km zero)
- **minore consumo di acqua;** la realizzazione di produzioni non intensive, unite all'uso della sola fertilizzazione organica e le pratiche colturali come i sovesci, favoriscono l'accumulo della sostanza organica nel suolo, fondamentale per migliorare l'efficienza di crescita delle piante e trattenere efficacemente l'acqua del suolo
- **assenza di trattamenti con pesticidi e anticrittogamici di sintesi;** le pratiche gestionali biologiche favoriscono le autodifese naturali della pianta. Per questo un terreno sano e non contaminato

rappresenta una condizione indispensabile. Vengono perciò effettuati una serie di interventi finalizzati ad migliorare la fertilità del suolo e la resistenza delle piante a patogeni e stress ambientali; tutto ciò nel pieno rispetto degli ecosistemi presenti e limitando i residui di pesticidi ed anticrittogamici nei prodotti.

Alcuni studi evidenziano però come i suoli bio producano sovente una resa media di circa il 20-25% più bassa di quella che si avrebbe attraverso la produzione convenzionale intensiva (Mondelaers *et al.*, 2009; Tuomisto *et al.*, 2012). Ciò implica che per avere la stessa produzione occorre coltivare, nel caso del biologico, mediamente il 20% in più di suolo.

In particolare, le rese medie per la frutta bio risultano più basse del 3% di quella convenzionale, mentre si osserva un 10% medio di calo della resa per i semi oleosi; i cereali e gli ortaggi hanno un calo di resa medio di circa il 25% e 35% rispettivamente. Questo sarebbe imputato ad una minore disponibilità di azoto e di fosforo, specialmente in alcuni tipi di suoli dove non sono apportate le massicce quantità di fertilizzanti ad alto contenuto di azoto e fosforo, come avviene nel caso dell'agricoltura convenzionale.

La minore richiesta di input energetici, di acqua e di sostanze chimiche, insieme ad una maggiore garanzia di produttività a lungo termine dei suoli coltivati a bio, compenserebbe però almeno in parte la minore resa di questa tipologia di coltivazioni. Pertanto, la minore resa per unità di superficie dell'agricoltura biologica rispetto a quella convenzionale rappresenta un elemento di debolezza della prima rispetto alla sicurezza alimentare nel breve periodo; d'altra parte, per la sua capacità di assicurare la fertilità dei suoli nel tempo, l'agricoltura bio mantiene un vantaggio rispetto all'agricoltura convenzionale per la sicurezza alimentare nel medio-lungo periodo.

Agricoltura bio e cambiamenti climatici

Le relazioni tra agricoltura e cambiamenti climatici sono estremamente complesse.

1. Da una parte l'agricoltura è una delle principali fonti di emissioni di gas-serra, tra cui anidride carbonica (CO₂), metano (CH₄) e protossido di azoto (N₂O), alla radice dei cambiamenti climatici in atto. Secondo la FAO, le emissioni agricole di produzione vegetale e animale ammontano a 5,3 miliardi di tonnellate, pari all'11,5% del totale delle emissioni di tutti i settori (<http://www.fao.org/news/story/en/item/216137/icode/>). La fonte principale di emissioni di gas-serra è la fermentazione enterica, per via del metano che si forma nella fase di digestione degli alimenti, che da sola totalizza il 39 per cento dell'intero settore agricolo. A questa fonte segue quella della distribuzione di fertilizzanti sintetici: 13 per cento delle emissioni agricole (725 Mt CO₂). Anche in Italia, il comparto agricolo è un emettitore netto di gas-serra e contribuisce per circa il 7% alle emissioni totali nazionali.
2. D'altra parte, l'agricoltura, grazie all'attività fotosintetica delle colture, può avere un ruolo significativo nelle strategie di mitigazione dei cambiamenti climatici ^[1] se fossero implementate quelle pratiche agricole (tra cui una migliore gestione dei suoli agricoli e dei pascoli, delle risaie, degli animali e delle loro deiezioni, dell'irrigazione, il recupero dei suoli organici) che portano a una riduzione delle emissioni di gas-serra, alla produzione di bio-energia in sostituzione delle fonti fossili e di sequestro di carbonio nel suolo e nella biomassa.
3. Infine va ricordato che l'agricoltura è uno dei settori produttivi più colpiti dagli effetti negativi delle alterazioni climatiche, soprattutto attraverso l'innalzamento delle temperature medie e l'intensificarsi dei fenomeni estremi (quali siccità e inondazioni). L'IPCC (2014) stima che le anomalie climatiche potranno provocare una riduzione della produttività agricola, da qui al 2050, compresa tra il 9 e il 21%.

Secondo il Rodale Institute (<http://rodaleinstitute.org/fst>), l'agricoltura bio usa il 45% in meno di energia rispetto a quella convenzionale e fa un uso più efficiente dell'energia; i sistemi agricoli convenzionali producono il 40% in più di gas-serra; i suoli bio hanno una funzione di carbon sink, che è mediamente quantificabile in 0,5 tonnellate per ettaro l'anno. In questo senso l'agricoltura biologica offre agli agricoltori

opzioni significative sia nelle politiche di mitigazione sia di adattamenti ai cambiamenti climatici.

La zootecnia bio

Anche gli allevamenti biologici, come la produzione agricola, seguono criteri normativi definiti dall'UE, attraverso il Regolamento CE 1804/99 e a livello nazionale con il DM n. 91436 del 4 agosto 2000. Secondo tali normative gli animali dovrebbero essere nutriti seguendo i loro fabbisogni alimentari con prodotti vegetali ottenuti attraverso produzione biologica, coltivati di preferenza all'interno della medesima azienda o in aree limitrofe. L'allevamento degli animali con metodo biologico è rigorosamente legato alle caratteristiche del territorio dove essi vivono, come il numero massimo di capi possibile, in stretta relazione con la superficie disponibile loro dedicata.

È raccomandato l'allevamento di razze autoctone, resistenti alle malattie e adattate alla stabulazione all'aperto. Gli ambienti produttivi devono essere puliti e salubri, correttamente dimensionati al numero di animali presenti e devono consentire il pronto isolamento per gli individui che necessitano di cure mediche. Ad ogni animale deve avere quindi assicurato il proprio spazio vitale che gli garantisca delle condizioni di vita dignitose e appropriate. Per ogni specie e categoria di animale il Regolamento CE 1804/99 definisce degli spazi minimi che devono essere garantiti per sia al coperto che all'aperto. La dieta deve essere stabilita in accordo con i fabbisogni nutrizionali degli animali e deve contenere esclusivamente alimenti di origine biologica controllata. È escluso l'utilizzo e la somministrazione agli animali di mangimi contenenti residui di macello o farine di pesce come pure additivi artificiali atti a stimolarne la crescita.

Non è consentito l'uso di tecniche di manipolazione genetica e finalizzate alla riproduzione e selezione delle razze. Il trasporto degli animali deve essere eseguito secondo modalità operative precise e solo per brevi spostamenti, senza sofferenza e in modo da stressare il meno possibile gli animali. Anche l'abbattimento e la macellazione dei capi

devono limitare il più possibile la tensione e la sofferenza degli animali e, al contempo, offrire elevate garanzie rispetto all'identificazione tra animali provenienti dai processi produttivi biologici e convenzionali.

Conclusioni

La letteratura scientifica, come dimostrato nei paragrafi precedenti, testimonia in maniera evidente come, rispetto all'agricoltura convenzionale, quella biologica produca effetti positivi sulla salute umana, sul benessere degli animali allevati e sull'ambiente *sensu lato*. Viceversa, l'agricoltura biologica, che non ha come obiettivo principale il raggiungimento d'elevati livelli di produzione, ha dei livelli più bassi di produzione per unità di superficie rispetto a quelle convenzionali. Da qui deriva una questione fondamentale nel dibattito sul contributo dell'agricoltura biologica per il futuro dell'agricoltura mondiale: l'agricoltura biologica potrà essere in grado di produrre cibo a sufficienza per sfamare il mondo e garantire la sicurezza alimentare?

Il confronto tra la produttività dell'agricoltura biologica e di quella convenzionale ha un ruolo centrale in questo dibattito. Va segnalato tuttavia che la sicurezza alimentare, secondo la definizione ufficiale del World Health Organisation (1996) è raggiunta quando la popolazione ha accesso a cibo non solo sufficiente, ma anche sano e nutriente (“... all people, at all times, have physical and economic access to sufficient, safe and nutritious food to meet their dietary needs and food preferences for an active and healthy life”).

Numerosi studi, tra cui quello di Seufert *et al.*, (2012), dimostrano che la produzione delle colture bio è, mediamente, 20% in meno della produzione delle colture convenzionali, passando da uno scarto tra il raccolto di frutta bio e convenzionale del 3% per la frutta e del 34% per la verdura.

D'altra parte va registrato che i terreni sottoposti a forme intensive di agricoltura sono soggetti ad un calo della fertilità e della capacità produttiva. Alcuni studi stimano che quasi il 40% dei terreni coltivati intensivamente andrà perso entro il 2050. Al contrario, i suoli bio

tendono a mantenere le proprietà biologiche, fisiche e chimiche nel corso del tempo, mantenendo la produttività e garantendo di conseguenza la sicurezza alimentare a lungo termine.

Nel prossimo decennio le future sfide che l'agricoltura convenzionale si troverà ad affrontare saranno quelle di migliorare la qualità e la potenzialità dei suoli senza l'uso massivo di fertilizzanti di sintesi, pesticidi ed anticrittogamici. In questo senso sarà utile riprendere la rotazione colturale e l'apporto di sostanza organica, aumentare l'efficienza della fertilizzazione e della lotta a parassiti e patogeni (*precision farming*), salvaguardare la biodiversità presente nell'ecosistema e recuperare specie e genotipi più adatte alle mutate condizioni ambientali e in grado di mantenere elevati livelli di produttività in condizioni di limitate disponibilità di risorse. Viceversa, per l'agricoltura biologica l'impegno più importante sarà quello di migliorare la produttività per unità di superficie coltivata, mantenendo un elevato *standard* qualitativo ed un basso impatto sull'ambiente. Si evince quindi l'esigenza fondamentale di condurre altri studi mirati ad approfondire le potenzialità dell'agricoltura biologica per la produzione di alimenti ad elevato standard qualitativo e nutrizionale, puntando a migliorare l'efficienza produttiva anche nel caso di superfici coltivate ridotte.

Sino ad ora le istituzioni hanno supportato l'agricoltura biologica di per sé, rinunciando così alla possibilità di individuare le aree più appropriate nelle quali ottenere i risultati migliori in termini di ridotto impatto, salvaguardia della biodiversità locale e qualità e resa dei prodotti, sulla base dei costi e dei potenziali benefici.

La direzione percorribile e strategica potrebbe essere l'integrazione tra l'agricoltura convenzionale e biologica, finalizzata a una sintesi sinergica che combini i migliori aspetti positivi di entrambe le pratiche, raggiungendo così buone rese di prodotto di elevata qualità con elevate garanzie per l'ambiente e gli ecosistemi presenti. Anche sviluppare sistemi agricoli che tengano in considerazione usi alternativi del territorio, preservando porzioni di suolo aziendale per la flora e la fauna

selvatica e la selvicoltura sostenibile, potrebbe garantire una superiore eco-sostenibilità delle imprese agricole.

Bibliografia

Bengtsson J., Ahnstrom J., Weibull A.C. (2005). The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* 42: 261-269

CRA (2012). La qualità nutrizionale dei prodotti dell'agricoltura biologica. Risultati di un'indagine bibliografica (2005-2011), Roma CRA-Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura ex Istituto Nazionale di Ricerca per gli Alimenti e la Nutrizione (INRAN)

De Groot R.S., Alkemade R., Braat L., Hein I., Willemsen L. (2010). "Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making". *Ecological Complexity*, 7: 260-272

Godfray H.C.J., Beddington J.R., Crute I.R., Haddad L., Lawrence D., Muir J.F., Pretty J., Robinson S., Thomas S.M., Toulmin C. (2010). Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science* 327: 812-818. DOI: 10.1126/science.1185383

Hoefkens C., Sioen I., Baert K., De Meulenaer B., De Henauw S., Vandekinderen I., Devlieghere F., Opsomer A., Verbeke W., Van Camp J. (2010). Consuming organic versus conventional vegetables: The effect on nutrient and contaminant intakes. *Food and Chemical Toxicology* 48: 3058–3066

Hole D.G., Perkins A.J., Wilson J.D., Alexander I.H., Grice P.V. e, A.D. Evans (2005). Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation* 122: 113–130

ISMEA (2014) Report Prodotti biologici. Osservatorio sul mercato dei prodotti biologici n. 2/14 – 5 Maggio 2014

<http://www.ismea.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/8907>
(visitato il 20-04-2015)

ISPRA 2014. Annuario dei dati ambientali 2014. Focus “ L’agricoltura bio. Un caso di successo italiano a tutela della biodiversità”. Annuario dei Dati Ambientali 2013, 37-52. ISPRA, ISBN 978-88-448-0662-0
<http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/stato-dellambiente/annuario-dei-dati-ambientali-edizione-2013>

Kluger J. (2010). What’s So Great About Organic Food? TIME, September, 6 2010.

Maes J., Paracchin M.L., Zulian G., Dunbar M.B., Alkemade R. 2012. Synergies and trade-offs between ecosystem service supply, biodiversity, and *habitat* conservation status in Europe. Biological Conservation 155: 1–12

MEA - Millennium Ecosystem Assessment (MA) (2005), Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC

Mondelaers, K., Aertsens, J., Van Huylenbroeck, G. (2009). A meta-analysis of the differences in environmental impacts between organic and conventional farming. Br. Food J. 111: 1098–1119.

Pfiffner L, Balmer O. (2011). Organic agriculture and biodiversity. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL). Ed. Gilles Weidmann. FiBL Order 1548. ISBN 978-3-03736-195-5

Rahmann G. 2011. Biodiversity and Organic Farming: What do we know? Agriculture and Forestry Research 61: 189-208

SINAB (2014). Bio in cifre 2014. Disponibile al sito

http://www.sinab.it/sites/default/files/share/bioincifre2014_anticipazioni.pdf (visitato il 20-04-2015)

Tuomisto H.L., Hodge I.D., Riordan P., Macdonald D.W. (2012). Does organic farming reduce environmental impacts? – A meta-analysis of

European research. Journal of Environmental Management 112: 309–320

UNEP (2010). Annual Report 2009. Seizing the green opportunity. Published: February 2010 United Nations Environment Programme ISBN: 978-92-3071-5

Seufert V., Ramankutty N. & Foley J.A. (2012). Comparing the yields of organic and conventional agriculture, 2012. Nature 485, 229–232 doi:10.1038/nature11069

Waggoner P. 1997. How Much Land Can Ten Billion People Spare for Nature. Technological Trajectories and the Human Environment. National Academy Press 56-73 Washington DC.

Sitografia

http://content.time.com/time/specials/packages/article/0,28804,2011756_2011730_2011720,00.html

http://ec.europa.eu/agriculture/organic/index_it.htm

<http://www.aiab.it/>

<http://www.coldiretti.it/Pagine/default.aspx>

<http://www.epa.gov/>

<http://www.fao.org/home/en/>

<http://www.fao.org/organicag/oa-home/en/>

<http://www.federbio.it/>

<http://www.fibl.org/it.html>

<http://www.ismea.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/1>

http://www.nature.com/nature/journal/v485/n7397/full/nature11069.html%3FWT.ec_id=NATURE-20120510

<http://www.sinab.it/>

<https://www.biofach.de/>

<https://www.politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/113>

[1] Le piante fissano la CO₂ e la stivano, per periodi più o meno lunghi, nei suoli agricoli e nella biomassa viva e morta cresciuta su di essi, prima di essere restituita all'atmosfera con la respirazione delle piante, con i raccolti e i prelievi legnosi, con gli incendi, la mortalità naturale, eccetera. Quando gli assorbimenti di CO₂ eccedono le emissioni di CO₂ e di altri gas serra non-CO₂ (metano, ossido di carbonio, ossidi di azoto) si verifica quello che in gergo è definito *carbon sink*, mentre il caso contrario è definito *carbon source*.

Curiosità scientifiche

Spazio aperto - Curiosità scientifiche

Il sipario della realtà. La segreta bellezza di un inganno

La ricerca in fisica è un percorso su una “strada che porta alla realtà”, parafrasando il titolo di un noto saggio di R. Penrose . Una corrente di pensiero interpreta la matematica non solo come strumento descrittivo della realtà ma come struttura ultima della realtà. In questa breve nota, l’autore avvalora tale ipotesi speculativa mostrando il risultato cui è pervenuto partendo da un’indagine per “stanare” matematica e bellezza all’interno di una costante simbolica della fisica che da sola potrebbe spiegare e giustificare l’esistenza dell’universo

DOI: 10.12910/EAI2015-061

E. Santoro

Emilio Santoro
ENEA, Dipartimento Fusione e tecnologie per la Sicurezza Nucleare, Laboratorio Reattori Nucleari di Ricerca

Contact person: Emilio Santoro
emilio.santoro@enea.it

Incatenati. A fissare per sempre la parete di una caverna sulla quale viene proiettata, tramite un gioco di ombre, ciò che accade alle loro spalle, la realtà vera. Ma le ombre non sono anche “realtà vera” per quei

poveri prigionieri che non hanno altro modo di percepire la verità? Così se la immaginava Platone (Figura 1).



