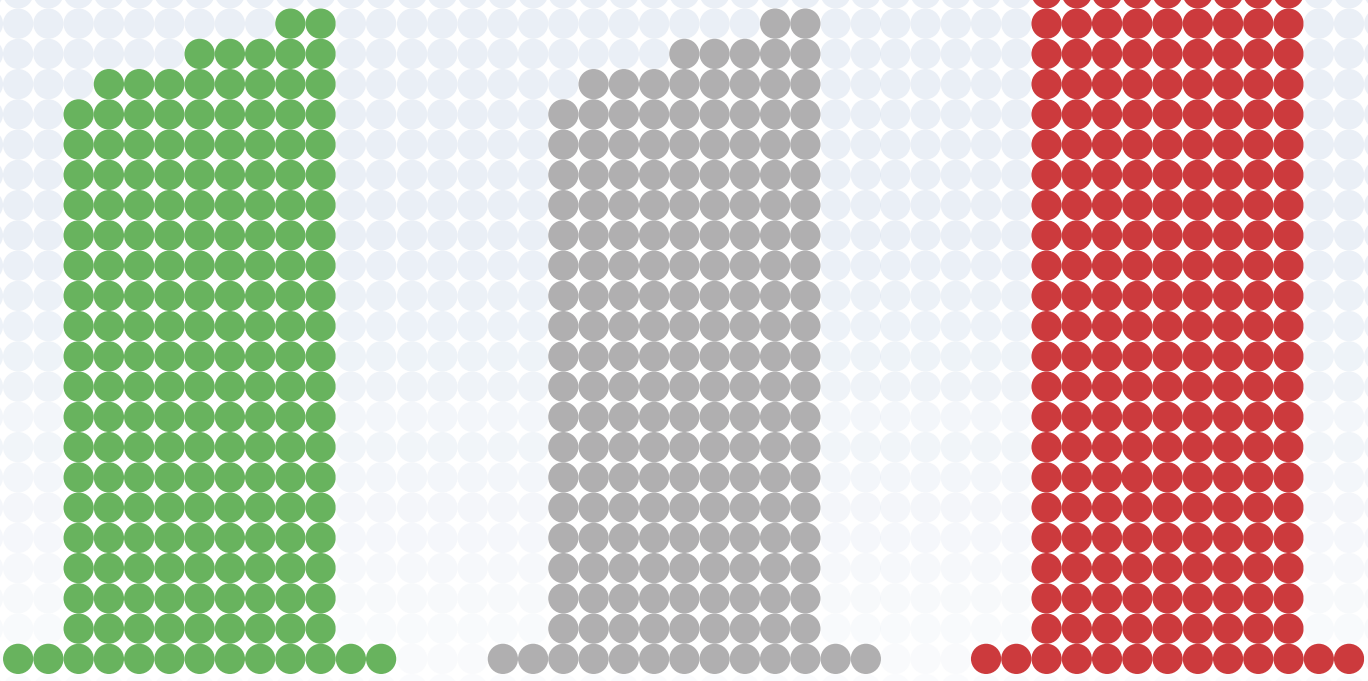
Roadmap per la ricerca e l'innovazione

Research and Innovation Roadmap

fabbrica intelligente

Roadmap per la ricerca e l'innovazione

Research and Innovation Roadmap



fabbrica intelligente

Copyright © 2015 Associazione Cluster Fabbrica Intelligente

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall’art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le fotocopie effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto.

Le richieste per tale tipo di riproduzione vanno inoltrate a:

Associazione Cluster Fabbrica Intelligente
Via Piero Gobetti 101
40129 Bologna
c/o ASTER S.Cons.p.A - CNR Area della Ricerca di Bologna
e-mail: info@fabbricaintelligente.it

Redazione: Gruppo Roadmapping CFI

Coordinamento editoriale: Gruppo Comunicazione CFI

Impaginazione e grafica: Dream s.a.s. - Torino

Prima edizione: dicembre 2014

ISBN 978-88-941014-0-9

Indice

Prefazione ... 3

Vision del Cluster Fabbrica Intelligente ... 6

La metodologia ... 9

1 L'analisi dei Megatrend ... 11

1.1 Il cambiamento demografico ... 12

1.2 Nuovi mercati emergenti ... 14

1.3 La scarsità delle risorse ... 17

1.4 Il cambiamento climatico ... 18

1.5 Accelerazione dell'avanzamento tecnologico ... 21

2 Lo scenario industriale italiano ... 23

3 La mappatura delle tecnologie abilitanti ... 27

4 La Roadmap del Cluster Fabbrica Intelligente 30

4.1 LI1: Sistemi per la produzione personalizzata ... 34

4.2 LI2: Strategie, metodi e strumenti per la sostenibilità industriale ... 40

4.3 LI3: Sistemi per la valorizzazione delle persone nelle fabbriche ... 47

4.4 LI4: Sistemi di produzione ad alta efficienza ... 52

4.5 LI5: Processi produttivi innovativi ... 59

4.6 LI6: Sistemi di produzione evolutivi e adattativi ... 66

4.7 LI7: Strategie e management per i sistemi produttivi di prossima generazione ... 73

Bibliografia ... 79

Contents

Foreword ... *3*

Vision of the Intelligent Factories Cluster ... *6*

The methodology ... *9*

1 Analysis of the Megatrends ... *11*

1.1 Demographic change ... *12*

1.2 New emerging markets ... *14*

1.3 Scarcity of resources ... *17*

1.4 Climate change ... *18*

1.5 Acceleration of technological progress ... *21*

2 Industrial scenario in Italy ... *23*

3 The mapping of enabling technologies ... *27*

4 Roadmap of the Intelligent Factories Cluster *30*

4.1 LI1: Systems for personalised production ... *34*

4.2 LI2: Strategies, methods and tools for industrial sustainability ... *40*

4.3 LI3: Factories for humans ... *47*

4.4 LI4: High-efficiency production systems ... *52*

4.5 LI5: Innovative production processes ... *59*

4.6 LI6: Evolutive and adaptive production systems ... *66*

4.7 LI7: Strategies and management for next-generation production systems ... *73*

References ... *79*

Prefazione

Il presente documento è il risultato di un intenso lavoro del Cluster nazionale Fabbrica Intelligente che ha visto la collaborazione di Imprese, Università, Enti di ricerca, Associazioni e propone la visione del Cluster sulle tematiche da affrontare con appropriate azioni di ricerca e innovazione per garantire il mantenimento e il rafforzamento della leadership industriale italiana.
Il documento è sviluppato in coerenza e continuità con le politiche di ricerca europee di Horizon2020 e in armonia con quanto definito nell'ambito delle Smart Specialization regionali. Propone un approccio congiunto top down/ bottom up: dai megatrend e dalla situazione nazionale con un approccio top-down si fanno discendere un insieme di sfide a cui le diverse linee di ricerca individuate possono dare una risposta, mentre con un approccio bottom up si associano le specifiche tematiche di ricerca proposte dai membri del cluster alle priorità di ricerca contenute nelle linee di ricerca.
Il documento è stato redatto dal Cluster come mission fondamentale per supportare gli associati e rispondere alle richieste dei Ministeri ai Cluster nazionali.
Il documento è stato consegnato, in particolare, al MIUR e al MISE come sintesi delle esigenze individuate da più di 300 membri del Cluster che sono tra gli attori più attivi a livello nazionale sulla tematica Fabbrica Intelligente, perché possano ispirare specifiche politiche e azioni a supporto della ricerca e innovazione. Viene anche proposto al MAE in quanto può costituire un punto di riferimento per definire politiche di collaborazione bilaterali o multilaterali con altri paesi sui temi della ricerca e innovazione. A livello europeo viene proposto alla Commissione che sta dedicando particolare attenzione alle politiche nazionali e regionali e ha posto particolare enfasi sul Manifatturiero attraverso le PPP (Public-Private Partnerships) e le KET (Key Enabling Technologies).

L'Organo di Coordinamento e Gestione (OCG) del Cluster Fabbrica Intelligente desidera ringraziare, per l'intenso lavoro di redazione del documento, il gruppo Roadmapping del Cluster composto da:

Rosanna Fornasiero, CoordinatrIce (ITIA-CNR)
Elisabetta Ceretti (Università di Brescia)
Cesare Fantuzzi (Università di Modena e Reggio Emilia)
Donato Iacobucci (Università Politecnica delle Marche)

Foreword

This document is the result of intense work carried out by the National Intelligent Factories Cluster (CFI) with the collaboration of companies, universities, research centres and associations to put forward the vision of the members on the themes to be developed with appropriate research and innovation activities to ensure the strengthening of Italian leadership in the manufacturing industry.
The document was developed in coherence and continuity both with the European research programme Horizon2020 and with regional research programmes defined in Smart Specialisation documents. It proposes a joint top-down/bottom-up approach: from the socio-economic megatrends and the national situation of the manufacturing sector, a group of specific challenges has been identified and various Strategic Action Lines of research have been fixed. From the bottom-up perspective, the specific research themes proposed by the members of the Cluster have been used to create and have been associated with the research priorities that are part of each Strategic Action Line.
The CFI has drawn up this document as a fundamental mission for its members.
The document was delivered to the Ministries, in particular to the MIUR (Italian Ministry of Research, Innovation and Education) and MISE (Italian Ministry of Economic Development) as a summary of the needs identified by more than 300 members of the Cluster recognised as some of the more active players on the national level in the theme of Intelligent Factories. In this way the CFI would like to inspire the development of specific policies and actions to support the research and innovation. The document was also proposed to the MAE (Italian Ministry for Foreign Affairs) since it may constitute a reference to define bilateral or multilateral collaboration policies with other countries on the themes of research and innovation for the development of the manufacturing sector.
At European level, it has been proposed to the European Commission, which is paying particular attention to the national and regional policies and has placed particular emphasis on manufacturing through PPPs (Public-Private Partnerships) and KETS (Key Enabling Technologies).

The Directory Board of the CFI would like to thank the Roadmapping Group composed of:

Antonio Ludovico (Politecnico di Bari)
Dario Scapaticci (MESAP)
Giacomo Tavola (Politecnico di Milano)
Flavio Tonelli (Università di Genova)

Inoltre sono stati coinvolti attivamente anche altri collaboratori:

Giacomo Copani (ITIA-CNR)
Luca Giorleo (Università di Brescia)
Gianluca Melcarne (MESAP)
Marcello Urgo (Politecnico di Milano)
Andrea Zangiacomi (ITIA-CNR)

Un ringraziamento particolare alle imprese che a vario titolo hanno messo a disposizione le proprie competenze per identificare le tematiche di ricerca necessarie ad affrontare le sfide quotidiane e di medio lungo periodo: in particolare, si ringrazia il gruppo degli "opinion leader industriali" che sono stati coinvolti durante il processo di definizione delle priorità di ricerca, le aziende coinvolte nella consultazione che hanno risposto proponendo tematiche di ricerca specifiche e le aziende che partecipano alla validazione della roadmap.

Milano, 11 Dicembre 2014

L'OCG del Cluster Fabbrica Intelligente:

Tullio A.M. Tolio, Presidente (ITIA-CNR)
Leda Bologni (ASTER)
Filippo Gabrielli (Università Politecnica delle Marche)
Alessandro Marini (Associazione Fabbrica Intelligente Lombardia)
Mario Ricco (Distretto Meccatronico Regionale della Puglia)
Dario Scapaticci (MESAP)
Flavio Tonelli (Università di Genova)
Nicola Trevisan (Veneto Nanotech)

Rosanna Fornasiero, Coordinator (ITIA-CNR)
Elisabetta Ceretti (Università di Brescia)
Cesare Fantuzzi (Università di Modena and Reggio Emilia)
Donato Iacobucci (Università Politecnica delle Marche)
Antonio Ludovico (Politecnico di Bari)
Dario Scapaticci (MESAP)
Giacomo Tavola (Politecnico di Milano)
Flavio Tonelli (Università di Genova)

for all the acivities carried out to draw up this document, together with the following collaborators:

Giacomo Copani (ITIA-CNR)
Luca Giorleo (Università di Brescia)
Gianluca Melcarne (MESAP)
Marcello Urgo (Politecnico di Milano)
Andrea Zangiacomi (ITIA-CNR)

Particular thanks go to the companies that, in various ways, have made their expertise available in order to identify the research themes necessary to face the daily and mid- to long-term challenges: in particular we would like to thank the "Industrial Opinion Leader" group involved during the process for the definition of research priorities, the companies involved in the consultation, which have answered by proposing specific research themes, and the companies that participated in the validation of the roadmap.