FIGURA 1 - Il mito della caverna di Platone: i prigionieri incatenati vedono le ombre proiettate sulla parete della caverna. Le ombre sono l'unica realtà che percepiscono

Arriviamo ai giorni nostri. Uno degli aspetti più intriganti della meccanica quantistica è certamente offerto da quel fenomeno che va sotto il nome di *entanglement*: se due particelle interagiscono per un istante nel corso della loro storia, quando queste dovessero poi trovarsi ai confini opposti dell'universo e a distanze incolmabili, ciò che accadrà all'una si ripercuoterà *istantaneamente* anche sull'altra, in barba al rapporto di causalità, almeno in apparenza (come se l'informazione viaggiasse a velocità infinita). Un po' quello che certa letteratura riporta in alcuni casi di rapporti di stretto legame psicologico tra gemelli omozigoti. Non stiamo parlando di fantascienza. Il fenomeno è stato verificato per via sperimentale già negli anni ottanta e continua a essere esplorato in modo continuo e sempre più sofisticato.

David Bohm propose un modello di interpretazione della realtà che prendeva spunto da quello platonico. Immaginatoci seduti sulle poltrone di un teatro con un palcoscenico chiuso da un sipario. Dietro quest'ultimo, qualcuno ha inserito un acquario nel quale nuota un unico pesce e due telecamere che lo riprendono da due angolazioni a novanta

gradi l'una rispetto all'altra e che rimandano le immagini su due monitor diversi, posti però al di qua del sipario, in platea. Per noi spettatori che non sappiamo nulla di ciò che è posto al di là del palcoscenico, i pesci sarebbero dunque due, anche se non possiamo notare che il moto dell'uno si rifletta *istantaneamente* anche sull'altro, come se i due pesci fossero *entangled* (Figura 2).

Morale della favola: riusciremo mai a voltarci alle nostre spalle, pur se incatenati nella caverna di Platone, o la nostra realtà sarà sempre e soltanto un gioco di ombre? Riusciremo mai a guardare la "realtà vera" dietro il sipario chiuso di un palcoscenico o per noi i pesci saranno sempre e soltanto due, pure se *correlati*?

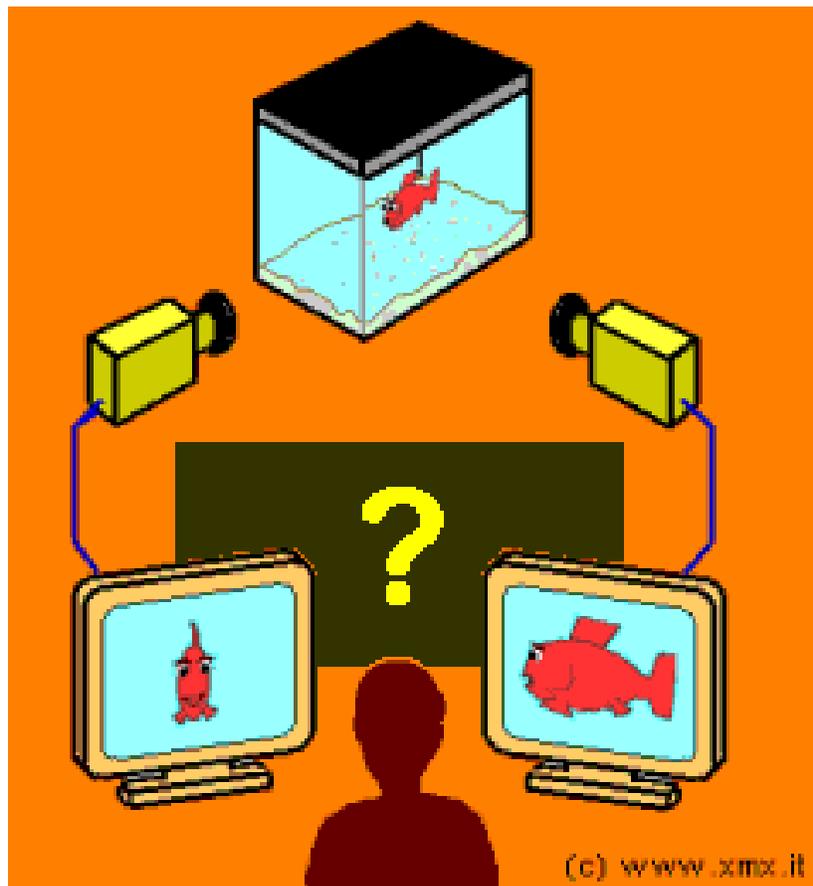


FIGURA 2 - L'acquario di Bohm: due telecamere da posizioni differenti inquadrano un acquario in cui nuota un unico pesce. Lo spettatore non vede direttamente l'acquario ma solo i monitor collegati alle telecamere, da cui vede due pesci che si muovono sincronizzati

Il mito di Platone e il *paradigma bohmiiano* sono modi di suggerire i limiti della nostra possibilità di conoscenza di una realtà oggettiva *al di fuori* dei nostri modelli interpretativi.

Convinto da tempo – come qualcuno suggerisce a voce sempre più alta – che dietro la trama ultima e più sottile della realtà ci sia soltanto “numero”, mi sono dedicato da molti anni alla ricerca della “pistola fumante”. Ciò che ho scoperto, lungi dall’essere una prova definitiva, è quantomeno suggestivo. Non esporrò l’intero processo di quello che ho chiamato, forse anche in modo un po’ pomposo “*modello di universo α -conforme*”, non è certo questa la sede, ma ne darò soltanto il risultato finale, la sua equazione conclusiva che ha lasciato qualcuno decisamente sorpreso: esprimere il valore di una costante ben conosciuta in fisica, come la costante di struttura fine α , in termini di un numero molto noto in matematica e in geometria, un numero che peraltro solletica anche la nostra percezione di bellezza, di armonia: la sezione aurea.

Fisica in quattro domande

Se si volesse spiegare a grandi linee tutta la fisica basterebbe rispondere soltanto a quattro domande:

1. Perché una palla lanciata in aria ricade sulla terra?
2. Perché una lampadina illumina una stanza?
3. Perché esiste la radioattività?
4. Perché esiste la materia?

Ognuna di queste domande descrive una “forza” fondamentale della natura. La risposta alla prima domanda si chiama “forza di gravità”, Alla seconda si risponde con “forza elettromagnetica”. Alla terza con “forza nucleare debole”. Alla quarta con “forza nucleare forte”. E dato che si tratta di forze, è possibile attribuire ad esse una grandezza per misurarne l’intensità, una grandezza relativa arbitraria che possa in qualche modo permetterci di confrontarle in rapporto reciproco. Bene, se a quella forte, quella che tiene unita la materia e che la fa esistere perché la racchiude quasi del tutto all’interno del nucleo dell’atomo diamo per convenzione un valore 1 di riferimento, la forza nucleare debole, che spiega sia in quale modo alcuni elementi si liberano di energia in eccesso “deca-

dendo” in altri elementi verso la stabilità tramite la radioattività, sia il meccanismo di funzionamento del nostro sole, risulta tra le centomila e le diecimila e volte più piccola ($10^{-5} \div 10^{-4}$) rispetto a quella. La forza gravitazionale è addirittura insignificante: ben 10^{39} volte più piccola (10^{-39}). Quella elettromagnetica è circa cento volte più piccola. Per l'esattezza, 137.035999... E quest'ultimo numero particolare è il prodotto di una combinazione di altre costanti fondamentali della natura.

A tale rapporto:

$$\alpha = e^2 / (4\pi\epsilon_0\hbar c) = 1 / 137.035999139(31) = 7.2973525664(17) \cdot 10^{-3}$$

viene dato il nome di “costante di struttura fine”, una grandezza che da sola potrebbe giustificare l'esistenza di tutto l'universo e anche la nostra presenza in esso. La ricetta è facile: e rappresenta la carica elettrica elementare, ϵ_0 la costante dielettrica del vuoto, \hbar la costante di Planck razionalizzata, cioè divisa per la quantità 2π , che sovrintende ai fenomeni dell'infinitamente piccolo e c la velocità della luce nel vuoto. L'insieme di queste costanti “cucinate” nell'equazione riportata più sopra, dà origine a quel numero puro, un numero privo di dimensioni fisiche. Se fosse di pochissimo diverso da quello che è, l'universo stesso avrebbe caratteristiche molto differenti e forse nemmeno potrebbe ospitarci. O, al contrario, ospitare una natura forse caotica, imprevedibile, senza leggi.

In molti hanno cercato di indagare il significato più profondo celato dietro questa costante, senza però riuscirci con criteri di deduzione logica. Molti hanno anche provato a esprimerla in funzione di altri parametri ma sempre tramite coincidenze numeriche “pure” e senza la precisione assoluta raggiunta invece dalla presente elaborazione originale, bensì solo come sterile esercizio di calcolo.

Il valore riportato per la costante α è il riferimento standard utilizzato dalla comunità scientifica ^[1], di recentissima pubblicazione. I numeri tra parentesi rappresentano l'errore sulle due ultime cifre.

In questa nota viene analizzato un procedimento originale che mette in relazione la costante di struttura fine α alla *sezione aurea* f , che rappresenta il modo in cui può essere diviso un segmento in due parti affinché quella maggiore sia medio proporzionale tra quella minore e la somma delle due parti, ovvero l'intero segmento. Il rapporto tra queste due parti sarà pertanto:

$$\varphi = (1 + \sqrt{5})/2 = 1.618033989\dots$$

L'evidenza della sezione aurea

Lo sviluppo della presente idea si basa su alcune considerazioni legate al rapporto tra l'età dell'universo, t_0 , così come quest'ultima è stata misurata ormai con grande accuratezza dai dati relativi allo studio del fondo cosmico di radiazione (CMB) delle missioni spaziali, un tempo forniti dalla sonda WMAP e adesso da quella Planck (e che corrisponde a poco meno di quattordici miliardi di anni), e l'intervallo di tempo più piccolo che abbia senso fisico, il cosiddetto *tempo di Planck*, t_p , derivato da un particolare modo di mettere insieme tre costanti fisiche fondamentali, la costante di gravitazione, G , la costante di Planck, \hbar , e quella della luce, c , che fornisce:

$$t_p = \sqrt{\frac{G \cdot \hbar}{c^5}} = 5.44 \cdot 10^{-44} \text{ s}$$

pari circa a un miliardesimo di miliardesimo di miliardesimo di miliardesimo di miliardesimo di secondo.

Il logaritmo naturale (\ln) del rapporto fra il tempo più lungo, cioè l'età dell'universo, e quello più breve, il tempo di Planck, dà:

$$\ln(t_0/t_p) \approx 140$$

Molto vicino all'inverso della costante di struttura fine ($\alpha^{-1} \approx 137$) .

Dato il carattere divulgativo del presente lavoro, darò solo il risultato finale, con il quale chiunque, armato di pazienza (e magari anche di computer), potrà confrontarsi. Il processo analitico attraverso cui si giunge all'espressione conclusiva è oggetto di un mio articolo più tecnico in via di completamento (“*Una relazione diretta fra la costante di struttura fine e la sezione aurea*”) e di prossima pubblicazione.

In questa sede descriverò a grandi linee l'idea di fondo, che si basa sull'introduzione di un opportuno parametro adimensionale dipendente dal tempo che tenga conto in modo esplicito della relazione evidenziata più sopra.

Il passaggio successivo consiste nell'inserire tale parametro nella legge che stabilisce la proporzionalità diretta fra la distanza delle galassie e la velocità con cui esse si allontanano reciprocamente (legge di Hubble), evidenza dell'espansione cosmica legata alla teoria del *big bang*. La proporzionalità fra queste due grandezze si esplica tramite la cosiddetta *costante di Hubble*, H (che in realtà è un termine legato all'inverso dell'età dell'universo, t_0).

I dati raccolti nelle missioni WMAP e Planck hanno fornito, per il prodotto fra la costante di Hubble e l'età dell'universo, un valore che si accorda con quello che si ottiene utilizzando il parametro adimensionale da me introdotto, opportunamente elaborato.

Ciò ha permesso di ottenere, in definitiva, una equazione differenziale la cui soluzione offre, in determinate condizioni e per un certo valore della variabile tempo t , t_p il risultato, a meno di uno scarto dell'1%:

$$t/t_p \approx \varphi^2.$$

Deduzione della relazione fra α e φ

È proprio lo sviluppo esplicito di quello scarto dell'1% a fornire l'espressione più interessante, perché l'elaborazione algebrica (basata sui

termini di una ricorrenza implicita) che porta al valore *esatto* della soluzione della precedente equazione trasforma quest'ultima in:

$$\sum_{n=1}^{n=3} \alpha^{n-1} \cdot \left[1 - \frac{(-k)^{n-1}}{n} \right] + \sum_{m=1}^{m=2} (\alpha \cdot k)^{m-2} \cdot \{k - 4 \cdot [\ln(\alpha \cdot k)]^{m-1}\}^m = 0$$

avendo indicato con k :

$$k \equiv \ln(\varphi^2)$$

Oppure, raggruppando:

$$\sum_{n=1}^{n=2} \alpha^{n-4} \cdot \left\{ k^{n-2} \cdot \{k - 4 \cdot [\ln(\alpha \cdot k)]^{n-1}\}^n + \alpha \cdot \left[1 - \frac{(-k)^{n-1}}{n} \right] \right\} = \frac{k^2}{3} - 1$$

Il valore calcolato per la costante di struttura fine fornirà, risolvendo quindi l'equazione precedente:

$$\alpha_{calc} = 7.2973525681 \cdot 10^{-3}$$

che può essere confrontato con il dato ufficiale NIST CODATA 2014 già riportato:

$$\alpha = 7.2973525664(17) \cdot 10^{-3}$$

La differenza tra i due dati è pari a $1.7 \cdot 10^{-12}$, esattamente uguale all'errore fornito da NIST ($1.7 \cdot 10^{-12}$) per questa costante che – ricordiamolo – deriva dalla misura di altre costanti fisiche fondamentali. Una condizione quindi più che accettabile per la congruenza del dato ricavato.

Se si desiderasse aumentare nel calcolo precedente la precisione del valore di α così determinato (inserendo un maggior numero di decimali di φ), si potrebbe molto probabilmente trovare che esso è addirittura *periodico*, la cui frazione generatrice sarebbe data da:

$$\alpha_{\text{calc}} = 0.00729735256812623362068965517241379310344827586 =$$

$$= \frac{8464928979026431}{1160000000000000000}$$

Conclusioni

Si tratta solo di un caso? Straordinario quanto si vuole ma solo di un caso, di una combinazione raggiunta in modo fortuito, magari partendo da ipotesi forse fin troppo radicali? L'osservazione incontestabile è che tale relazione *esiste* ed è comunque verificabile da chiunque (utilizzando un software matematico), come dicevo poco prima. L'aspetto più sorprendente è offerto innanzitutto dalla dipendenza della costante fisica α *esclusivamente dal logaritmo del quadrato della sezione aurea*. A seguire, la presenza della sommatoria lascerebbe sottintendere una struttura ricorrente nel sottotesto della relazione trovata. Il risultato è in forma ancora grezza ma la sua suggestione è molto forte: l'espressione dell'intensità di una delle quattro forze fondamentali della natura, quella elettromagnetica (la cui variazione anche infinitesima, come abbiamo accennato, renderebbe instabile il Sole oppure elementi normalmente stabili come il carbonio e l'ossigeno, che decadrebbero) si esplica in *termini univoci* attraverso una costante *puramente geometrica e matematica*. E comunque, anche legata alla nostra percezione di bellezza (architettura, arte e musica). Basti pensare che questa "proporzione divina" è rintracciabile anche in opere come il Partenone o nel disegno per mano di Leonardo dell'*Uomo vitruviano* (Figure 3 e 4).

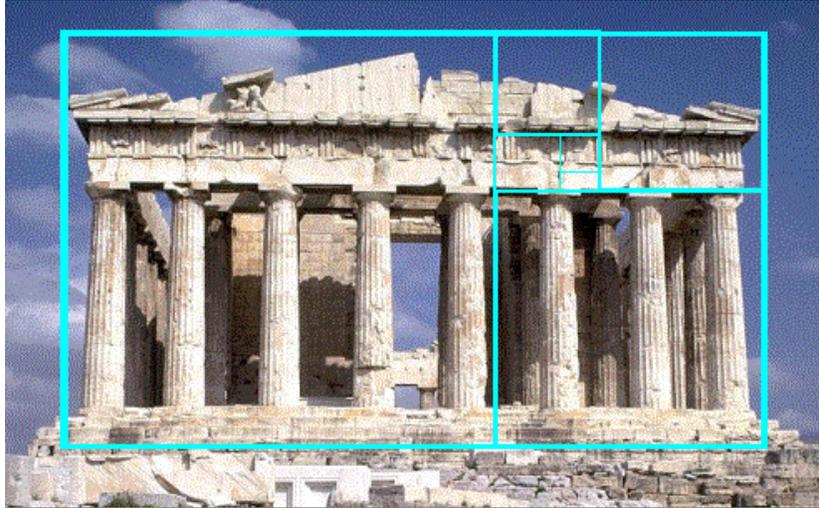


FIGURA 3 - La sezione aurea del Partenone di Atene

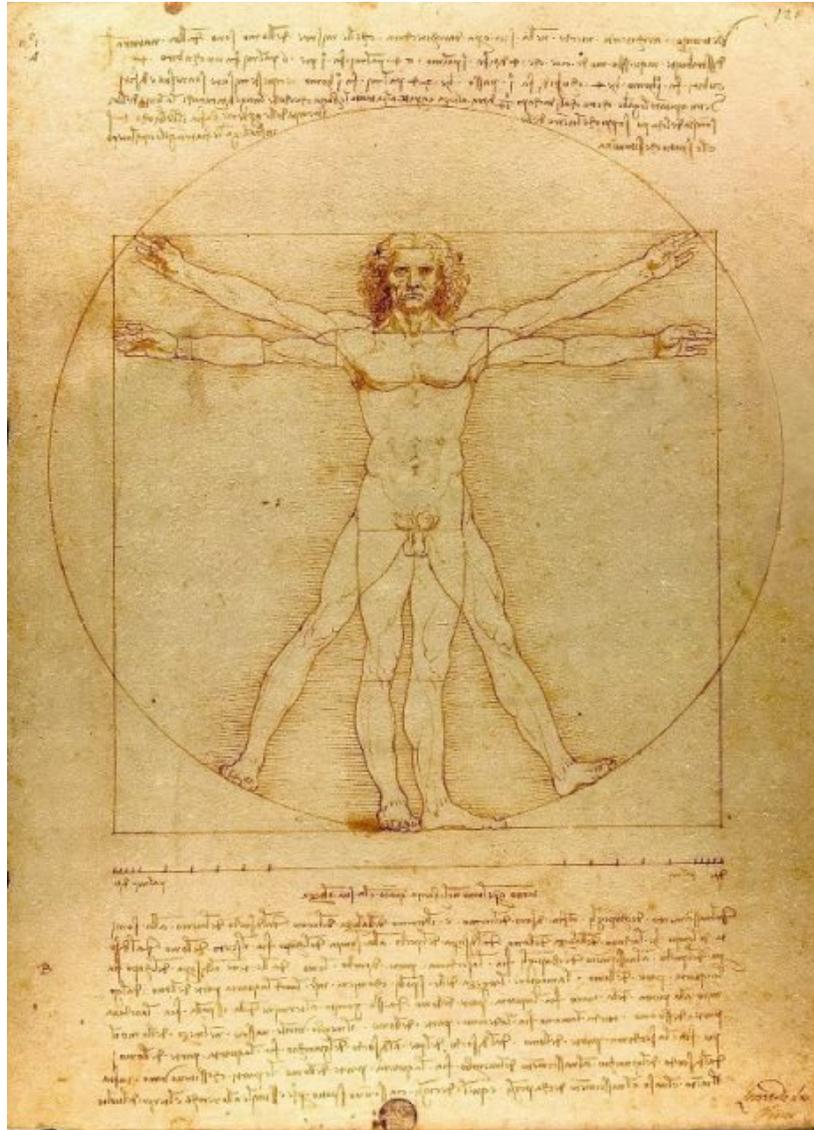
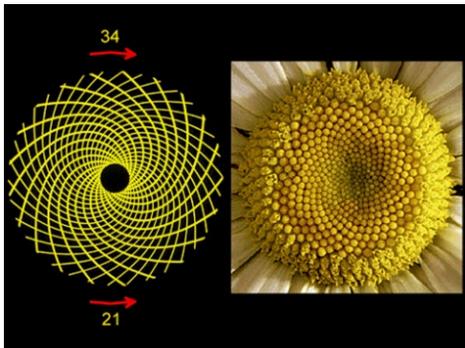


FIGURA 4 - L'Uomo vitruviano è un disegno a matita e inchiostro su carta di Leonardo da Vinci. Si trova nel Gabinetto dei Disegni e delle Stampe delle Gallerie dell'Accademia di Venezia

Oltre ogni possibile interpretazione di origine casuale, la descrizione geometrica e ordinata del mondo che può racchiudersi nella sezione aurea, f , sembrerebbe legata alla costante che individua una delle fondamentali interazioni della fisica e alla natura della realtà, dell'universo. E questo, senza alcun intervento di ulteriori parametri. Una relazione implicita e univoca tra due costanti appartenenti a *mondi diversi*. Collegate però all'ordine naturale delle cose. Poiché la sezione aurea la si ritrova anche in una particolare successione di numeri:

1 1 2 3 5 8 13 21 34 55 89 144 ...

in cui ogni termine è ottenuto dalla somma dei due precedenti. Si tratta della *successione di Fibonacci*, nella quale il rapporto tra due numeri contigui si avvicina sempre di più al valore della sezione aurea (p. es.: $144/89 = 1.61797\dots$). E questa successione descrive con incredibile varietà di casi certe disposizioni che si trovano in natura, dai fiori del disco nei girasoli alla disposizione delle squame in un ananas o a quella delle foglie su un fusto. Ma anche alla forma a spirale delle galassie, degli uragani.



Se la conformazione di strutture segue una disposizione matematica che tende alla bellezza, il fatto di ritrovare questa configurazione in una costante fisica che può spiegare l'esistenza di questo universo e anche la nostra potrebbe suggerire l'idea che la realtà sia interpretabile in senso matematico.

È dunque questo ciò che è dietro le spalle dei prigionieri della caverna? O ciò che è nascosto sul palcoscenico, al di là del sipario?

È solo matematica quella che è scritta nelle carte di Dio?

A questo punto, però, si aprirebbe uno scenario più inquietante. Una possibile interpretazione della realtà portata alle estreme conseguenze. Se infatti la natura ultima di questa è solo matematica, essa potrebbe risultare *simulabile*. E se essa può essere simulata, *sicuramente è stata o sarà simulata*.



In definitiva, viviamo davvero in una simulazione come alcuni scienziati cominciano a sospettare, per via di alcuni strani indizi?

Se fosse questa la spiegazione ultima, essa si avvicinerebbe alla scoperta di un grande inganno, spazzerebbe via ogni assurda convinzione

sull'esistenza del libero arbitrio... compensata però in modo consolatorio solo dalla grande bellezza di ciò che comunque continuiamo a percepire intorno a noi.

[1] (NIST CODATANIST, National Institute of Standards and Technology, <http://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html>, 2014)

Suono e rumore: una differenza “spettrale”

In questo articolo divulgativo proponiamo un viaggio nell'affascinante mondo dei suoni, dalla generazione alla percezione, e ai parametri che permettono di distinguere un suono da un rumore. Esaminiamo i motivi per cui lo stesso suono viene percepito in modo diverso se ascoltato all'aperto, in una piccola stanza o in un grande salone, dai quali si ricavano le caratteristiche ottimali dei materiali da usare per realizzare un teatro e una sala da concerto. Infine, spieghiamo perché le onde sonore si propagano con diverse velocità e diverse intensità in aria, nei liquidi o nei materiali solidi, e come possiamo ottenere una stima quantitativa del rumore proveniente dalla stanza attigua alla nostra

DOI: 10.12910/EAI2015-062

D. Murra, G. P. Gallerano, P. Di Lazzaro

Daniele Murra, Gian Piero Gallerano, Paolo Di Lazzaro

ENEA, Dipartimento Fusione e tecnologie per la Sicurezza Nucleare, Laboratorio Sorgenti, Antenne e Diagnostiche

Contact person: Paolo Di Lazzaro

paolo.dilazzaro@enea.it

*“Il suono viene percepito da tutti i sensi. I profumi, i colori e i suoni si rispondono”
Charles Baudelaire, 1857*

Suoni, voci, rumori ci accompagnano quotidianamente sin dalla nascita, ed è quindi naturale domandarsi che cosa è il suono? Come arriva alle nostre orecchie? Qual è la differenza tra suono e rumore? La velocità e l'intensità del suono sono le stesse in un gas, in un liquido o in un solido? Come si calcola l'intensità sonora delle voci e dei rumori dei vicini di casa? Si possono ascoltare suoni provenienti da altri pianeti?



Quando espiriamo, l'aria nei polmoni viene spinta dal diaframma verso la laringe dove si trovano le corde vocali [1]. Nel pronunciare una parola, le corde vocali vengono messe in vibrazione in modo talmente rapido che le molecole d'aria ricevono una spinta e trasmettono l'impulso alle molecole vicine. Questo movimento crea una zona dove le molecole di aria sono più dense (perché sono state spinte ad avvicinarsi) e di conseguenza una zona in cui le molecole sono meno dense (perché le molecole che si sono avvicinate tra loro lasciano uno spazio vuoto dietro a sé). In questo modo si crea un'oscillazione periodica di zone di aria più dense seguite da zone meno dense, ovvero una "onda di pressione" che si propaga sempre più lontano, fino ad arrivare alle nostre orecchie (vedi la Figura 1) entrare nel condotto uditivo e infine urtare la membrana del timpano, che comincia a vibrare.

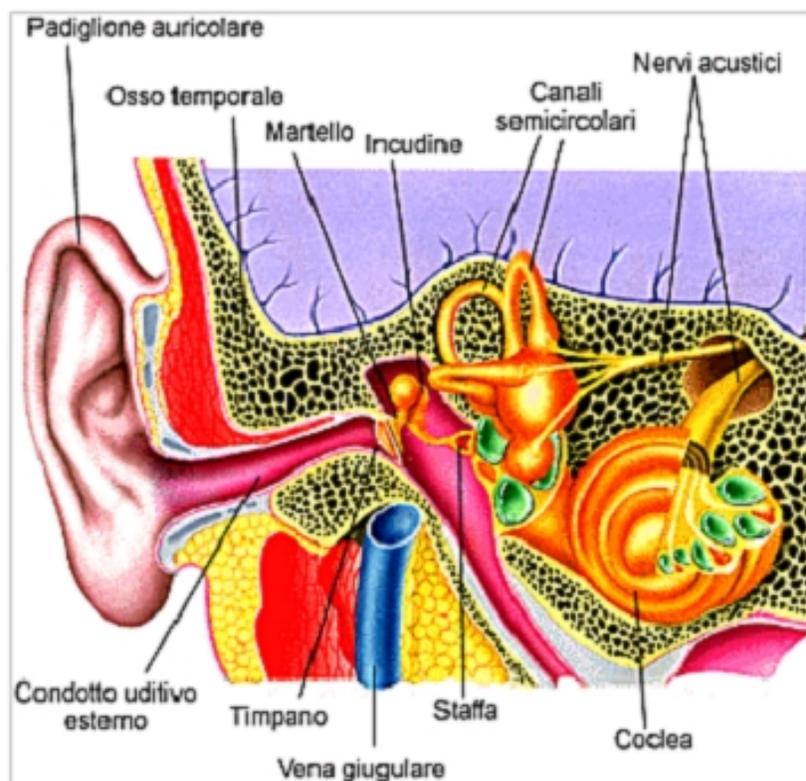


Figura 1- Sezione del sistema uditivo umano. Il condotto esterno convoglia le onde sonore alla membrana del timpano, facendolo vibrare. Il timpano trasmette la vibrazione agli ossicini (incudine, martello e staffa) che agiscono da leva e aumentano l'ampiezza dell'onda di pressione trasmessa ai liquidi della coclea - Fonte: tratto da <http://sonoriscausa.over-blog.com> e rielaborato dagli autori

Il timpano trasmette le sue vibrazioni ad alcuni ossicini che le amplificano e le trasmettono alla coclea [2], dove le vibrazioni meccaniche sono convertite in impulsi elettrici. Questi impulsi bio-elettrici sono infine trasmessi dai nervi acustici fino a giungere ai centri ed alle aree corticali dove si realizza la decodifica degli impulsi elettrici e nasce la sensazione uditiva. In sintesi, quindi, il suono è la percezione a livello cerebrale di un'onda di pressione meccanica che colpisce il timpano.

Tutti i fenomeni sonori si comportano in un modo simile alla voce: all'inizio c'è un impulso che genera la deformazione di un materiale il quale comincia a vibrare (ad esempio le dita che bussano sulla porta, le eliche che muovono l'acqua dove sono immerse, un tamburo percosso). La sorgente vibrante trasmette una spinta oscillatoria alle molecole del mezzo (acqua, aria) a contatto, creando una variazione di densità delle molecole, che corrisponde ad una disuguaglianza di pressione che genera il movimento dell'onda sonora fino a giungere alle nostre orecchie, come mostrato nell'esempio della Figura 2.

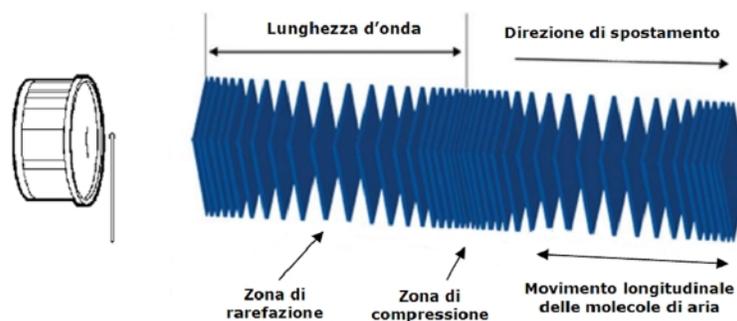


FIGURA 2 - Quando un tamburo viene percosso, la membrana si deforma e comincia a vibrare, trasmettendo una spinta oscillante alle molecole di aria vicine. Questa spinta crea l'alternanza di zone di aria compressa (densa) e di zone di aria rarefatta (meno densa). Si tratta di un'onda di pressione longitudinale (cioè oscilla lungo la direzione di propagazione) la quale spinge l'aria fino alle nostre

orecchie, dove il sistema uditivo (vedi Figura 1) genera impulsi bio-elettrici modulati, che vengono decodificati in zone specializzate del cervello per generare la percezione uditiva - Fonte: disegno tratto da howstuffworks.com e rielaborato dagli autori

È interessante notare che la propagazione dell'onda di pressione sonora comporta una propagazione di energia, ma senza uno spostamento di materia, la quale oscilla intorno alla posizione che aveva prima di essere investita dall'onda.

Il tipo di suono (acuto, grave, forte, debole) dipende dalla frequenza e dall'ampiezza della vibrazione. Infatti, se busso su due porte di uguale dimensione ma realizzate con materiali diversi (ad esempio una porta di legno e una di metallo) queste vibrano con diverse frequenze e ampiezze, a causa della diversa struttura ed elasticità di legno e metallo, e quindi producono suoni diversi.

Quando due strumenti musicali differenti emettono la stessa nota, con la stessa ampiezza e frequenza fondamentale, il nostro orecchio percepisce due suoni differenti. Ciò che consente di distinguere i due strumenti è il "timbro" ovvero l'effetto della somma di diverse frequenze emesse contemporaneamente dallo strumento musicale. Quando suoniamo, ad esempio, la nota "La" della quarta ottava del pianoforte, ascoltiamo un'onda che vibra a 440 cicli al secondo (Hz), ma anche onde a 880 Hz, 1320 Hz e così via, ovvero frequenze che risultano multiple di quella fondamentale a 440 Hz che vengono chiamate "armoniche".

Nell'insieme delle armoniche emesse suonando una particolare nota, troviamo altre note che si trovano nella scala musicale: ad esempio, la nota "Do" di un violino contiene anche il "Mi", il "Sol" ed il "Si bemolle" delle ottave superiori. Le differenti ampiezze di ciascuna delle frequenze emesse da uno strumento rendono l'onda risultante unica, diversa da strumento a strumento.

Tuttavia, anche quando lo stesso strumento viene usato in luoghi diversi, come una sala da concerto o in una cattedrale, noi percepiamo un suono diverso. Il motivo è che lo spazio circostante agisce sul suono riflettendo meglio alcune frequenze ed assorbendone altre, quindi variandone il timbro. In pratica, gli oggetti più piccoli della lunghezza d'onda

dell'onda sonora (ad esempio, una sedia o una colonna) sono “aggirati” dalla stessa onda che si propaga quasi indisturbata, mentre gli oggetti più grandi (ad esempio una parete) assorbono e in parte riflettono l'onda sonora, in modo diverso alle varie frequenze a seconda delle caratteristiche del materiale. Di conseguenza, quando si progetta una sala bisogna tener conto di una notevole quantità di variabili (i materiali e la forma di pareti, soffitto, poltrone, galleria, platea, la posizione dell'auditorio rispetto al palco, il volume della sala) che vanno scelte con molta attenzione, in modo da trovare le condizioni ottimali di ascolto calcolando il livello sonoro, il tempo di riverbero, l'intelligibilità. I valori ottimali di questi parametri, tuttavia, variano a seconda della destinazione d'uso della sala. Uno dei parametri più importanti è il riverbero, ovvero la persistenza del suono oltre la durata impressa dalla sorgente sonora, causato dalle riflessioni multiple delle onde sonore da parte delle pareti della sala. Per evitare di ascoltare l'eco di una parola di breve durata, è necessario che la durata del riverbero sia breve, inferiore a un decimo di secondo che è l'intervallo di tempo minimo necessario all'orecchio umano per distinguere due suoni. Viceversa, se si desidera rinforzare e prolungare il suono di uno strumento, è conveniente avere un tempo di riverbero maggiore. La legge empirica di Sabine [3] ci dice che il tempo di riverbero è proporzionale al volume della sala e inversamente proporzionale alla superficie delle pareti riflettenti e al coefficiente di assorbimento medio delle stesse pareti. In una sala per conferenze, un cinematografo o un teatro in cui bisogna migliorare l'intelligibilità delle parole pronunciate dagli attori, il tempo di riverbero ottimale è minore di un decimo di secondo, e di conseguenza la sala deve avere un volume piccolo, con pareti ampie e assorbenti. Viceversa, una sala per musica classica il cui tempo di riverbero ottimale è maggiore di un secondo avrà pareti meno assorbenti ed un volume maggiore [3], vedi la Figura 3.



FIGURA 3 - Foto della sala Santa Cecilia dell'Auditorium di Roma. Il controsoffitto è formato da 26 gusci in legno di ciliegio, ognuno dei quali ha una superficie media di 180 metri quadri. Il legno riveste anche platea e gallerie contribuendo a rendere la sala una cassa armonica con l'acustica ottimale per i concerti, con un tempo di riverbero di 2,2 secondi- Fonte: Tratto da [4]

Oltre ai suoni, esistono onde sonore meno piacevoli, i rumori. Che differenza c'è tra suono e rumore?

Il rumore corrisponde a un'onda di pressione irregolare, non periodica, che oscilla con molte frequenze diverse tra loro. Il suono di una nota musicale invece corrisponde ad un'onda di pressione con un profilo di intensità periodica, che si ripete in modo regolare in un certo intervallo di tempo.