Milan, 11 December 2014

The Directory Board of the Intelligent Factories Cluster:

Tullio A.M. Tolio, President (ITIA-CNR)
Leda Bologni (ASTER)
Filippo Gabrielli (Università Politecnica delle Marche)
Alessandro Marini (Associazione Fabbrica Intelligente Lombardia)
Mario Ricco (Distretto Meccatronico Regionale della Puglia)
Dario Scapaticci (MESAP)
Flavio Tonelli (Università di Genova)
Nicola Trevisan (Veneto Nanotech)

L'OCG del Cluster Fabbrica Intelligente ringrazia e ricorda in modo speciale l'Ing. Dario Scapaticci, ora che tutto quello che poteva realizzare su questa terra è compiuto. Egli è stato un amico e un collega, convinto sostenitore dell'architettura del cluster per la quale ha lavorato con dedizione e con un giudizio sempre orientato agli obiettivi di lungo periodo, mai collegato ad interessi di parte e volto a creare qualcosa di nuovo e di utile per tutta la comunità manifatturiera.
La sua dedizione all'attività di roadmapping, portata avanti in modo quasi eroico in particolare nell'ultimo periodo, è una dimostrazione tangibile di quanto si sentisse parte di questa iniziativa che i suoi vecchi amici, con ostinazione, ancora portano avanti.

Vision del Cluster Fabbrica Intelligente

Il Manifatturiero rappresenta un pilastro fondamentale per l'Italia dal momento che genera occupazione e ricchezza, sulla base di solide competenze industriali, dando vita ad attività di ricerca e innovazione ad alto valore aggiunto con ricadute sulla società nel suo complesso.

Il settore rappresenta il 15% del PIL generato nel nostro Paese, con un fatturato di 906 miliardi di euro (2012) e un valore aggiunto di circa 200 miliardi (2012) creati grazie a quasi 4 milioni di lavoratori (il 23% della forza lavoro) impegnati in più di 417 mila imprese. Nel 2012 l'export manifatturiero italiano è stato pari a 306 miliardi di euro per la maggior parte al di fuori dell'Europa. In particolare, i beni strumentali costituiscono il primo settore dell'export italiano e assicurano così all'Italia una posizione molto forte nel panorama internazionale. Si stima, inoltre, che per ogni posto di lavoro nell'industria, si creino circa due posti supplementari nei servizi ad essa associati. Infine, al 2012, l'Italia è tra i primi sei Paesi al mondo per il valore aggiunto generato dal manifatturiero e tra i primi dieci paesi che rappresentano il 70% del valore aggiunto mondiale.

Se l'Italia vuole interpretare un ruolo di rilievo nel panorama internazionale dovrebbe investire in questo settore e focalizzare strategicamente la propria manifattura sulla base delle proprie risorse, materiali e immateriali, e allo stesso tempo dovrebbe cogliere le opportunità generate dalle dinamiche competitive che determinano il contesto internazionale. Il manifatturiero può essere la chiave di volta per rafforzare l'economia reale e per dare solidità al sistema Italia contro le crisi globali.

L'attività di roadmapping del Cluster Fabbrica Intelligente si basa sulla definizione di visioni e strategie per la ricerca e l'innovazione con lo scopo di individuare gli scenari di sviluppo del manifatturiero italiano con un orizzonte temporale di medio/lungo periodo. L'attività svolta ha portato all'elaborazione di una roadmap strategica pluriennale che costituisce un documento di posizionamento ufficiale per il manifatturiero, condiviso da tutti i Membri del Cluster.

Le priorità di ricerca identificate indicano alcuni percorsi

Vision of the Intelligent Factories Cluster

Manufacturing is an fundamental pillar for Italy as it generates employment and wealth based on solid industrial skills, encouraging research and innovation activities of huge added value, with effects at all levels of society.

The sector represents 15% of the GDP generated in Italy, with a turnover of 906 billion euro (2012) and an added value of approximately 200 billion (2012), created thanks to almost 4 million employees (23% of the workforce) employed in over 417,000 companies. In 2012, Italian manufacturing exports represented 306 billion euro and, in terms of destination, Italian exports mainly ended up outside Europe. Capital goods in particular are the leading Italian export, putting Italy in a very strong position within the international panorama. Furthermore, it is estimated that, for each job in industry, two supplementary jobs are created in the services associated with it. In 2012, Italy was among the top six countries in the world for added value generated by manufacturing, with the top ten countries representing 70% of the global added value.

If Italy wants to play an important role in the international panorama, it should invest in this sector and strategically focus its manufacturing on the basis of its tangible and intangible resources, while seizing the opportunities that arise from the competitive dynamics that determine the international context. Manufacturing may be the key to strengthening the real economy and to reinforcing the system against global crises.

The roadmapping of the CFI is based on the definition of visions and strategies for research and innovation in this sector with the aim of identifying development scenarios in the Italian manufacturing sector with a medium/long-term outlook. The activity undertaken has led to the creation of a long-term strategic roadmap, an official positioning document for the manufacturing sector, where the members of the Cluster can identify themselves.