Nel caso della voce umana, le consonanti (soprattutto la labiodentale “f”, l'alveolare “s”, le occlusive bilabiali “p” e “b” e le occlusive dentali “t” e “d”) vengono articolate unendo o avvicinando le labbra o i denti, in modo che l'aria, diffratta dall'ostacolo, fuoriesca producendo onde irregolari aventi uno spettro di frequenze molto ampio, e quindi sono percepite come rumori.

La “r” introduce una vibrazione rapida, mentre pronunciando la “n” la risonanza della bocca è fortemente smorzata a favore della risonanza della cavità nasale. Viceversa, le vocali (“a”, “e”, “i”, “o”, “u”) sono suoni selezionati cambiando forma e ampiezza della bocca, che funge da cavità risonante rinforzando alcune frequenze e assorbendone altre.

Ad esempio, nella Figura 4 è riportata la successione temporale delle onde di pressione della voce umana maschile durante la pronuncia della parola “barca” registrate con un personal computer.

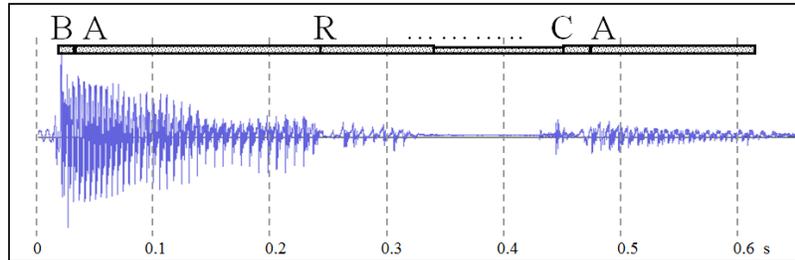


FIGURA 4 - Onde sonore della voce umana mentre pronuncia la parola ‘barca’, registrata al computer. In ascissa, la scala temporale è in secondi - Fonte: elaborazione ENEA

Nella Figura 4 la consonante bilabiale “b” sembra possedere una certa regolarità, ma la sua pronuncia si esaurisce nei primi 25 millisecondi, dopodiché inizia a comporsi l’oscillazione della vocale “a”. Questa è ancora poco regolare, ma contiene una certa periodicità: ovvero, una singola oscillazione è diversa da quelle che la precedono o la seguono, ma esiste un gruppo di oscillazioni che si ripete periodicamente. La “r”, invece, e ancor più la “c” dura, mostrano una scarsa periodicità ed hanno una forma irregolare dovuta alla somma di molte frequenze. La “r” viene pronunciata dopo circa 250 millisecondi dall’inizio della parola, poi c’è un intervallo di latenza dei suoni che riprendono con la “c” dura a 450 millisecondi dall’inizio. Anche il rumore “c” dura poche decine di millisecondi, per far posto alla “a” finale poco intensa, che si smorza lentamente.

In un altro esempio, la consonante alveolare “s” ha un’evoluzione temporale estremamente più densa e disordinata della labiodentale “f”, come mostrato nella Figura 5.

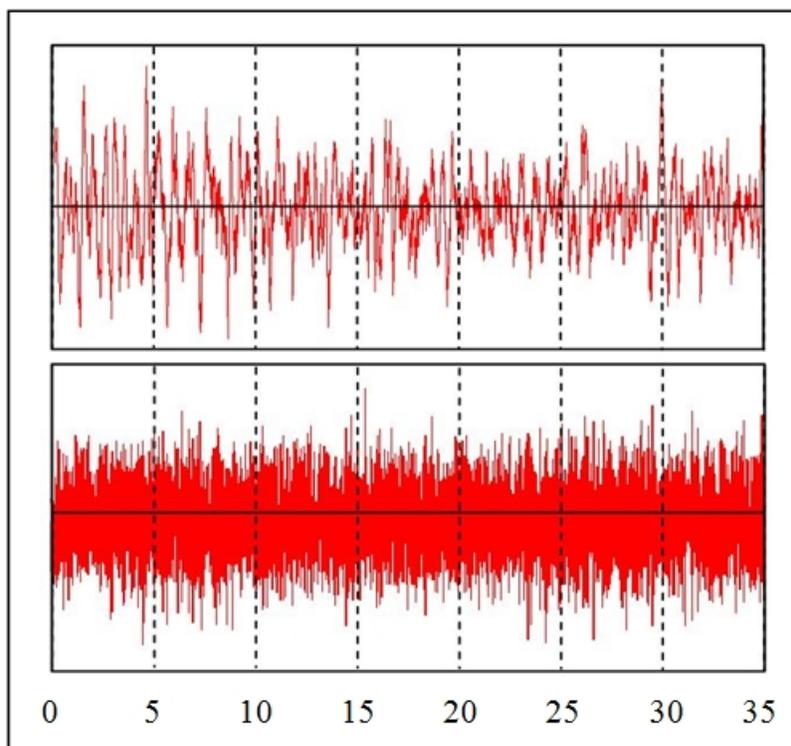


FIGURA 5 - Onde sonore emesse dalla voce umana durante la pronuncia delle consonanti “f” (in alto) ed “s” (in basso). In ascissa, la scala temporale è in millisecondi - Fonte: elaborazione ENEA

Il suono della voce di un cantante, o ancora meglio di uno strumento musicale, produce una oscillazione periodica e regolare della pressione dell'aria. Ad esempio, nella Figura 6 è riportata la vocale “a” cantata emessa ad una frequenza di circa 110 Hz, la stessa vocale alla frequenza di 220 Hz e la nota “La” (a 110 Hz) emessa dalla corda di una chitarra.

Confrontando la Figura 5 con la Figura 6, osserviamo che il suono cantato della lettera “a” è molto più regolare, periodico e costituito da poche frequenze rispetto alle consonanti. Il suono emesso da uno strumento musicale, oltre ad avere un'elevata periodicità, appare più regolare della voce umana, ovvero ha un minor numero di frequenze “estranee”, ragione per cui l'ascolto della musica risulta gradevole [5].

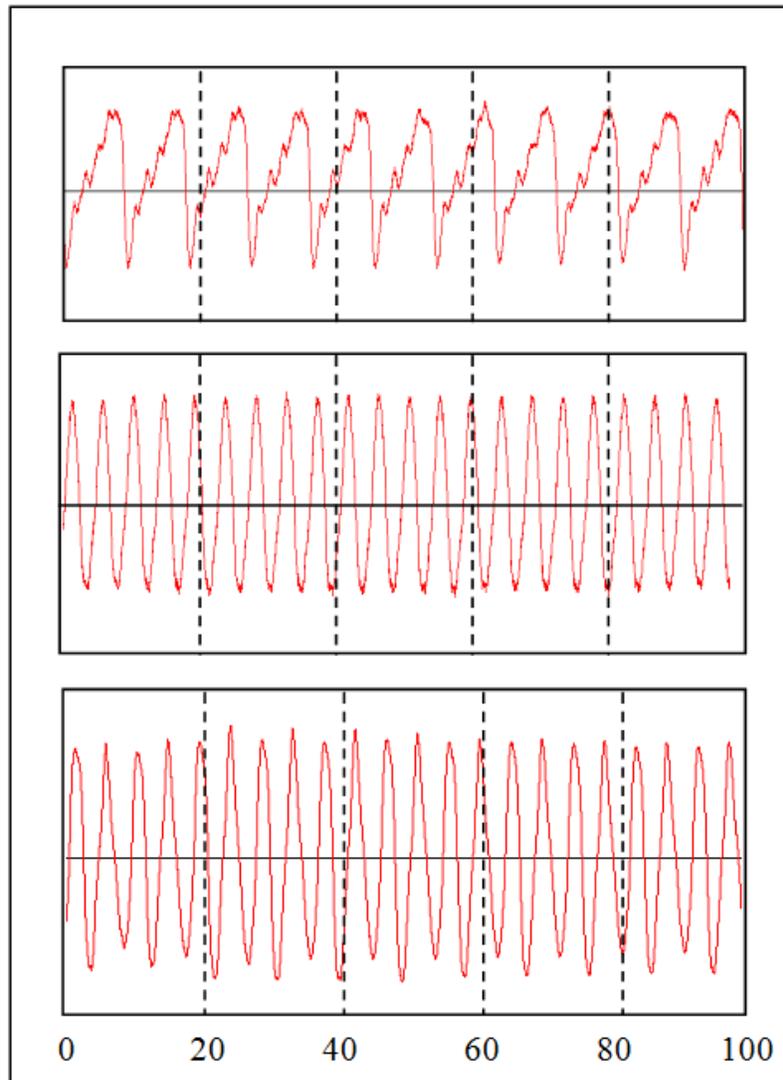


FIGURA 6 - Dall'alto in basso: "a" cantata a 110 Hz; "a" cantata a 220 Hz; la nota "La" a 110 Hz emessa dalla corda di una chitarra. La scala temporale in ascissa è in millisecondi - Fonte: elaborazione ENEA

Osservando l'onda della vocale "a" a 220 Hz e quella della nota "La" a 110 Hz nella Figura 6 viene da chiedersi perché a due frequenze differenti corrispondano due oscillazioni simili. Il motivo è che la corda della chitarra oscilla sia 110 volte al secondo, sia a frequenza doppia, tripla, quadrupla, etc. con un'intensità paragonabile a quella della frequenza fondamentale, generando un suono dal timbro caldo e armonioso. Viceversa, uno strumento a fiato come il flauto produce poche armoniche aventi bassa intensità, generando un suono dal timbro fluido e semplice.

A quale velocità si propaga il suono? Nei libri di Fisica troviamo che la velocità del suono è data dalla radice quadrata della variazione della pressione al variare della densità del mezzo (i dettagli sono descritti nella nota [6]). Quindi, la velocità del suono dipende dalla densità e dalla comprimibilità del mezzo (gassoso, liquido, solido) in cui il suono si propaga. Intuitivamente, maggiore è la densità delle molecole, maggiore è la pressione necessaria a muoverle. Ed è facile capire che maggiore è la comprimibilità (capacità delle molecole di avvicinarsi, riducendo il volume occupato), maggiore è la spinta che viene utilizzata per avvicinare le molecole, rallentando il processo di spostamento dell'onda di pressione.

Le sostanze solide e liquide si possono comprimere poco, perché le loro molecole e atomi sono già molto vicini, e quando una forza cerca di comprimerli intervengono forze repulsive che si oppongono all'avvicinamento. Al contrario, i gas sono caratterizzati da una grande distanza tra molecole, e possono essere compressi facilmente. Ad esempio, l'acqua ha una densità 770 volte maggiore e una comprimibilità 15.000 volte minore dell'aria. Di conseguenza, la minore comprimibilità dell'acqua compensa e supera l'effetto della maggiore densità rispetto all'aria, e la velocità del suono nell'acqua è di 1.410 metri al secondo (m/s), più di quattro volte superiore alla velocità del suono nell'aria che a 15 °C è di 340 m/s [7].

I solidi sono più densi ma meno comprimibili dei liquidi, sicché la velocità del suono in un solido è più elevata. Ad esempio, nel rame la velocità del suono è circa 4.500 m/s e nel legno è circa 3.400 m/s. Stiamo parlando di velocità ragguardevoli, di alcuni km al secondo!

Oltre ad essere più veloce, l'onda di pressione sonora nei liquidi e nei solidi è anche molto più intensa che nell'aria, perché la pressione aumenta come il prodotto densità del mezzo per il quadrato della velocità del suono [6]. Per questo motivo è possibile ascoltare rumori e voci della stanza accanto se appoggiamo l'orecchio alla parete! Infatti, le onde sonore della stanza si propagano in aria e raggiungono la parete, che assorbe una parte dell'onda di pressione e quindi comincia a vibrare. La parete trasmette la vibrazione all'aria della nostra stanza fino ad

arrivare al nostro orecchio. In questa doppia interfaccia (aria-parete della stanza accanto, parete-aria della nostra stanza) viene perduta gran parte dell'intensità dell'onda sonora, che quindi risulta attenuata e poco percepibile. Viceversa, se poggiamo la testa alla parete, le vibrazioni della parete si trasmettono per via ossea al sistema uditivo, con una maggiore velocità (e quindi maggiore intensità) rispetto all'aria.

Proviamo a dare una stima quantitativa della percezione dell'onda sonora generata nella stanza accanto. Consideriamo una voce maschile a 125 Hz ad un livello sonoro di 60 decibel (dB) [8]. La parete in mattoni assorbe circa il 3% dell'intensità sonora a 125 Hz, e dalla definizione di dB abbiamo che la parete assorbe 45 dB (il calcolo esplicito si trova nella nota [9]). Quindi, poggiando la testa sul muro, una persona nella stanza accanto può ascoltare un livello sonoro di circa 45 dB, equivalente a piccoli rumori in ambiente domestico. Attaccati al muro si ascolta una voce molto meno intensa di quella percepita da una persona nella stanza accanto, vicino a chi parla, ma la voce è ancora udibile. Appena ci stacciamo dal muro, poiché la seconda interfaccia parete-aria trasmette a sua volta circa il 3% del livello di intensità dell'onda sonora assorbita dalla parete, il livello sonoro scende a circa 30 dB, equivalente al sussurro percepito a circa 1 m di distanza, e quindi il riconoscimento delle parole diventa difficile.

In questa stima grossolana, per semplicità abbiamo trascurato alcuni parametri, ad esempio le riflessioni multiple dell'onda sonora sulle pareti (che aumentano l'assorbimento della parete), la dipendenza dell'assorbimento della parete dalla frequenza della voce (per cui le voci femminili vengono mediamente più assorbite di quelle maschili), le curve isofoniche e le curve di compensazione (che tengono conto dello spettro di sensibilità dell'udito). Di conseguenza i valori numerici sono approssimati, ma comunque indicativi del fenomeno.

Rimane un'ultima curiosità: cosa accade al suono quando non c'è aria o altro mezzo dove propagarsi? In questa situazione si trovano gli astronauti che fanno una "passeggiata spaziale" fuori dalla navicella. Nel vuoto interplanetario, senza atomi e molecole, le vibrazioni dell'astronave non possono "spingere" nulla, quindi non c'è onda di

pressione, e nessun suono si propaga fino al timpano dell'astronauta. Nello spazio regna il silenzio assoluto.

E allora, diffidate dei film di fantascienza dove l'inquadratura di un'astronave e nello spazio è accompagnata dal roboante rumore dei motori...



Research & development

Research & development

3D-BioPrinting: The future of Red Biotech

Every day Science moves little steps forward, contributing to the progress of our society. Sometimes, however, a single invention revolutionizes the world. Indeed, the invention of woodblock printing and development of industrial-scale printing-press in the 15th century have changed our society. 3D-printing is now boosting another revolution. The production of custom-made objects from a virtual model will trigger a rapid development of a more versatile, less expensive manufacturing sector for the on-demand market. The real revolution, however, is represented by 3D-printing in biomedicine. 3D-bioprinting represents the future of the Red-Biotech. This technology, indeed, will be able to build ex-novo organs using biocompatible materials and human cells; replace the allograft transplants, eliminating waiting lists that often make the difference between life and death; and provide more predictive, less expensive experimental models, replacing animal tests. The high innovation content of this technology, can make the difference between being obsolete and new

DOI: 10.12910/EAI2015-063

A. Crupi, L. Teodori

Annunziata Crupi(*), Laura Teodori(*),

ENEA, Nuclear Fusion and Safety Technologies Department, Frascati Research Centre

Fondazione San Raffaele, Ceglie Messapica

(*) Chair of the Indo-Italian Biomaterials and Tissue Engineering Forum, www.i2bite.com

Introduction

In the 15th century the 2D printing invention revolutionized society, facilitating information dissemination, alphabetization of people, and introducing the concept of communication which altered the very structure of society. Printing has been defined as the great contribution to civilization; today, the new frontier of the printing technology is 3D-printing. The inventor of 3D-printing was Chuck Hull, who first came up with the idea in 1983, when he was using UV light to harden tabletop coatings. Hull coined the term “stereolithography” in his [U.S. Patent 4,575,330](#), –entitled “Apparatus for Production of Three-Dimensional Objects by Stereolithography”– issued in 1986. Production of 3D complex structures has been applied by industry to produce customized objects, such as pieces of bicycles and jewels.

Before the 3D-printer invention, industry could produce a specific object on industrial scale only, in fact production was a process made by many steps, each one carried out by a specific machine. It was not even possible to conceive the production of a single object for a single request. Now, thanks to this new technology any requested object can be imagined, designed and then produced by simply using the same machine, the 3D-printer. This technology has an endless potential, and the benefits of 3D-printing technology encompass manufacturing, scientific and biomedical fields. For example, scientists from the University of Central Lancashire in the UK have developed a 3D-printer that can “print” medicine tablets, that may be designed to custom-fit the needs of the patient who is going to take them; the advantage is that the 3D-printer can replicate any existing chemical in terms of weight and dosage fairly accurately [1].

In the last years many scientific discoveries and technological inventions in the field of biomaterial, microfluidics, engineering, nanotechnology, biochemistry and stem cell biology have made several 3D-printing

applications possible in the biomedical field, yielding the real innovative value of this technology. In this field 3D-printers can be used to produce biocompatible, tri-dimensional porous structures that mimic human tissues, named scaffolds, or to print cells, biomaterials and biomolecules at the same time, in specific spatial positions and with a very high-resolution, moving from 3D-printing to 3D-Bioprinting. The ability to create a virtual design of a custom-made living-object and make it real, is a concept that, until a few years ago, also inspired science fiction. Bioprinting can be defined as the use of computer-aided transfer processes for patterning and assembling living and non-living materials with a prescribed 2D or 3D organization, in order to produce bio-engineered structures serving in regenerative medicine, pharmacokinetic and basic cell biology studies.