The defined research priorities indicate that Italy could stand out by focussing on innovative technologies, machine tools, customised solutions and products with high added value, through the integrated innovation of prod-

lungo i quali l'Italia può differenziarsi focalizzando la propria offerta per esempio su tecnologie innovative, soluzioni personalizzate, prodotti ad alto valore aggiunto e beni strumentali attraverso l'innovazione integrata di prodotti-processi-sistemi. Ciò permette di essere competitivi alle variabili condizioni di mercato. In particolare, l'innovazione nei beni strumentali ha un effetto moltiplicatore su tutti i settori che li applicano migliorando, ad esempio, l'efficienza energetica, l'impatto sull'ambiente, etc. Per questo motivo l'Italia dovrebbe continuare a puntare anche su questo settore sfruttando fattori determinanti quali sono le competenze, la generazione e trasmissione di know-how intesi come strumenti per preservare ed incentivare il patrimonio culturale del sistema manifatturiero.

Ciò è reso possibile dall'esistenza di peculiari condizioni ambientali del sistema Italia determinate da una serie di fattori eterogenei quali ad esempio:

- la forte tradizione industriale e cultura manifatturiera radicata nell'economia;
- la diffusa presenza di distretti industriali che raggruppano eccellenze presenti sul territorio valorizzandone le peculiarità;
- la presenza di università, enti di ricerca e di centri di trasferimento tecnologico che collaborano con il tessuto industriale;
- l'immagine riconosciuta in tutto il mondo del Made in Italy come "marchio" di qualità, design, tradizione;
- il contributo del manifatturiero, più di altri settori, alla produzione di nuove conoscenze scientifiche e tecnologiche;
- le condizioni industriali, economiche e sociali in grado di attrarre risorse qualificate.

Puntando sul rafforzamento di tali caratteristiche, intrinsecamente associate al contesto ambientale, il manifatturiero potrebbe diventare più forte, riducendo il fenomeno della delocalizzazione e altre forme di outsourcing basate sul mero costo della manodopera. La tendenza al reshoring e al near-shoring è un fenomeno cominciato in questi ultimi anni a seguito dell'aumento dei costi di lavorazione e all'elevato rischio associato ad

ucts, processes and systems in order to provide a competitive edge in the variable market conditions. A clear example is the considerable importance of production and exports of products such as machine tools, thanks to which Italy has gained a strong competitive position. Innovation in the machine tools sector has a multiplying effect on all sectors that apply them, as they drive the performance of the manufacturing systems of the countries that apply these solutions, enabling improvements in energy efficiency, environmental impact, impact on employment, etc. This is why Italy needs to continue to invest in this sector, exploiting determining factors such as skills and the generation and transmission of know-how as tools to maintain the cultural heritage of the manufacturing system as a starting point for innovation.

This can be made possible by the existence of particular environmental conditions in the Italian system, determined by a series of factors including:

- *the strong industrial tradition and manufacturing culture rooted in the economy;*
- *the widespread presence of industrial districts where territorial excellence enhances the uniqueness of each region;*
- *the presence of universities, research organisations and technological transfer centres that work in conjunction with the industrial sector;*
- *the international reputation of "Made in Italy" as a concept of quality, design and tradition;*
- *the contribution of the manufacturing sector, more than any other, to the production of new scientific and technological knowledge;*
- *the industrial, economic and social conditions that can attract qualified resources.*

Focussing on these characteristics, which are intrinsically associated with the environmental context, manufacturing could become even stronger, reducing delocalisation and other forms of outsourcing based on the mere cost of labour. A tendency towards reshoring and near-shoring has begun in recent years, following the rise in the cost of labour and the high risk associated with some countries. Companies are starting to

alcuni paesi e diverse aziende, incentivate anche da nuove politiche fiscali e di semplificazione, stanno iniziando ad accorciare la filiera e a riportare alcune attività critiche in Italia.

In questa visione globale, l'Italia può rappresentare concretamente un insieme di condizioni ambientali ottimali e difficilmente replicabili per il manifatturiero grazie alla capacità di realizzare prodotti che coniugano design, tecnologia, personalizzazione e sistemi di produzione basati sulla grande tradizione nel settore delle macchine di produzione e nell'automazione. Per il Cluster, essere un punto di riferimento nel manifatturiero significa saper percorrere con successo la traiettoria di innovazione che porta alla valorizzazione dei settori in cui il Paese possa esprimere al meglio le proprie potenzialità manifatturiere. La leadership nel manifatturiero può essere supportata dall'innovazione delle fabbriche e delle relative tecnologie abilitanti. L'innovazione nelle tecnologie è a sua volta basata sulla ricerca e per questo motivo è strategico condurre in modo efficace e sinergico la ricerca tra enti pubblici, università, imprese. Risulta quindi importante che gli attori della ricerca, pubblici e privati, partecipino attivamente, in qualità di esperti di innovazione e di tecnologie di frontiera, ai lavori di roadmapping e definizione delle policy.

Fra i grandi paesi manifatturieri, l'Italia appare in ritardo nell'adozione di un modello di innovazione fondato su uno stretto collegamento fra ricerca pubblica e investimento privato. Tuttavia, il sistema manifatturiero italiano è riuscito a mantenere un'elevata competitività delle proprie produzioni sui mercati internazionali. Vi sono, pertanto, le condizioni per trasformare questo elemento di debolezza in una delle principali opportunità per i prossimi anni e avviare una progressiva diversificazione delle attività manifatturiere verso produzioni a maggiore contenuto di conoscenza. Gli effetti positivi attesi da tale processo di diversificazione riguarderanno non solo la capacità competitiva delle imprese italiane sui mercati internazionali, ma anche la possibilità di incrementare la quota di occupati con elevati livelli di scolarizzazione, con conseguente ricadute sulla produttività e sul reddito, e la possibilità di arrestare la progressiva fuoriuscita dal paese di capitale umano qualificato.

shorten the supply chain and bring certain critical activities back to Italy.

Within this general vision, Italy can tangibly represent a combination of excellent environmental conditions that are hard to replicate elsewhere. This happens thanks to the ability to create products where design, technology and customisation are made possible by advanced production systems and a long tradition in machinery production and automation. Being a benchmark for manufacturing means successfully pursuing the trajectory of innovation that leads to the enhancement of sectors in which the country can fully express its manufacturing potential. Leadership in manufacturing can be supported by innovation of production systems and enabling technologies which is based on advanced research. Therefore it is strategic for research to be guided effectively and synergically by public authorities, universities, businesses and other players. It is important for researchers and industrial stakeholders to play an active role as experts in innovation and pioneering technology, actively participating in roadmapping and policymaking.

Among the manufacturing countries, Italy is behind the others in adopting an innovation model based on close collaboration between public research and private investment. Nevertheless, the Italian manufacturing system has succeeded in ensuring that its productions maintain a good competitive edge on the international markets. The conditions for transforming this element into one of the major opportunities for the future and for starting up a progressive diversification of manufacturing activities towards productions with higher content in terms of knowledge exist. The positive effects expected from this diversification process not only concern the competitive ability of Italian businesses on the international markets, but also the opportunity to increase the number of employees with higher levels of education. This will mean a consequent increase in productivity (and income) and the chance to stop the progressive exodus of qualified human capital from the country.

La metodologia

Il percorso seguito dal gruppo roadmapping del Cluster Fabbrica Intelligente per la definizione delle priorità di ricerca per il manifatturiero italiano è iniziato con l'analisi dei **megatrend socio-economici** a cui deve far fronte il sistema Paese e che costituiscono il punto di partenza per comprendere quali sono i fattori di cambiamento della società e della struttura economica globale che influenzano il settore. E' stata quindi effettuata una analisi utilizzando dati statistici per fotografare la situazione italiana e capire in che modo il manifatturiero sta reagendo alle condizione attuali dei mercati. Dall'analisi dei megatrend e dei punti di forza del manifatturiero sono derivate le **sfide specifiche** per il settore che si possono concretizzare in opportunità attraverso la definizione di strategie di sviluppo. Le strategie sono state formalizzate in **Linee di Intervento (LI)** che rappresentano macro-scenari di sviluppo. All'interno di essi è importante che il manifatturiero programmi le attività di ricerca e innovazione per i prossimi anni attraverso progetti mirati. Le Linee di Intervento sono state quindi declinate in **Priorità di Ricerca e Innovazione (PRI)** all'interno delle quali insistono più **Tecnologie Abilitanti (TA)**.

The methodology

*The roadmapping group of the CFI grounded its work on the most important methodologies for roadmapping to define the research priorities for manufacturing that started with the analysis of the **socio-economic megatrends** against which the country must battle and which are the starting point for understanding the factors of change in society and in the global economic structure that influences Italian manufacturing. The sector was analysed using statistics to offer an accurate picture of the Italian situation and to understand how manufacturing is reacting to current market conditions. The analysis of megatrends and the strengths of manufacturing revealed the **specific challenges** that can result in opportunities through the definition of development strategies. The strategies were formalised in **Strategic Action Lines (LI)**, which represent macro-scenarios of development within which it is important for manufacturing to plan research and innovation activities for the years ahead, through specific projects. The Strategic Action Lines were then set out as **Priorities of Research and Innovation (PRI)** made up of several **Enabling Technologies (ET)**.*