In spite of the crisis of BigPharma, Biotech represents an active and promising reality, but the major challenge is that pre-clinical studies to test the safety and efficacy of new drugs use laboratory animals and 2D cell culture, and neither of these methods are accurate reflections of how a drug will react in humans. In addition, alternatives to animal experimentation are sought. The possibility to test drugs and biotechnological products on 3D humanized constructs could represent the solution to this problem and, for its economical and innovative value, investing in this field could be the future of the so-called *Red Biotech* (the industries concerning with the discovery and development of innovative drugs and treatments in the field of biomedicine). Using 3D-bioprinting allows to set up tri-dimensional cell cultures, cultivate different cell types in the same structure, simulate cell to cell and cell to environment interactions *in vivo*, build human tissues for regenerative medicine applications, restore damaged organs, wound healings or correct maxillo-facial defects, and much more.

The crucial steps that led to bioprinting were the development of biocompatible, printable materials and cell-printing techniques. Early application of 3D-bioprinting was in cardiovascular diseases for stent and valve production for clinical usage.

This new promising technique has had a rapid and widespread development in the last few years, thus today there are many different bioprinters based on different technologies, from laser-assisted polymerization to microwave, that seed cells onto various solid substrate [2]. They use, for example, nozzle-based deposition of hydrogels and cells, drop-on-demand inkjet-printing of cell suspensions with subsequent cross-linking, layer-by-layer cross-linking of synthetic or biological polymers by selective irradiation with light and even laser-induced deposition of single cells. The choice of the technique, material, cell lineage to use depends on the final goal.

The 3D bioprinting is attracting our attention, as at Laboratory of Dosimetry & Metrology, FSN-TECFIS-DIM, we are actively involved in the field of tissue engineering research [3-5]. Indeed, we produced a scaffold (muscle acellular scaffold: MAS) (Figure 1 A), made up of native extracellular matrix (ECM) from skeletal muscle tissue [4]; this scaffold was able to recruit stem cells which differentiate, giving raise to new muscle fibers (Figure 1 B). ENEA holds a unique multidisciplinary expertise that would allow it to successfully conquer this field which up to now is being almost deserted in our country. Here we discuss on the state of the art of this technology, its application in biotechnological and biomedical field, and the challenges to overcome.

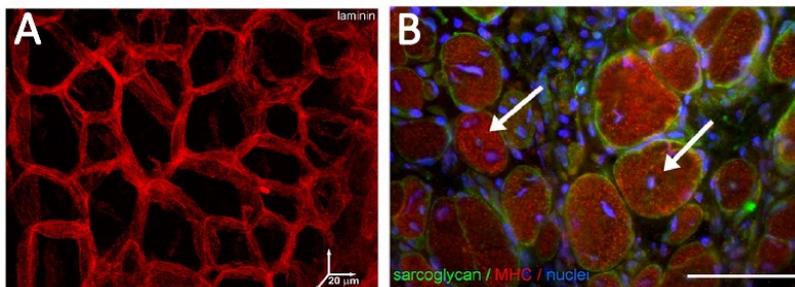


Figure 1 - (A) Acellular skeletal muscle scaffolds (MAS), obtained by de-cellularization of a tibialis anterior muscle. 3D image stack reconstruction of confocal microscopy images of a 20 mm thick cryosection of MAS, highlighting the irregular, polyhedral tubular organization corresponding to that of the muscle fibers. (B) Staining of a cross-section obtained by MAS (muscle acellular scaffold) 21 days after implant in a mouse. Immunofluorescence analysis of muscle-specific molecular markers demonstrates that these cells (arrows) are generating skeletal muscle tissue inside the scaffold. Bar = 50 μ m - Source: "The pro-myogenic environment provided

State of the art

Bioprinting begun from 2D ink-based printers modified to become cell-printers. The ink in the cartridge was replaced with a biological material and the paper was replaced with an electronically controlled elevator stage to provide control of the z axis (the third dimension in addition to the x and y axes). So bioprinting is the use of printing technology for deposition of biological material such as living cells, ECM components, biochemical factors, proteins or drugs on a solid or gel surface, by the help of *computer aided design* (CAD). To build entire tissue or organs that mimic natural organization in human, it is necessary to acquire a 3D image. Medical imaging technology is an indispensable tool used by tissue engineers to provide information on a 3D structure and function at the cellular, tissue, organ and organism levels. In tissue engineering, 3D-bioprinting can be essentially of two types: with or without incorporating living cells onto the solid surface. Different features of these technologies should be considered in the light of the most important factors in 3D bioprinting, namely surface resolution, cell viability, and the biological materials used for printing. Three concepts of 3D bioprinter are nowadays available: Inkjet bioprinters, Microextrusion bioprinters, Laser-assisted bioprinters (LAB) (Figure 2) [2].

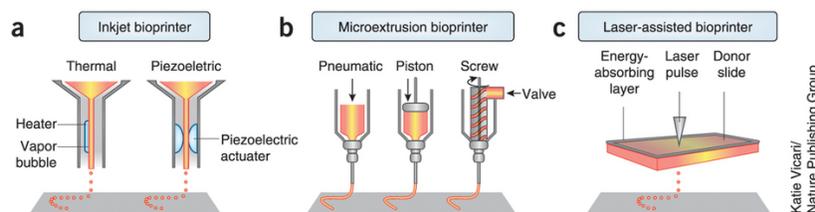


Figure 2 - The three main bioprinting techniques: (a) Inkjet bioprinting; (b) Microextrusion bioprinting; (c) Laser-assisted bioprinting (LAB) - Source: “3D bioprinting of tissues and organs”, *Nat Biotech*, 32, 773–785, 2014

Inkjet printers are the type of printer most commonly used for both non-biological and biological applications. Now, inkjet-based bioprinters are custom-designed to handle and print biological materials (bio-ink) at

increasing resolution, precision and speed on a solid biocompatible surface (bio-paper). Inkjet printers make use of thermal or acoustic forces to eject drops of liquid onto a substrate, which can support, or form part of, the final construct. Advantages of acoustic inkjet printers include the capability to generate and control uniform droplet size and ejection directionality, as well as to avoid exposure of cells to heat and pressure stressors [2]. Different cell lineages can be printed at the same time using different nozzles and cartridges, and the acoustic waves allow the deposition of drops as large as a cell, giving a high resolution potential. Because of the availability of standard 2D inkjet printers, researchers can readily access and modify them. Moreover, commercially available inkjet 3D bioprinters are also relatively cost-effective owing to their simple components and readily available design and control software. The wide application of this technology by many groups has accelerated advances in inkjet bioprinting technology [2].

Microextrusion bioprinters are usually based on a temperature-controlled, material-handling and dispensing system that extrudes tubes or spheroids of materials, which are superimposed on one another and then cured through the addition of radiation or chemical reactions, or by time [2,6]. Nearly 30,000 microextrusion-based 3D-printers are sold worldwide every year, and academic institutions are increasingly purchasing and applying microextrusion technology in tissue and organ engineering research. Microextrusion-based printers are considerably more expensive but have better resolution, speed, spatial controllability and more flexibility in the material they can print, such as hydrogels, biocompatible copolymers and cell spheroids. A few systems use multiple print heads to facilitate the serial dispensing of several materials. The main advantage of the microextrusion bioprinting technology is the ability to deposit very high cell densities, covering one of the major goals for the bioprinting field: to achieve physiological cell densities in tissue-engineered organs. To create 3D tissue constructs with microextrusion printing, some groups used solutions comprised of cells only. Multicellular cell spheroids are deposited and allowed to self-assemble into the desired 3D structure. Tissue spheroids are thought to possess material properties that can replicate the mechanical and functional properties of the tissue ECM. Cell viability after

microextrusion bioprinting is lower than that with inkjet-based bioprinting, due to the shear stresses inflicted on cells in viscous fluids. Although cell viability can be maintained using low pressures and large nozzle sizes, the drawback may be a major loss of resolution and print speed [2].

Laser-assisted bioprinting (LAB), albeit less common than other methods, is being increasingly used for tissue- and organ-engineering applications. LAB is based on a pulsed laser beam that acts on a laser-energy-absorbing layer (gold or titanium) and a layer of biological material (cells and/or hydrogel) prepared in a liquid solution. LAB is compatible with a range of viscosities and can print cells with negligible effect on cell viability and function. LAB can deposit cells at a high density with microscale resolution of a single cell per drop. The application of LAB to fabricate a cellularized skin construct demonstrated the potential to print clinically relevant cell densities in a layered tissue construct, but it is unclear whether this system can be scaled up for larger tissue sizes [2].

As described above, different techniques use different materials, and have a different application potential. In the field of tissue engineering, materials used for bioprinting must have certain characteristics: printability (easy handling and deposition by the bioprinter); degradation kinetics (degradation rates should be matched to the ability of the cells to produce their own ECM); biocompatibility (avoiding undesirable local or systemic responses from the host, actively contributing to the biological and functional components of the construct, giving rise to nontoxic degradation byproducts); structural and mechanical properties (based on the required mechanical properties of the construct, depending on the tissue to construct, such as muscle, bone or skin); cell interaction properties (facilitating cell adhesion and interaction, cell proliferation and tissue formation); and permeability (allowing nutrient exchange and diffusion of wastes) [2,6].

Owing to the wide spectrum of mechanical and biochemical properties of the native tissue, a variety of materials are being developed to mimic specific cell and tissue niches. Hydrogels are the materials most

commonly explored for fabricating the complex 3D cellular microenvironments, as they can be tuned for ideal degradability and mechanics, and functionalized by incorporating biomolecules of interest. They are generally considered to have high biocompatibility and non-immunogenicity. The optical clarity of hydrogels permits the use of a vast assortment of photochemical methods to fabricate material structures or pattern biomolecules within the hydrogel matrix. Similarly, their high water content creates an environment conducive to the encapsulation of cells. Alternatively, many synthetic polymers capable of forming hydrogels have also been developed to act as blank-slate materials, the biochemistry and mechanics of which can be custom-tailored via simple chemical modifications. Although poly(ethylene glycol) (PEG) is the synthetic polymer most commonly explored, owing to its innate protein repulsiveness and the fact that it is already FDA approved for certain applications, several other hydrogel-forming polymers have been investigated [7].

Organ and tissue printing

3D-bioprinting of tissues and organs is based on three central approaches: biomimicry, autonomous self-assembly and mini-tissue building blocks [2].

Biomimicry involves the manufacturing of identical reproductions of the cellular and extracellular components of a tissue or organ. The replication of biological tissues on the microscale is necessary for this approach to succeed. Thus, understanding of the microenvironment, as well as the nature of the biological forces in the microenvironment, is needed [2].

Autonomous self-assembly is based on the use of embryonic organ development as a guide. The early cellular components produce their own ECM, appropriate cell signaling and autonomous organization and patterning to achieve the desired biological micro-architecture and function. This approach requires a deep knowledge of the developmental mechanisms of embryonic tissue genesis and organogenesis [2].

The concept of **mini-tissues** is relevant to all of the above strategies for 3D-bioprinting, because organs and tissues comprise smaller, functional building blocks, or “mini-tissues”, that can be defined as the smallest structural and functional component of a tissue [2].

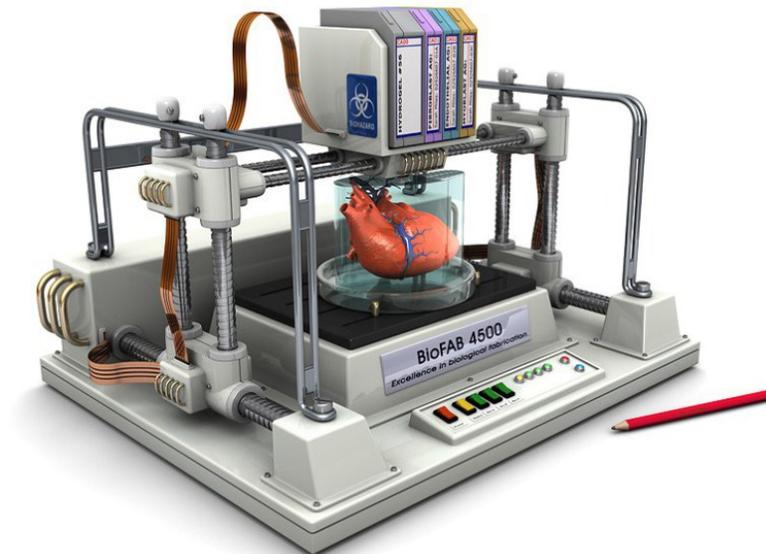


Figure 3 - Bioprinting Challenges. The major challenge for 3D-bioprinting is to build up functional human entire organs, such as heart, in order to replace allograft transplantation avoiding waiting list- Source: “Bioprinting toward organ fabrication: challenges and future trends”, IEEE Trans Biomed Eng, 60, 691-699, 2013

Current Challenges

Today the major problem to be overcome for high-dimension organ printing is vascularization. Although the past work has generated methods to create artificial skin, cartilage, tracheas and bladders, these represent relatively simple structures compared with the complex architectures of heterogeneous or vascularized organs and tissues [7]. Most of the current fabrication strategies have developed scaffolds that are capable of culturing cells only for short periods of time in relatively small constructs. In order to allow the development of thicker tissues and prevent the formation of a necrotic core within a scaffold, it is very important that perfusable vascular networks allow the exchange of gases, nutrients, and metabolic products. Therefore, both current and next generations of biofabrication techniques need to address the challenge of

fabricating a network of microvessels within a scaffold to allow the formation of larger and thicker tissue constructs. The anticipated potential of providing tubes with tailored branching geometries made of biocompatible or biological materials pushes future visions of patient-specific, vascularized tissue substitutions, tissue-engineered blood vessels, and bio-based vascular grafts [7]. The most straightforward approach to perfusable tissue might be the generation of a network of interconnected channels within the tissue matrix. Such channels may be used as supply system for cells within the surrounding matrix, and may additionally be seeded with endothelial cells. Early works used moulds for preparing sacrificial structures in order to fabricate microfluidic networks, which then allowed the transport of macromolecules into surrounding hydrogels under low driving pressure differences [8].

Anyway, overcoming this challenge would allow to develop organs *in vitro* on demand, thereby lowering or completely eliminating the need for organ donation from individuals [7].

Other applications of 3D-bioprinting include developing high-throughput, 3D-bioprinted tissue models for research, drug discovery, and toxicology.

This great interest in the development of 3D-bioprinting and the economic and innovative potential of this field are giving a boost to every other sector directly or indirectly linked, such as biomaterials, microfluidics, bioengineering, stem cell research and industrial development of more advanced technologies to help researchers to overcome these numerous challenges in the near future (see Fig. 3 as an example).

This future is already present in some countries. For example, to an Indian cancer patient, who has had a substantial section of his palate removed after undergoing surgery to remove a tumor, a new set of teeth has been given with the help of 3D printing [9]. Scientists at [University College London](#) are using 3D printing to create ears to be implanted onto children with severe disfigurements, and the next stage is to trial the operation in Mumbai, India, where there are already a dozen children ready to undergo the surgery [10]. At the [University of Toronto](#) some

engineering students have developed a 3D-bioprinter that can rapidly create artificial skin grafts from a patient's cells to help treat burnt victims [11]. Indeed, among others, also the US Army is hoping to soon begin clinical trials with 3D-printed skin, in order to help soldiers better recover from war injuries.

This technology is revolutionary mainly in the field of regeneration of those human tissues unable to self-regenerate, such as bone, cartilage, nervous system. Today it is possible to build artificial bone from calcium phosphate, which is a component of both human bones and teeth; the printer's product should be able to integrate directly into a patient's body, where it will fuse with the existing bone.

Due to clinical, commercial, industrial interest of this area of research several industries and start-ups based on bioprinting are rising worldwide, enjoying great success and vast profit, such as Organovo (which has doubled its turnover in about one year), founded in California, in 2007, thanks to *Ink-jet Printing of Viable Cells* patented by Dr. Thomas Boland at Clemson University in 2003.

Bioprinting “fever” is gradually affecting the globe and certainly we will witness a strong scientific and industrial development in the next few years, in a great race where yesterday's future is tomorrow's present, leap-frogging to breakthrough innovation.

Acknowledgments

We acknowledge *MERIT project #RBNE08HM7T* funds for our work on Tissue Engineering.