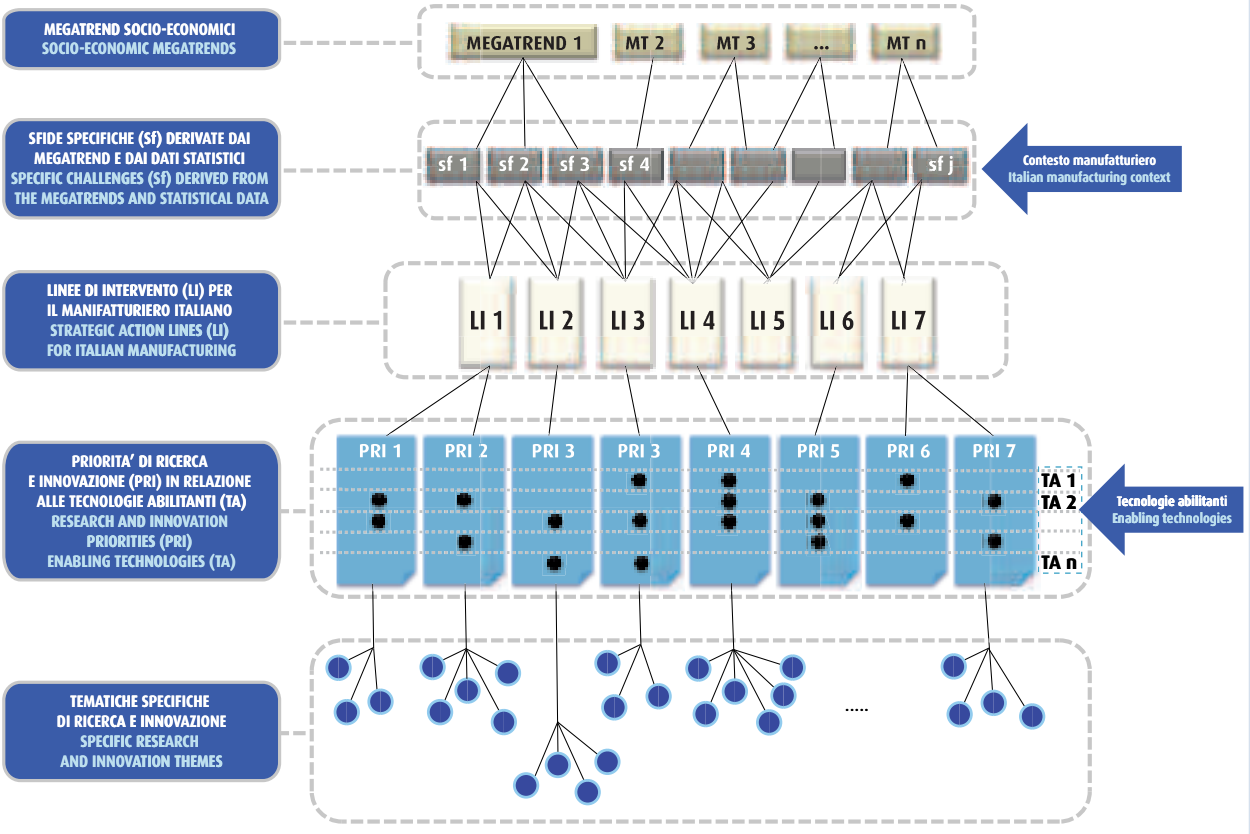


Fig. 1: Modello della roadmap - *Model of the roadmap*

Questo processo è stato condiviso con i membri del Cluster e ha portato alla raccolta di tematiche specifiche di ricerca e innovazione che possono essere affrontate in progetti focalizzati e fornire indicazioni per le call future. Queste idee progettuali raccolte dai membri rappresentano grappoli di idee a sostegno delle priorità di ricerca. Il processo di consultazione avviato con le aziende del Cluster ha visto anche il coinvolgimento di una serie di opinion leader ed ha permesso così di rafforzare le Linee di Intervento con la proposta di azioni mirate in applicazioni specifiche.

This process has been shared with the members of the Cluster and specific research and innovation topics were formed, with a view to their becoming the inspiration for possible future projects. They represent groups of ideas to support research priorities taking a bottom-up approach. In fact, the consultation process launched with opinion leaders and Cluster companies has made it possible to strengthen the Strategic Action Lines with the proposition of specific interventions on precise applications.

1 L'analisi dei Megatrend

Il mondo e la società evolvono continuamente attraverso scenari che rappresentano tendenze di sviluppo globale con impatto sulla vita delle persone, sulle aziende e in generale sulle comunità. Tale impatto va ad influenzare l'economia, i consumi e il modo stesso con cui gli individui si rapportano con il resto della società, le imprese con gli individui, i governi con i cittadini. Esistono molteplici studi che identificano ed analizzano i megatrend. Essi assumono infatti significati e valori differenti in relazione agli attori e agli obiettivi cui la definizione è rivolta. Sono quindi disponibili analisi mirate a fornire una guida nella definizione delle priorità ai governi e ai policy maker[1,2], piuttosto che alle aziende dell'economia globale[3,4], o agli stakeholders di specifici settori quali appunto il manifatturiero[5,6].

L'analisi dei megatrend socio-economici proposti da questi diversi documenti ha permesso di identificare quelli che più impattano sul manifatturiero, condizionando i cambiamenti strutturali del settore[7], e che possono essere così sintetizzati:

- il cambiamento demografico (l'aumento della popolazione mondiale, l'invecchiamento della società, l'incremento dell'urbanizzazione);
- i nuovi mercati emergenti (globalizzazione, crescita delle esportazioni, crescita dei paesi in via di sviluppo);
- la scarsità delle risorse (energia, acqua, materie prime, altri beni);
- il cambiamento climatico (l'aumento di CO_2, il riscaldamento globale, l'ecosistema a rischio);
- l'accelerazione dell'avanzamento tecnologico (crescita esponenziale delle tecnologie, riduzione del costo, maggiore pervasività).

1 Analysis of the Megatrends

The world and society evolve constantly through scenarios of global change and development that have an impact on the lives of people, companies and communities in general, influencing the economy and consumption. Moreover, these scenarios influence the way individuals relate to the rest of society, companies relate to individuals and governments relate to the public. Numerous studies have identified and analysed these megatrends of change and development. They are based on different values according to the players and targets their definition is aimed at. Specific analyses aim therefore to guide the definition of priorities both for governments and policy-makers[1,2], for companies within the global economy[3,4], or for stakeholders of specific sectors such as manufacturing[5,6].

The analysis of the socio-economic megatrends proposed by the many available documents enabled to identify which of them have the greatest impact on manufacturing and influence the structural changes of this sector[7]. They can be summarised as follows:

- *demographic change (global population increase, ageing of society, urbanisation increase);*
- *new emerging markets (globalisation, growth in exports, growth of developing countries);*
- *scarcity of resources (energy, water, raw materials, other goods);*
- *climate change (CO_2 increase, global warming, the ecosystem at risk);*
- *acceleration of technological progress (exponential growth of technologies, cost reductions, greater pervasiveness).*

[1] Future State 2030: The global megatrends, KPMG International, 2014.

[2] The Europe 2020 Competitiveness Report: Building a More Competitive Europe World Economic Forum, 2012.

[3] Trend Compendium 2030, Roland Berger Strategy Consultants GmbH, 2012.

[4] New Mega Trends: Implications for our Future Lives, Sarwant Singh, Frost&Sullivan, 2012.

[5] Manufacturing the future: The next era of global growth and innovation, McKinsey&Company, November 2012.

[6] The Future of Manufacturing - Opportunities to drive economic growth, A World Economic Forum Report in collaboration with Deloitte Touche Tohmatsu Limited, April 2012.

[7] EFFRA-FOF Roadmap 2020.

1.1 Il cambiamento demografico

Nell'arco dei prossimi venti anni si stima una **crescita della popolazione mondiale pari al 18%**, fino al raggiungimento di 8,4 miliardi di persone entro il 2030 rispetto ai 7,2 miliardi del 2013. L'aumento conseguente previsto del numero di nuovi potenziali clienti, pari a 1,2 miliardi, unito ai sempre più elevati standard di vita, porterà alla disponibilità di un numero sempre più ampio di nuovi mercati. La crescita della popolazione sarà molto più evidente nei paesi in via di sviluppo, in cui si prevede un incremento del 20,7% tra il 2013 ed il 2030, pari a 1,2 miliardi di persone mentre per i paesi industrializzati sarà del 3,3%, pari a 41 milioni di persone. Si tratta quindi di una crescita sette volte superiore per i Paesi in via di sviluppo rispetto a quelli industrializzati. L'incremento sarà inoltre concentrato in pochi paesi: la crescita di India, Nigeria e Cina rappresenterà ad esempio circa un terzo della crescita della popolazione mondiale.