References

1. Stanton. (2014), “3D Printing Technology Produces Printable Medicine Tablets”, *Home TestingBlog* hometestingblog.testcountry.com (updated at 11/11/2014), Lancashire, UK

2. V. Murphy & A. Atala (2014), “3D bioprinting of tissues and organs”, *Nat Biotech*, 32, 773–785, Nature Biotechnology, Winston-Salem, North Carolina
3. Perniconi, D. Coletti, P. Aulino, A. Costa, P. Aprile, L. Santacroce, E. Chiaravalloti, L. Coquelin, N. Chevallier, L. Teodori, S. Adamo, M. Marrelli and M. Tatullo (2014), “Muscle acellular scaffold as a biomaterial: effects on C2C12 cell differentiation and interaction with the murine host environment”, *FrontPhysiol*, 5, 354, Frontiers, Rome, Italy
4. Perniconi, A. Costa, P. Aulino, L. Teodori, Sergio Adamo, Dario Coletti (2011), “The pro-myogenic environment provided by whole organ scale acellular scaffolds from skeletal muscle”, *Biomaterials*, 32, 7870-7882, Elsevier, Rome, Italy
5. Teodori, A. Costa, R. Marzio, B. Perniconi, D. Coletti, S. Adamo, B. Gupta, A. Tarnok (2014) “Native extracellular matrix: a new scaffolding platform for repair of damaged muscle”, *FrontPhysiol*, 5, 1-9, (Epub ahead of print), Rome, Italy
6. M. O'Brien, B. Holmes, S. Faucett, and L. G. Zhang (2014), “Three-Dimensional Printing of Nanomaterial Scaffolds for Complex Tissue Regeneration”, *Tissue Engineering Part B*, 00, 1-12, Mary Ann Liebert Inc, Washington
7. Bajaj, R. M. Schweller, A. Khademhosseini, J. L. West, and R. Bashir (2014), “3D Biofabrication Strategies for Tissue Engineering and Regenerative Medicine”, *Annu Rev Biomed Eng*, 16, 247-276, Annual Reviews, Urbana, Illinois
8. Hocha, G. E.M., T. and K. Borchers (2014) “Bioprinting of artificial blood vessels: current approaches towards a demanding goal”, *Eur J Cardiothoracic Sur*, 46, 767-778 European Journal of CardioThoracic Surgery, Stuttgart, Germany
9. Linning (2014), “Indian cancer patient forced to have his upper jaw removed gets entirely new set of teeth built by a 3D printer”, *MailOnline* www.headline1.com, Bangalore, India (updated at 11/11/2014)
10. Singh (2014), “Making 3d printed ears for disfigured children”, *BBC news* www.bbc.com (updated at 11/11/2014), London, UK
11. Claude (2014), “Treating severely burned people with 3D printing is now possible with PrintAlive Bioprinter, a Canadian prototype

that prints bandages that resemble human skin”, *Makery*
www.makery.info (updated at 11/11/2014), Toronto, Canada

Coupling DNA nano-breadboards to solid state conductors

DNA is not only a most extraordinary information storage medium: the programmable pairing of DNA single strands into precisely engineered, connecting double helices make it an extremely appealing material for assemblage of nanoscale architectures. This is the basis of DNA nanotechnology, and designing almost any structure made of DNA at the nanometer scale, decorating it with a variety of functional molecules, and accomplishing it by virtually inexpensive self-assembly, is already a reality in many research laboratories in the world. But can we extend the range of applications of this technology by coupling DNA grafted molecular electronic nanocircuitry to solid state devices, and interface molecular smart functions to our senses? This challenging research is addressed by a collaborative research among ENEA, the Universities of Roma Tor Vergata and Aarhus, and the CNMS of the Oak Ridge National Laboratory. The first results obtained by our consortium pave the way to the technological ability to interface and use completely self-assembled, DNA-based electronic nano-breadboards, endowed with ultra-high-density functional organic components

DOI: 10.12910/EAI2015-064

L. Wang, C. Dalmastrì, L. Mosiello, B. Rapone, S. Retterer, A. Krissanaprasit, K. Gothelf, P. Morales

Liqian Wang^{1,2}, Claudia Dalmastrì¹, Bruno Rapone¹, Scott Retterer⁴, Abhichart Krissanaprasit³, Kurt Gothelf³, Piero Morales^{1,2},

¹*ENEA, Casaccia Research Centre, Rome, I*

²*Centro NAST, University of Tor Vergata, Rome, I*

³*cDNA Center, University of Aarhus, DK*

⁴*Center for Nanoscale Materials Science, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN (USA)*

Introduction

Recent advances in DNA nanotechnology have demonstrated the wide range of possibilities offered by the self-assembly of carefully programmed DNA sequences into functional nano-architectures (Box “DNA and DNA nanotechnology”). Two main approaches to the self-assembly of DNA-based nano-architectures have been explored: one is based on the hierarchical assembly of “tiles” of different shapes and complexities into more complex structures via the use of suitably designed, protruding single strands (the so called “sticky ends”) [1,2]; this means building by basic bricks within a wide range of typologies [3-8]. A more recent approach is based on folding a long DNA single strand at selected locations by using short single strands to “staple” it in shape [9]; by analogy to the Japanese art of paper folding, this approach has been defined “DNA origami”. Indeed, this method has supplied the most attractive shapes at the nanometric scale, as demonstrated by countless Atomic Force Microscopy (AFM) images of both bi- and three dimensional constructs with typical sizes of a few tens of nanometers. Figure 1 shows a limited collection of such architectural images. Uses of a hybrid tiles-origami approach were also envisaged [10].

DNA and DNA nanotechnology

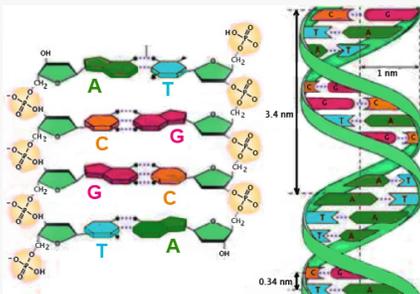


FIGURE B1 - Left: a single strand of deoxyribonucleic acid (ssDNA),

DNA is not only the gene encoder of living systems but also an excellent nanoconstruction material. Based on the exact base pairing specificity, DNA naturally assumes the well-known double helix conformation (double stranded DNA, or dsDNA),

represented with molecular details. Center: a schematic representation of the double strand DNA, with two hydrogen bonds within the A-T pair and three within the G-C pair. Right: the double helix, and the relevant sizes which determine the maximum resolution in the assembly of DNA nanoarchitectures

which guarantees its exact replication and expression.

Similarly, based on the same binding interactions, the intelligent programming of DNA nucleotide sequences (ssDNA) will result in an infinite variety of more complex DNA structures. This concept is at

the base of DNA nanotechnologies [1].

The creation of DNA nanostructures requires modeling of DNA motifs, and specific sequence design of all ssDNA chains in the model, providing them with sticky ends with specific complementarity to make self-assembly of DNA architectures possible [2].



FIGURE B2- Left: the sticky end concept. Center: a three arms junction. Right: a four arms junction with sticky ends

Therefore, DNA-based, bottom-up fabrication exploits the intrinsic molecular properties of nucleic acids to direct the self-organization of helices into programmable shapes. Both 2D and 3D architectures can be artificially built, in spite of the simple structure of natural dsDNA

macromolecules by using the “sticky end” concept (Figure B2.left.).

The structural complexity needed for their formation is obtained by branched junction motifs, with double-helical arms that radiate from a focal point (Figure B2, center and right).

These are structural analogues of the Holliday junctions found in the natural genetic recombination complex, and give sufficient stability and rigidity to allow the formation of large molecular lattices. In principle one could use these simple ideas to build large periodic structures as sketched in

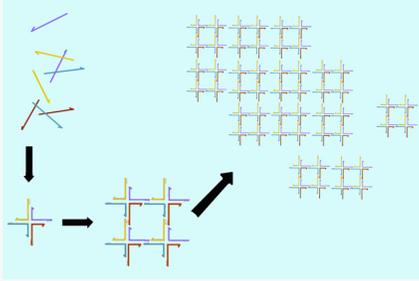


FIGURE B3 - Bottom-up building of a large periodic DNA structure. Different oligonucleotides match together in cruciform “tiles”; these, via their programmed “sticky ends”, assemble in squares and further in larger meshes

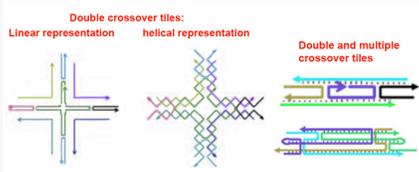


FIGURE B4 - Double and multiple crossover tiles. Left: cruciform tiles. Right: linear tiles

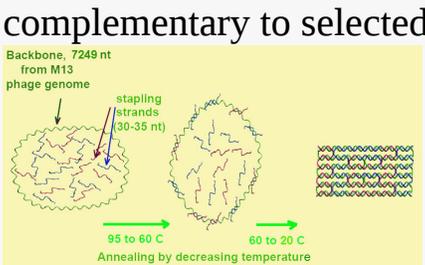


Figure B5 illustrates the concept. **FIGURE B5** A sketch of the DNA origami concept

Since this type of assembling fails due to the flexibility of junction regions, double and multiple crossover “tiles” are then exploited, and the 4×4 cross-tiles are among the most versatile DNA motifs. Each tile is obtained by assemblage of 9 single strands (20-100 nucleotide long), and consists of 4 four-arm junctions (see Figure B4) which can assemble into uniform 2D lattices [3].

Alternatively, a more recent method, the so called “DNA origami”, can be used, where the circular genomic DNA from the M13mp18 bacteriophage -the scaffold- is folded by means of over 200 oligonucleotides staple strands, which are 30-35 bases long and complementary to selected tracts of the phage genome, in order to hold it in the desired shape[4]. Pros and cons are present in both approaches. Tiles can be made more rigid by multiple crossovers and can be assembled in one or more steps, which allows to introduce the site-specificity of functional locations, but requires careful control of the stoichiometry of the different

oligonucleotide components. On the contrary, stapling oligonucleotides are introduced in the solution in large excess with respect to the M13 DNA backbone concentration. In addition, temperature management is crucial in the stepwise self-assembly required for tiles and can seriously affect the stability

of DNA intermediate structures and successive steps, whilst this problem is overcome in the one-step origami synthesis.

References

1. N. C. Seeman (2007): “An Overview of Structural DNA Nanotechnology”. *Mol Biotechnol* 37, 246–257
2. C. Lin, Y. Ke, R. Chhabra, J. Sharma, Y. Liu, and H. Yan (2011): “Synthesis and Characterization of Self-Assembled DNA Nanostructures”, in: Giampaolo Zuccheri and Bruno Samorì (eds.), *DNA Nanotechnology: Methods and Protocols*, Chapter I; *Methods in Molecular Biology* 749, 2011 DOI 10.1007/978-1-61779-142-0_1, © Springer Science+Business Media, LLC 2011
3. H Li, J. D. Carter and T. H. LaBean (2009): “Nanofabrication by DNA self-assembly”. *Materials Today* 12, 24-32
4. Rothmund, P. W. K. (2006): “Folding DNA to Create Nanoscale Shapes and Patterns”. *Nature* 440, 297–302

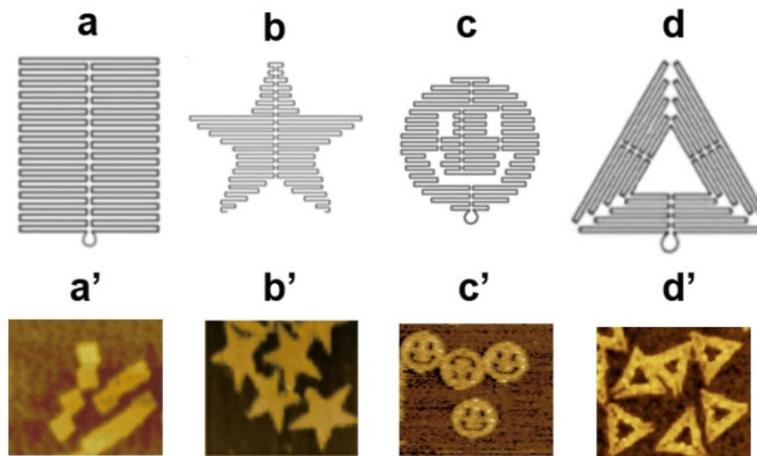


Figure 1 - Examples of bidimensional architectures assembled by the DNA origami technique. The upper row shows the origami design, due to P. Rothmund, of a few geometric figures, while the bottom row shows real Atomic Force Microscopy images. More complex shapes can also be obtained by combination of these simple geometries. The lateral size of these structures is below 120

nm. The present work has used the simple DNA origami shown in a and a'. See also ref. 9 for other planar geometries

Beyond applications in nanomedicine, research is aiming at the applications of functional properties of DNA nanostructures in devices such as DNA nanoarrays for genomics and proteomics, nanosensor arrays for contaminants and toxins, and more generally in nanobioelectronics, where individual functional molecules must be addressed. Even if the power of DNA to create complex nano-sized shapes was largely demonstrated, very few works have dealt with the exploitation of such nano-architectures by organizing them in a useful order and establishing a technology to make them addressable and interfaced to solid-state, usable devices. A few attempts have aimed at organizing DNA origami on hydrophilic patterns on silicon oxide substrates [11]: the group of H. Yan produced an addressable network of DNA origami tubes bridging gold nanopillars (NPs) organized onto a silicon oxide substrate [12]; another important approach is due to Tuukkanen and colleagues [13], who immobilized individual DNA double strands between nanoelectrodes by driving them via dielectrophoresis. Our work aims at the possibility of using DNA nanostructures as “breadboards” for self-assembly of organic or biomolecular electronic components to be individually addressed. While recent important work has demonstrated the possibility of immobilizing individual protein molecules on selected locations within individual DNA nano-architectures [14-16], in order to complete the multiscale process we aim at organized immobilization of individual nano-architectures on electrically connected locations at the 10-100 nm scale. We have chosen the simplest DNA origami structures due to the high assemblage yield of DNA breadboards and to the possibility of endowing our breadboards with selective connecting pegs every 5-6 nm. These connecting structures are extensions of the “stapling” DNA sequences that hold together the flat breadboard; such extensions, if carefully programmed, are available for hybridization with a complementary sequence, such as a DNA aptameric sequence, or may be chemically conjugated to a protein component. Figure 2 shows the analogy between conventional electronic breadboards and our idea of a “DNA breadboard”.

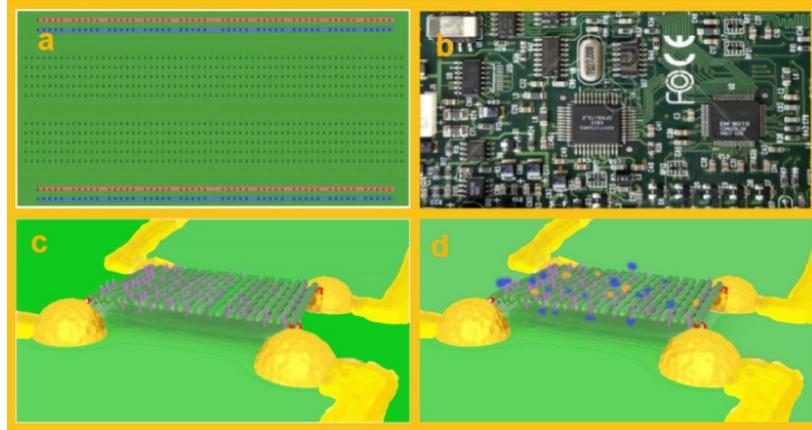


FIGURE 2 - Analogy between fiberglass breadboards for conventional electronics and DNA nano-breadboards for molecular electronics. a): fiberglass breadboard for electronic components assemblage; b): a fiberglass breadboard filled with soldered electronic components; c): an artist's view of a DNA origami nano-breadboard, with sequence specific DNA "soldering pegs" in pink, immobilized onto gold conductors (in yellow) via thiol bonds (red); d): the DNA breadboard with specifically attached, functional proteins (in blue and orange) on their anchoring pegs

The high resolution with which individual functional organic molecules can be positioned on the breadboard, the fact that the breadboard itself is self-assembled in solution starting from selected DNA sequences, and can spontaneously anchor onto the gold connectors, and the ability of molecular components to self-assemble onto the breadboard (a virtually inexpensive process!) make the DNA nano-breadboards idea extremely appealing for the achievement of future molecular electronic devices. We are thus investigating the feasibility of the process by suspending DNA origami nano-breadboards across groups of four gold NPs, fabricated by electron beam lithography (EBL) at addressable coordinates on a silicon oxide substrate. This requires, on the one hand, the most advanced inorganic nanofabrication skills, in particular EBL, and on the other the ability to design DNA and DNA-protein architectures based on programmed single strand sequences. Finally, it requires fine control of the hybrid system self-assembly in solution, and advanced characterization techniques.

Experimental

Anchoring nanopillars

Nanofabrication of the gold NPs used the 100keV Jeol 9300 electron beam lithography of the nanofabrication facility of CNMS Oak Ridge National Laboratory. The principles of EBL can be found in [17].

A 30 nm layer of 495K atomic mass units PolyMethylMethAcrylate (PMMA) is spin-coated on oxidized silicon substrates, and baked at 180 °C for 5 min. The coated specimens are then exposed to the 100keV beam with 2 nA filament current and nominal spot size of about 4 nm. A development step of 60 s in IPA (IsoPropyl Alcohol): MIBK (Methyl IsoButyl Ketone) (3:1), rinsing with IPA, and finally blow-drying with nitrogen, follow. A thermal metal evaporator deposits a 1.5-2 nm thick chromium underlayer to enhance gold adhesion, followed by deposition of the gold layer with programmed thickness. The lift-off step is achieved by immersion in hot NMP 1165 (n-Methyl Pyrrolidone) for 1 hour; specimens are then further cleaned in acetone and IPA.

Before use, our NPs were characterized by AFM and by Field Emission Gun Scanning Electron Microscopy (FEG-SEM) to check for sizes, distances and large area repeatability.

Figure 3 shows 22-30 nm wide NPs as characterized by both AFM (a,b) and FEG-SEM (c,d).

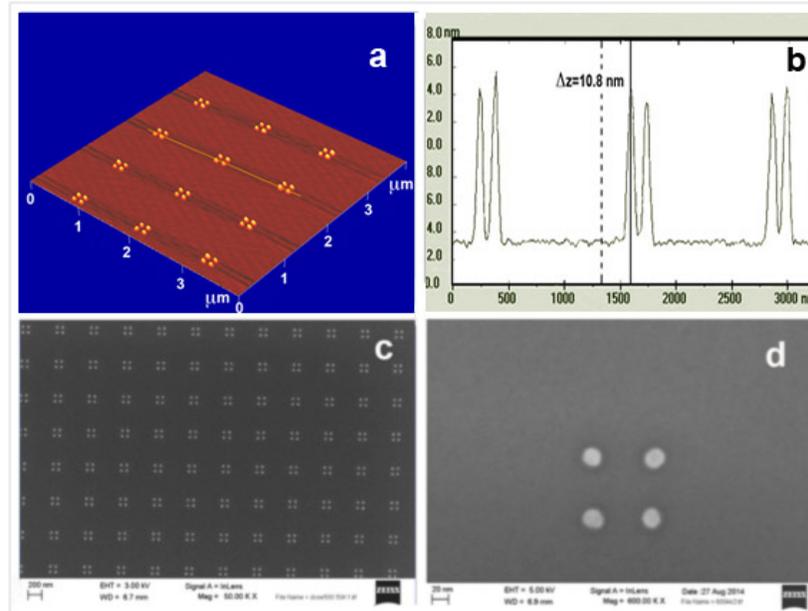


FIGURE 3 - AFM and Scanning Electron Microscopy (SEM) characterization of the anchoring gold nanopillars groups fabricated by Electron Beam Lithography. In (a) and (b) AFM characterization shows extremely clean profiles and good repeatability of a limited number of devices; by convention in AFM, higher topographic values are represented in lighter color, lower ones are darker. The SEM image in (c) shows this repeatability on a tenfold higher number of devices, while (d) is the SEM characterization of a typical single device, having dots around 20-25 nm in diameter

Since the average measured lateral size of our origami breadboards is approximately 80 nm, we have aimed at obtaining NPs with this spacing; SEM characterization of our fabricated structures shows an average spacing of 81 nm. Each group of four NPs is exactly spaced 500 or 1000 nm (depending on the desired density of devices) from the nearest neighbours, and there are 100x100 groups of four dots in each square array. This type of arrangement is shown in Figure 3 (a, c). Array position on the silicon oxide chip is nanometrically determined via a set of position markers; once the markers coordinates are known, each of the 10^4 groups of four NPs can be easily addressed. NPs of different heights, ranging from 4 nm to approximately 12 nm, have been fabricated allowing for different distances of the immobilized origami from the substrate surface.