1.1 Demographic change

*Over the next 20 years, it **is estimated that the global population will grow by 18%**, reaching a total of 8.4 billion people by 2030, up from 7.2 billion in 2013. The consequential increase expected in the number of potential customers – 1.2 billion – together with ever-increasing standards of living will lead to an increasingly high number of new markets. Population growth will be much more evident in developing countries, where populations are expected to grow by 20.7% – equating to 1.2 billion people – between 2013 and 2030, while in industrialised countries, growth will be 3.3% – equating to 41 million people. This means seven times more growth in the developing countries than in the industrialised ones. Moreover, this growth will be concentrated in just a few countries: for example, growth in India, Nigeria and China will represent around a third of the overall global population growth.*

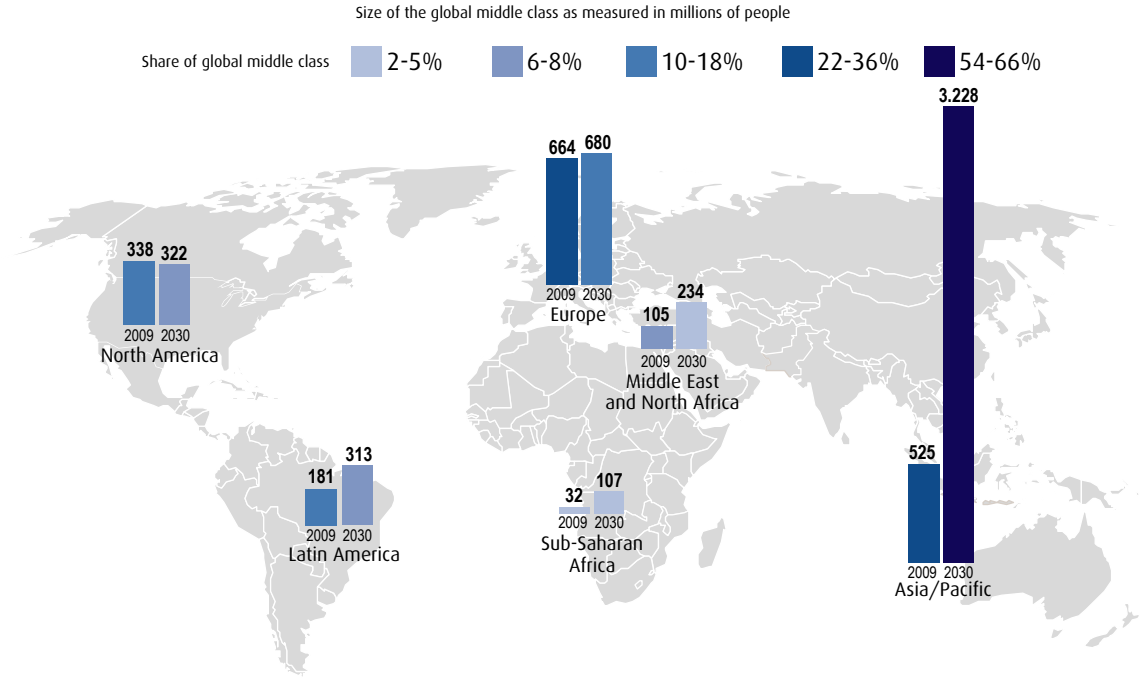


Fig. 2: Cambiamento demografico al 2030 (Fonte: Roland Berger) - *Demographic change by 2030 (Source: Roland Berger)*

L'invecchiamento della popolazione è un processo in corso da tempo su scala globale che influenzerà sempre più profondamente le società avanzate nei prossimi decenni. Questo mutamento demografico aumenterà sensibilmente in tutte le regioni del mondo determinando quasi ovunque un aumento significativo dei tassi di dipendenza degli anziani[8].

***Population ageing** is a process that has been going on at the global level for a while and this will increasingly affect advanced societies over the coming decades. This demographic change will increase considerably all over the world, determining a significant rise in the dependency rate of the elderly almost everywhere[8].*

[8] M. Zanerini, Invecchiamento della popolazione, crescita, occupazione, in Studi e Note di Economia, Anno XIV, n. 3-2009, pagg. 431-468, Gruppo Montepaschi.

Nel 2020 oltre il 25% della popolazione nei paesi in via di sviluppo sarà composto da ultrasessantenni (tale valore è in crescita esponenziale e raggiungerà il 29% nel 2030) portando alla creazione di nuove categorie di consumatori e specifici target group. In Italia il processo di invecchiamento è più evidente che in altri Paesi. Il nostro Paese detiene infatti la percentuale più alta di ultra-ottantenni (5,8% della popolazione nel 2011) ed è al secondo posto, dietro alla Germania per quanto riguarda la percentuale di ultra-sessantacinquenni (con 20,3%). Gli **over 65 rappresentano un quinto della popolazione**. Di questi, quasi il 40% è affetto da almeno una malattia cronica. La fascia di persone di età superiore ai sessant'anni raggiungerà inoltre il 38,4% nel 2050[9]. Questa nuova composizione demografica aprirà la strada alla creazione di una serie di servizi alla persona e di prodotti sempre più personalizzati in base alle esigenze specifiche in termini di confort, salute e benessere dei singoli individui e dei gruppi di riferimento.

Una conseguenza di questi cambiamenti riguarderà, inoltre, un aumento della percentuale dei lavoratori anziani. Le tendenze demografiche riguardanti la **popolazione attiva nell'UE-27 indicano che la fascia d'età compresa tra 55 e 64 anni aumenterà di circa il 16,2%** (9,9 milioni) tra il 2010 e il 2030, mentre tutte le altre fasce d'età diminuiranno dal 5,4% (40-54 anni) al 14,9% (25-39 anni). In molti paesi i lavoratori anziani costituiscono il 30% o più della popolazione attiva. **I tassi di occupazione dei lavoratori anziani (tra 55 e 64 anni) nell'UE-27 si attestano attualmente a meno del 50%**[10]. Sarà quindi necessario trovare un equilibrio tra l'esigenza di consentire alle persone oltre i 65 anni di età di prolungare la loro vita lavorativa e quella di creare nuove opportunità di lavoro per i giovani delle nuove generazioni. Tutto questo dovrà inoltre rispondere all'obiettivo più ampio di aumentare il benessere di tutti i lavoratori in termini di maggiore soddisfazione, sicurezza e inclusività.