Assembly of DNA origami breadboards

In this study, we have used the rectangular DNA origami of Figure 1a [9]. The structure is self-assembled from the 7249 nucleotides ssDNA of the M13 bacteriophage and 224 short (30-45 nucleotides) synthetic “stapling” oligonucleotides that have complementary sequences to selected tracts of the backbone. Self-assembly was obtained at the ENEA Casaccia laboratories by slowly cooling the DNA mixture from 80 °C to 15 °C in 3 hours in an Eppendorf Mastercycler machine through the following temperature profile: 25 steps to gradually decrease the temperature from 80 to 55 °C ($\Delta T = 1$ °C every minute); 10 steps from 55 to 45 °C ($\Delta T = 1$ °C every 3 minutes); 30 steps from 45 to 15 °C ($\Delta T = 1$ °C every minute). The two staples at each corner of the rectangle were replaced by the same sequences, previously extended with disulfide modified poly-thymine chains (5 or 10 base long: 5T or 10T, respectively, purchased from Sigma Aldrich), to have the availability of thiol bonds at each corner attaching the nanoboard onto the gold NPs. The thiol groups attach approximately 5-10 nm from the corners of the origami along the shorter side. Both the assembly of DNA origami and the incubation on gold NPs are performed in a buffer solution (1xTAE- Mg^{2+}) containing $MgCl_2$ at different concentrations. A careful AFM study of our rectangular DNA origami, adsorbed on both mica and silicon oxide surfaces and thoroughly dried, has been performed aiming at a better understanding of the images of suspended DNA nanoboards.

Figure 4 shows the scheme of the backbone folding and the AFM characterization, in dry condition, of a group of self-assembled DNA origami nanoboards adsorbed on the flat surface of newly cleaved mica.

Most of these origami have a nearly square appearance instead of the rectangular shape observed in solution, suggesting a role of water and Mg^+ ions in the dsDNA interchain spacing of the origami board. The imaged origami have a measured thickness of about 1.9 nm, which is perfectly compatible with the expected thickness of the DNA double helix (see box 1), while their average size is 74×70 nm².

We also report, in Figure 5, a few examples of DNA origami adsorbed on the SiO_2 substrate close to some groups of four NPs. Figure 5 confirms visually the size compatibility between the approximately 70-

80 nm sized origami and the 81 nm NP average spacing. The average size of the SiO₂ adsorbed origami from 24 different images is 70x81 nm².

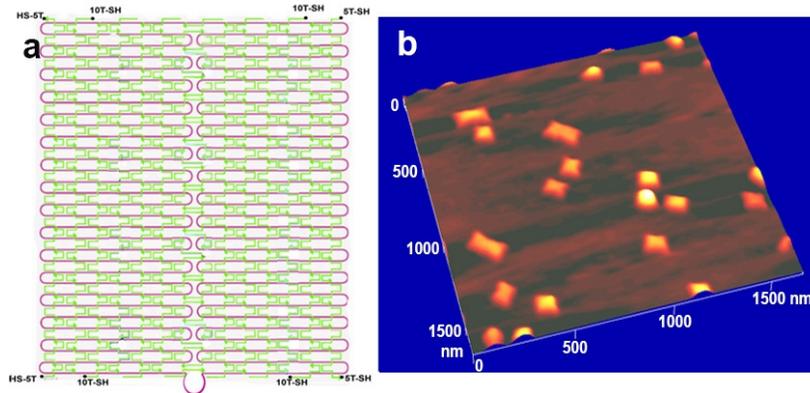


FIGURE 4 - a) Scheme of the DNA origami folding. The single stranded phage genome is depicted in red, while the 224 stapling oligonucleotides, approximately spaced 5-6 nm from each other, are in light green. The 5 or 10 base long chains bearing the sulphur atoms necessary for bonding on gold nanopillars are also shown. b) 3D rendering of an AFM scan of such DNA origami boards, randomly dispersed on a flat mica surface. Some origami structures joined side by side are also observable. Light colours are for high topographic values, dark colours for low ones

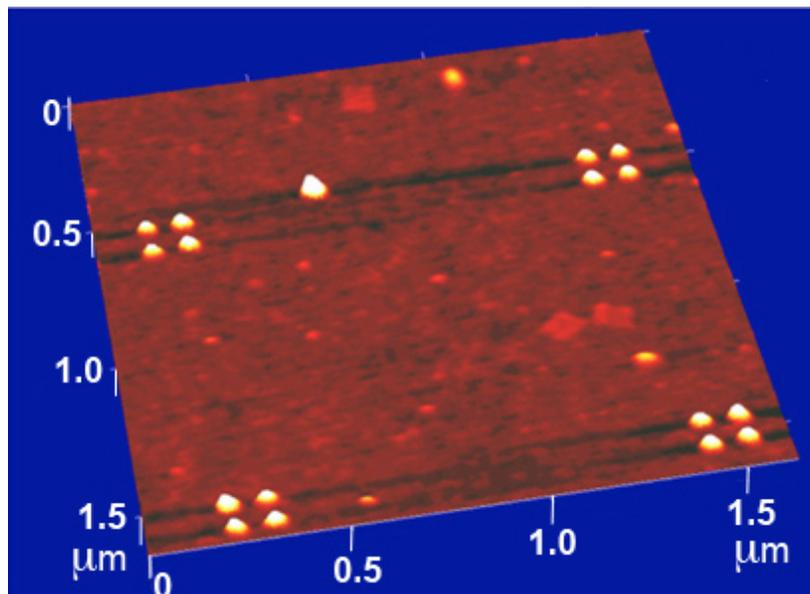


FIGURE 5 - AFM 3D rendering of DNA origami nanobreadboards adsorbed on a naturally oxidized silicon wafer surface on which sets of gold anchoring NPs have been fabricated by electron beam lithography. The 80x80 nm approximate spacing of the four gold dots supplies visual information on the size compatibility between

the inorganic anchoring components and the organic DNA breadboards. Same colour convention as for previous AFM scans

Incubation of origami solution on the nanopillars array

The silicon dioxide substrate surface is negatively charged, like the phosphate groups of the DNA backbone. To make adsorption possible, either on the silicon substrate or onto the gold nanopillars, the concentration of positive counterions, supplied by the dissociation of magnesium chloride in the water solution, must be adjusted. Fully neutralized charges will lead to adsorption of origami mostly on the substrate, while only partially neutralized charges, due to lower concentrations of positive Mg ions, will favour binding on the gold nanodots via the thiol bonds. We found that at a MgCl₂ concentration between 75 and 100 mM, the amount of DNA origami binding on the NPs is maximized. We thus incubated 1 µl droplets of 5 nM origami solution on our NPs arrays for 40 hours in a saturated humidity chamber, then rinsed the wet specimen in ultrapure water three times before drying it in a flow of purified dry air.

Results and discussion

Specimens dried after incubation with the origami solution were characterized by AFM, which allows for precise measurement of the z coordinates of our organic/inorganic construct. Additional reliability in the x,y size determination is due to the 81 nm spaced anchoring pillars (measured by both AFM and SEM), which serve as calibration standards against possible thermal drifts or piezoceramic creep, extremely important at such small sizes.

Figures 6 and 7 report a wide collection of AFM images of different immobilized origami breadboards, correctly anchored across their supporting NPs, while Table 1 reports data on the sizes and on size distributions of the gold anchored breadboards, and of those adsorbed on both mica and SiO₂ substrates.

We can see that the rectangular shapes of the suspended origami are in most cases remarkably neat, although, as expected, the measured sizes are affected by a large fluctuation.

The average size over 31 different suspended origami (weighted average of $\langle L \rangle$ and $\langle l \rangle$ in lines 5 and 6 of Table 1) is $78 \times 65 \text{ nm}^2$, slightly smaller than the mean size of those adsorbed on SiO_2 with standard deviations ranging between 10% and 17% of the mean value, against 10-11% of the silica adsorbed ones and 3-4% of the mica adsorbed ones.

TABLE 1

Average dimensions of DNA origami imaged on mica and SiO_2 , and suspended across NPs

n.	DNA origami on:	$n^{[a]}$	$\langle L \rangle$ (nm)	σ (L) (nm)	$\langle l \rangle$ (nm)	σ (l) (nm)	Aspect ratio (l/L)	$z_{\text{origami}}^{[b]}$ (nm)	$z_{\text{origami}}/z_{\text{NPs}}^{[c]}$
1	mica (in air, individual)	14	74	2.3	70	1.7	0.92	1.8	--
2	mica (in air, end-stacked)	5	73	1.5	69	2.8	0.95	1.9	--
3	mica (in buffer)	8	97	3.3	75	2.9	0.77	1.4	--
4	SiO_2 (in air)	24	81	8.3	70	7.8	0.86	1.6	--
5	tall NPs ($>8 \text{ nm}$) (in air)	8	87	14	72	17	0.87	6.5	0.67
6	short NPs ($<8 \text{ nm}$)(in air)	23	75	11.4	63	10.0	0.84	5.1	0.80

[a] Number of characterized origami, [b] Height of origami upper face above the SiO_2 surface, [c] Height of origami relative to height of NPs.

σ is the standard deviation of the data. L is the length of the longer side of the origami, l is that of the shorter side. $\langle \rangle$ stands for average values

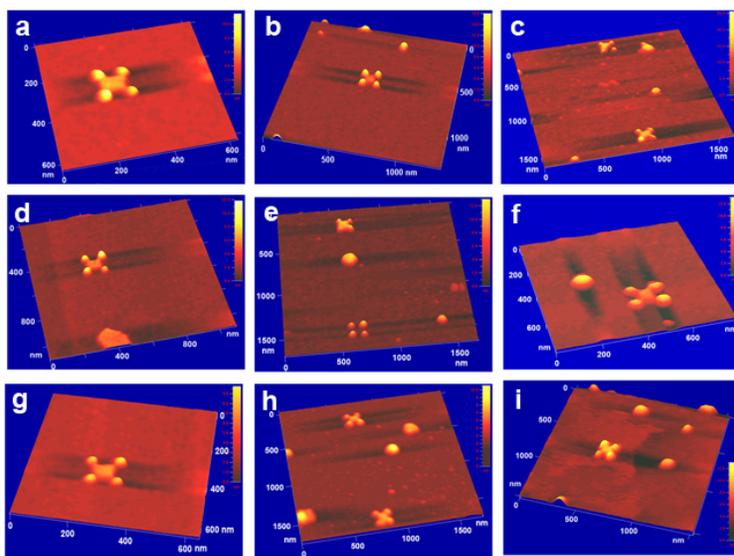


FIGURE 6 - 3D representation of AFM scans on several examples of DNA origami thiol bonded on gold NPs. $MgCl_2$ concentration, supplying positive counterions to neutralize negative charges on both the DNA origami and on the SiO_2 surface, is 75 mM, and at this concentration we observe very few origami adsorbed on the Si surface out of the gold NPs. Note the neat rectangular shape of most immobilized nanostructures. In (c) a gold immobilized triangular shape at the top of the scan can be interpreted as a breadboard folded along the diagonal

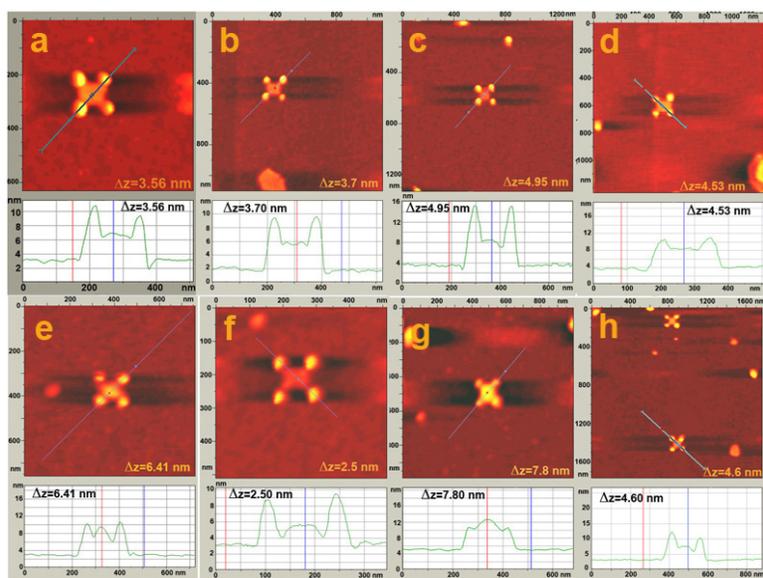


FIGURE 7 - Bidimensional representation of AFM scans on more DNA origami immobilized on gold NPs. Sections along the diagonal of the NPs sets are reported below each image, with

indication of the z coordinate of the origami upper surface. Most nanoboards are suspended well above the substrate surface except for the one reported in (f), which is almost lying on the silicon oxide surface

Such size variability is probably to be referred to random damage of the outer ridge of the board by the tapping probe when the structure is not well adhering to the substrate or, even more, when it is suspended. We can also see that the average aspect ratio of the suspended origami is similar to that of the silica adsorbed ones (l/L around 84%) and that most of the suspended boards are very slightly convex. We have also observed that the height of suspension of the boards above the substrate changes with respect to the height of NPs. The average relative z position ($z_{\text{origami}}/z_{\text{NP}}$) of the origami is higher for shorter NPs (0.80 of the NPs' peak) and lower for taller ones (0.67, see last column of Table 1), against an expected value of 0.85-0.90 for both; this is the expected value for the upper surface of a 70 nm rigid board sitting parallel to the substrate between two 80 nm spaced, gaussian-shaped pillars of 20 nm FWHM. We observed, instead, that the origami set at about 5-6 nm from the substrate.

This can be visualized in the profiles in Figure 8: a slightly repulsive force from residual negative charges on the substrate and on the DNA phosphates may prevent the origami from sticking or approaching too closely to the substrate while finding an equilibrium minimum distance that may vary from site to site due to fluctuation in the charge distribution. Thus, the best counterion concentration (75-100 mM MgCl_2 in our experiment) is confirmed as an important issue for correct docking.

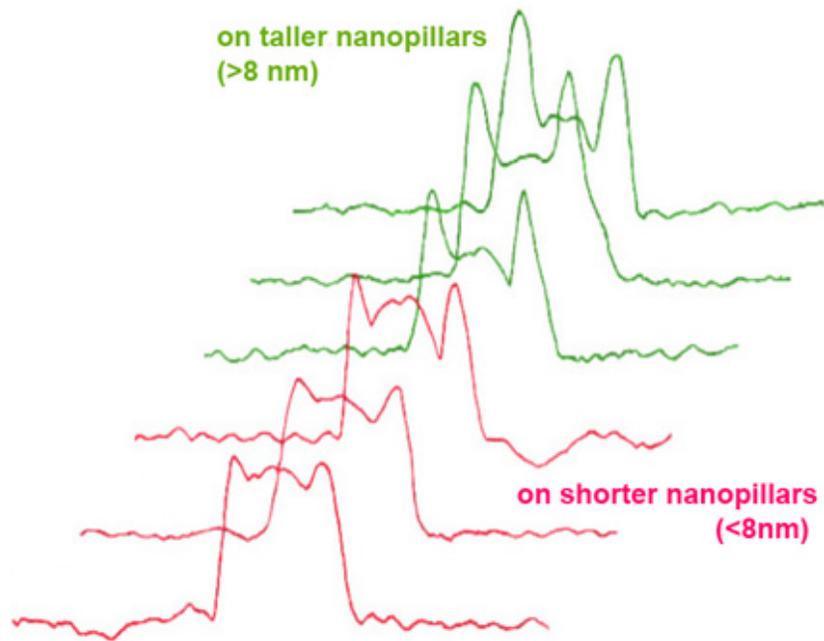


FIGURE 8 - Section profiles, along the diagonal line across anchoring nanopillars, of the immobilized DNA origami nanoboards. The average distance from the substrate is only slightly higher for origami on the taller NPs (green profiles), so that the nanoboards appear to “sink” among the tall ones, and to “float” among the short ones. See also Table 1, last column

While we would expect suspended DNA origami to be damaged by the tapping AFM probe, we observed that they maintain their shape and z coordinate even after repeated scans. To investigate this unexpected finding, we have increased the momentum transferred to the origami by strongly increasing the probe oscillation amplitude; no appreciable damage or lowering of the origami resulted, not even when the transferred impulse was such that the gold nanopillars were dismantled down to the level of the rectangular origami (see Figure 9a,b).

It thus appears that the nanoboards are firmly supported from below; indeed, due to the small volume of the solution trapped between the nanoboard and the substrate, and to its lower convection speed, nucleation of the buffer salts may occur even at a concentration much lower than the saturation one: this may produce precipitation nuclei supplying a strong mechanical support to the otherwise soft DNA boards. AFM measurements in solution are being performed to further

investigate this issue. Work is in progress to devise methods to dissolve the nucleated salts trapped below the origami breadboards.

Although we often observe two or three origami docked on neighbouring NP groups (see, e.g., Figures 6h and 7h), most correct dockings are spatially isolated and random. At 75 mM concentration of MgCl_2 , origami adsorption on the SiO_2 surface is a rather rare event, but the more frequent occurrence of correctly anchored origami on nanopillars is only of the order of 10% of the available locations; such low figure is consistent with the results obtained by Yan and coworkers [12] for DNA origami nanotubes on larger nanodots, where they observed a drop in the anchoring rate on decreasing the gold dots size below 80 nm. Being the nanometric size of the connecting NPs essential to our work, we are currently devising advanced methodologies to drive origami more efficiently to their designed locations.

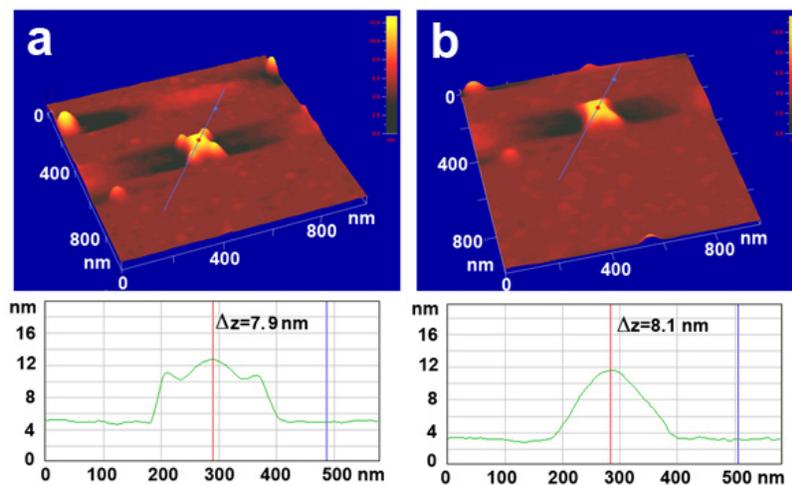


FIGURE 9 - 3D representation, and section profiles along the displayed blue lines, of the anchored DNA origami shown in Figure 7g. (a) as normally imaged by AFM gentle tapping; and (b) after 3 scans with strong impulse transfer (increased cantilever oscillation amplitude). In (b) the gold nanopillars have been dismantled by the “hammering” probe, while the height of the origami remains the same

Conclusions and perspectives

We have demonstrated the first fundamental step enabling the use of DNA origami breadboards for self-assembling molecular electronic systems, i.e. the possibility of anchoring DNA nano-breadboards onto electrically-conductive nanopillars. The origami technique gives us the possibility, for the type of breadboards used in this work, to self-assemble organic components with a resolution of about 6 nm. We have also demonstrated the possibility of suspending origami across tall nanopillars (in the range of 8-15 nm). If the space between the suspended origami and the substrate is clear, this may be exploited to obtain DNA breadboards for dual face organization of components; for the DNA origami used in this work, we can imagine up to about 400 organic components for each device of approximately $70 \times 80 \text{ nm}^2$. We need however to explore methods to avoid nucleation and coalescence of buffer salts nanocrystals under the boards.

The most important envisageable advantage of this methodology is certainly its use for cheap self-assembly of complex architectures of organic components on truly nanometrically selected locations, simply by the careful design of the DNA sequences. It should be remarked however that, as shown, a process based only on random docking of origami on their gold anchoring nanopillars has a rather low rate of occurrence and does not ensure site selectivity nor even geometric positional or angular precision. On the contrary, the observed low yield of correctly docked nanoboards is largely due to the small size of the anchoring nanopillar, which is a necessary issue of any nanotechnological approach. An important extension of this research will therefore be directed to increasing the yield of binding on even smaller (but still technologically feasible) anchoring pillars by electrical methods exploiting electrically connected NPs. This will also allow site-specific immobilization of nano-breadboards by the sequential introduction of different DNA origami. Furthermore, as a next step, site-selective docking of individual organic components within each nanoboard will exploit the specific binding capabilities offered by small DNA aptameric sequences, which can be easily hybridized to the extensions of the origami stapling oligonucleotides.

Risk perception versus seismic risk: An introduction

A seismic event generally has consequences on the social relationships, economy and culture of the impacted territory. As Mary Douglas quotes, a change into the social perception of risk as consequence of an earthquake may have effects on the lifestyle of the local community. The above mentioned statement is the starting point of this article. Illustrating the difference between peril and risk is the second point. According to the Aristotelian theory of categories, risk can be considered as a human characteristic depending on social and cultural factors. Risk is here intended as a social category and cannot be de facto reported as a statistical or stochastic function based on a mathematical formula, as long assumed in the past. This approach, then, requires a deep revision. In this sense, and following the concept of risk perception, seismic risk is analysed in this article in terms of impacts, precautionary measures, risk assessment and management. Knowledge of this topic cannot be intended as a simple philosophical exercise, since right on awareness depend risk reduction, humans and goods too

DOI: 10.12910/EAI2015-065

F. Cubeddu

Francesca Cubeddu

Master degree in Sociology, Applied Social Science, "Sapienza" University of Rome. The thesis has been developed in ENEA, tutors Gaetano Borrelli and Paolo Clemente

Contact person: Francesca Cubeddu
francesca89cubeddu@gmail.com

Risk definition and risk perception versus seismic risk

Risk consists in the probability of an unfortunate event multiplied by the size of its consequences in time.

The Webster's Third New International Dictionary, in fact, defines risk as *the possibility of loss, injury, disadvantage, or destruction: contingency, peril, danger, threat (the infinite care and ~ which are involved in the dangerous mission of bomb disposal) (foreign ships and planes refused to run the ~ of attack).*

Risk, as a probabilistic measure of future adverse effects, cannot be regarded as a property or characteristic of an object, since: (i) there is no social definition of "harmful or beneficial effects"; (ii) there is no agreement of how to aggregate different adverse effects into one; (iii) secondary effects delayed in time may occur as a consequence of a primary loss and they have to be taken into account.

Thus the technical concept of risk looks at society as an "amorphous body" in which values and expectations are not different. The lack of social context in the technical definition of risk has been noted by many social scientists and also by many engineers who manage risk assessment (R.B. Cumming, 1981). There is a need to integrate the technical analysis of risk with cultural, social and individual responses, because risk events interact with these processes and determine public reactions.

On the other hand, we can affirm that public reaction to risk is in the spirit of modern democracies. In fact, the political class must take into account public opinion also in the case of opposition to the decision process. We can affirm, following Voltaire, that the possibility to express disagreement is the essence of democracy.

This matter is engaging many institutions (academia, experts, bureaucracies, etc.) and is giving new intellectual stimulus to help society to find out a new way of living together with risks. These problems have been faced by the governments of industrialized societies in the last 20-30 years. Their presence carries a confrontation between policies of development on the one side and of environmental safety, security and quality of life, on the other.

From the viewpoint of social science, the concept of risk contains a large part of uncertainty depending on its perception, management and communication.

“Risk estimates are uncertain, are described in technical language, and are outside the general understanding or experience of most people. Perception plays a crucial role, tending to exaggerate the significance, for example, of risks that are involuntary, catastrophic, or newsworthy” (McGraw-Hill Encyclopedia of Science & Technology, 2001).

In conclusion we can affirm that:

1. Perception of risk depends on the information people are exposed to, and it is therefore important to know the information that people have, that they choose to believe, and their degree of confidence in involved stakeholders as well as institutions, media and private opinion groups
2. The way of communicating these information is decisive in order to obtain greater awareness on energy, environment and technology
3. The risk becomes a “social construct” and we will assume this definition also for seismic events
4. *“Effective risk management therefore requires effective risk communication”* (see next paragraph; McGraw-Hill Encyclopedia of Science & Technology, pg. 505, volume 15).

Also the seismic risk is calculated with a formula of the algebraic product of local seismic hazard, seismic vulnerability and exposure:

$$R (\text{risk}) = L (\text{local seismic hazard}) * V (\text{seismic vulnerability}) * E (\text{exposure}).$$

Perception of risk is a very important and complex concept. It depends on the cultural and social dimensions of different social groups. That is why there does not exist any vision of risk that changes based on historical age and territorial dimension. In fact, if we ask to different social actors, in different situations and different periods, a comment on their risk perception, we will obtain different answers. Smoke, for example, is considered very dangerous today, more than 40 years ago.

Another important factor is the subject of the question: answers depend on the involved persons, i.e., an expert, a politician, or a member of public at large.

Risk is considered by M.W Merkhofer, (1987), as part of an analytical - decisional schema that includes responsibility for management of technological risk, taking into account the following four connected statements (here summarised):

1. The presence of a risk source that includes perils
2. The presence of an exposure that includes a relationship between risk and the individual
3. The presence of adverse effects due to the exposure
4. The presence of an individual and social evaluation about the importance, severity and iniquity of impacts.

The first three propositions concern the engineers' approach to the risk, which is based on the belief that the classification of risks includes the possibility for better safeguard and better decision support. The fourth statement emphasises the social acceptability of risk based on different belief, perception and a different associated importance. People have these "imperfect perceptions" because of different mental, cultural and value schemas present inside a societal body where everyone has a different mode of considering the same event.

Paul Slovic (2000), one of most important scientist on risk perception, affirms that social risk perception depends on mental, political, social, cultural patterns relevant in order to take political decisions on risk. According to Slovic, also risk voluntariness, control, possibility of catastrophes, equity and future generation damage must be considered into the political decision-making.

There is a substantial difference between information and communication inside risk studies. Nevertheless these words are used, also by experts, as synonymous. Generally speaking, the term information indicates an activity useful to transmit data from a subject to others in order to provide knowledge on a certain topic.

“In popular usage the term information refers to facts and opinions provided and received during the course of daily life: one obtains information directly from other living beings, from mass media, from electronic data banks, and from all sorts of observable phenomena in the surrounding environment. As a person uses such facts and opinions, he generates information of his own, some of which is communicated to others during discourse, by instructions, in letters and documents, and through other media. Information organized according to some logical relationships is referred to as a body of knowledge, to be acquired by systematic exposure or study. (The New Encyclopaedia Britannica, 2001)

Information is *de facto* a unidirectional process in which we may distinguish two or more actors: one has a certain number of data to transmit to others, who accept or refuse the information. There is no contact between the two parts.

In the term communication a set of social actions are embedded which involve a relationship among “partners”.

“Communication, the exchange of meanings between individuals through a common system of symbols, concerned scholars since the time of ancient Greece. Until modern times, however, the topic was usually subsumed under other disciplines and taken for granted as a natural process inherent to each. In 1928 the English literary critic and author L.A. Richards offered one of the first - and in some ways still the best - definitions of communication as a discrete aspect of human enterprise: Communication takes place when one mind so acts upon its environment that another mind is influenced, and in that other mind an experience occurs which is like the experience in the first mind, and is caused in part by that experience” (The New Encyclopaedia Britannica, pg. 623, volume 16).

The concepts of perception, information and communication of risk are useful to introduce the risk related to seismic events. In fact, the above mentioned definitions can be used, in theory, for environmental and technological risk perception, too, taking into account the differences in local situations. For example, same methodologies and approaches have been used in the past for assessing the perception of risk in the field of

desertification or of nuclear fusion. In any case, exchange of information and organisation of a communication process are crucial to creating the necessary awareness.

In case of a seismic event, exchange of information occurs among disaster experts and citizens. Because of its environmental nature, generally seismic risk communication is taken into account only in the presence of the event. For a large part of population living in seismic areas we can speak of a conscious acceptability of the risk that includes the potential economic, social and environmental damage, according to the following formula mentioned before:

$$R \text{ (risk)} = L \text{ (local seismic hazard)} * V \text{ (seismic vulnerability)} * E \text{ (exposure)}$$

where L is equal to site hazard, i.e. the measure of the attended seismic event in the specific site during a specific period of time.

Local seismic hazard is a characteristic of the territory non-dependent on the presence of population or goods. Local seismic hazard is evaluated based on historical and morphological characteristics. We can speak of two different categories of hazard: direct and indirect. The former depends on the probability of the seismic event in the area whereas the latter depends on the consequences (i.e. mudslides, landslides and soil liquefaction) that may be activated by an earthquake. Three indicators define seismic hazard in a probabilistic way:

1. *Historical*: it describes the characteristics of past events, their effects and the damage they caused. Information sources are seismic catalogues, earthquake stations, victims' census, caused injuries and, if possible, testimonies.
2. *Seismological*: it defines probable epicentres via the good knowledge of active faults and geotechnical properties of the impacted land;
3. *Geological*: it identifies the sites where seismic occurrence is frequent or "depressed".

The first and the second indicator are useful to build up macro-zoning, the third is useful for the evaluation of local risk and micro-zoning.

There is a fundamental difference between risk and peril, as mentioned above. Local seismic hazard (L), becomes risk when the seism can cause damage to persons and buildings. We speak of a peril when considering the seismic event and its consequences independently of the presence of humans and human artefacts.

Letter V of the formula indicates the seismic vulnerability of a structure and its probability to have a damage as a consequence of the seismic event. We can define vulnerability in the following way:

1. Direct vulnerability, connected to a single structure
2. Induced vulnerability, connected to the measure of negative impact on the territory and its infrastructures
3. Deferred vulnerability, which indicates the ratio between subsequent injuries due to the event and the first emergency taking into account the community behaviour.

In general, the vulnerability of buildings is represented by their attitude to suffer damage due to a seismic event considering their own structure characteristics. The vulnerability of a whole territory (i.e., a town, a Province, a Region) is represented by its attitude to suffer damage due to a seismic event taking into account its morphological and geological characteristics. The vulnerability of “man” is represented by the human nature, individual and social perception of risk, knowledge of the possible risks, possibility to receive information about them, possibility to manage them, presence or absence of emergency plans and preventive information. Hence, we can affirm that area vulnerability is strictly connected to population presence, demographic aspects and geological characteristics.

Letter E of the formula indicates the Exposure and is connected to the land use, i.e. distribution, house density, presence of infrastructure and its use, economic value of goods and, last but not least, value of human life. Considering all these factors, it is possible to hypothesize seismic risk reduction in the following way:

1. by localising new buildings in low-risk areas, reducing the induced vulnerability
2. by adjusting the pre-existing patrimony, and
3. by using a safer construction model.

Conclusion

The discussion on risk perception and risk communication is an important step also when it comes to communication related to seismic events. Also in industrial or environmental disasters such as, for example, Seveso's and Ilva (Taranto), the following aims must be taken into account:

1. the territorial articulation of the protection agency with the local community is indispensable in order to obtain the protection of the diffuse social interests
2. creating strategies for an active presence in the management of risk may be a decisive factor in order to minimise the negative effects of the seism
3. to design a first characterization of the contexts where the negative event has taken place, in order to know how the public administration and the local society have managed their territory and environment
4. to foster a deeper study of the local systems in order to single out the elements of the formation and dynamics of the local social preference on risk perception
5. do not consider in advance the possible local conflict as a negative or troublesome fact, but rather as an opportunity for its content of new knowledge, opportunity and learning: conflict and the social dialects are "democracy at work"
6. do not take for granted the territorially-competent public instruction (Region, Province, Municipality, Mountain community, and the State peripheral organs) as an exclusive representative of local interests, even if it is to be considered as a privileged interlocutor
7. to take into account that when a seismic event breaks into the local scene, it influences the relations among the various territorial

governmental institutions, generating an institutional impact that ought to be managed;

8. to provide communication based on a democratic model that includes a wider and wholly bidirectional communication. In order to achieve this, two conditions must be present: the precise intention of the transmitter to confront himself with the public (providing and acquiring knowledge as well), and ability and willingness by the public to evaluate the information for acceptance or refusal.

References

1. Bongiovanni, P. Clemente, M. Forni, S. Hailemikael, G. Martini, A. Paciello, D. Rinaldis, V. Verrubbi, A. Zini (2013), “Valutazione della pericolosità sismica: considerazioni”, *Energia Ambiente Innovazione*, 3-4/2013:2-9, ENEA, Roma
2. Borrelli, S. Sartori (1990), “Rischio tecnologico e interessi diffusi”, *Quaderni Studi ENEA*, ENEA, Roma
3. R.B. Cumming (1981), “Is Risk Assessment A Science?”, *Risk Analysis*, Volume 1: 1–3
4. Douglas (1985), “Risk acceptability according to the social sciences”, Russal Sage Foundation, New York
5. Tokyo Metropolitan Government (2010), “Earthquake Survival Manual”, Shinjuku-ku, Tokyo 163-8001
6. Ikeda (1986), “Managing Technological and Environmental Risks in Japan”, *Risk Analysis*, 6: 389–401
7. E.R. Kasperson (1986), “Six Propositions in Public Participation and their Relevance for Risk Communication”, *Risk Analysis*, 6:275-281
8. R.E. Kasperson, (Editor) (1991), “Communicating risks to the public”, Kluver Academic Publisher, the Netherlands
9. McGraw-Hill Encyclopaedia of Science & Technology (2001), volume 15, pag.505, United Kingdom
10. Merkhofer M.W., (1987), *Decision Science and Social Risk Management*, T. Reidel Publishing Company, Boston

11. Slovic P., (2000), *The perception of risk*, London and Sterling, Earthscan Publication
12. The New Encyclopaedia Britannica (2001), volume 16 pag. 623 e volume 21 pag. 617
13. Webster's Third New International Dictionary (2001)
14. A.M. Weinberg (1981), "Reflections on Risk Assessment", *Risk Analysis*, volume 1: 5–7