La struttura urbana sarà soggetta a grandi cambiamenti dettati da un **aumento dell'urbanizzazione pari al 7% nell'arco dei prossimi 20 anni**, che porterà ad abitare nelle città entro il 2030 quasi il 60% della popolazione mondiale, con punte pari all'82% nei paesi industrializzati e una media del 56% in quelli in via di sviluppo[11].

In 2020, over 25% of the population in developing countries will be made up of over-60-year-olds (this value is growing exponentially and will reach 29% by 2030), leading to the creation of new consumer categories and specific target groups. In Italy, the ageing process is more evident than in other countries. Italy has the highest percentage of over-80-year-olds (5.8% of the population in 2011) and ranks second (behind Germany) with regard to the percentage of over-65-year-olds (with 20.3%). ***Over-65s represent a fifth of the population*** *and almost 40% of them are affected by at least one chronic illness. People over 60 years of age will account for 38.4% of the population by 2050[9]. This new demographic composition will pave the way for a series of personal services and increasingly customised products to suit the specific needs, in terms of comfort, health and well-being, of individuals and related reference groups.*

One consequence of these changes will be an increase in the percentage of senior workers. The demographic trends of the ***working population in the EU-27 indicate that the 55–64 age group will grow by around 16.2%*** *(9.9 million) between 2010 and 2030, while all other age groups will decrease by 5.4% (40–54-year-olds) to 14.9% (25–39-year-olds). In many countries, senior workers make up 30% or more of the working population.* ***The rate of employment of senior workers (between 55 and 64 years of age) in the EU-27 is currently less than 50%***[10]*. It will therefore be necessary to find a balance between the need to allow over-65s to prolong their working life and the need to create new job opportunities for the young generations. Moreover, this also meets the broader need to increase the well-being of all workers in terms of increased satisfaction, safety and inclusivity.*

The urban structure will undergo extensive changes influenced by a ***7% increase in urbanisation over the next 20 years****, which will mean that almost 60% of the global population will be living in cities by 2030, with a peak of 82% in industrialised countries and an average of 56% in developing countries*[11]*.*

[9] II Indagine nazionale sulla condizione sociale degli anziani, Auser 2012 (fonti ISTAT).

[10] J. Ilmarinen, Promuovere l'invecchiamento attivo sul luogo di lavoro, Agenzia europea per la sicurezza e la salute sul lavoro, 2012.

[11] Roland Berger Trend Compendium 2030, Trend 1: Demographic dynamics, March 2014. (http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_Trend_Compendium_Demographic_dynamics_20141107.pdf).

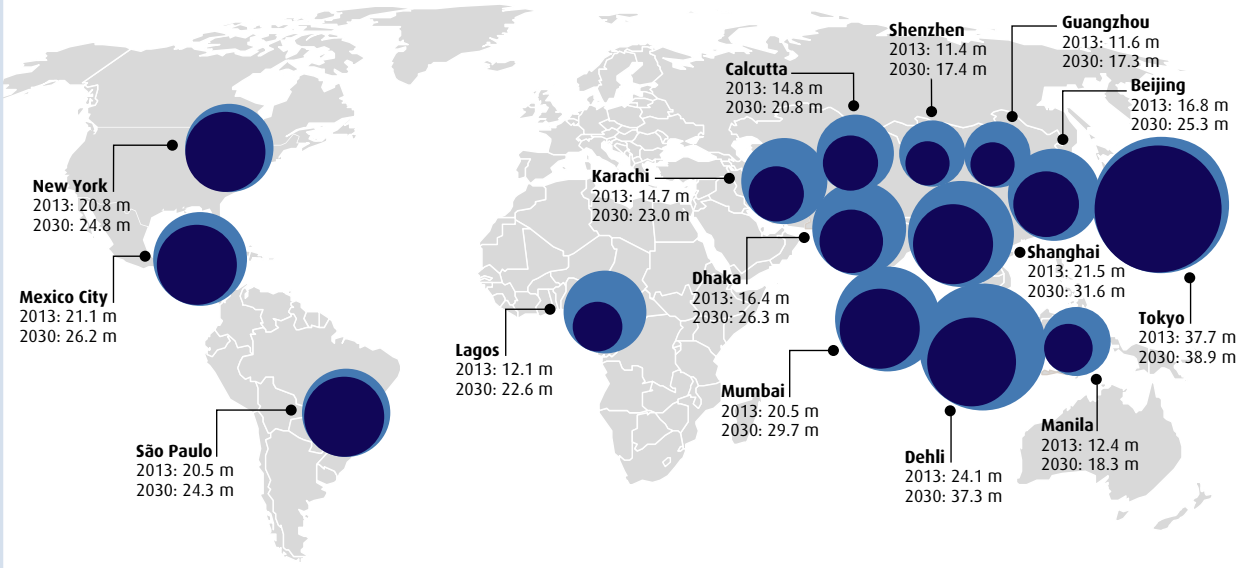


Fig. 3: Crescita popolazione urbana (Fonte: Roland Berger) - *Urban population growth (Source: Roland Berger)*

Questa tendenza sarà più evidente nei paesi in via di sviluppo, e pari a un incremento di 1,2 miliardi di persone, rispetto a quelli industrializzati in cui le quote di urbanizzazione sono già elevate e l'aumento sarà pari solo a 0,1 miliardi di unità. La conseguenza diretta consisterà nel costante sorgere e crescere delle cosiddette megacittà.

L'urbanizzazione, insieme allo sviluppo di una classe media in crescita nei paesi in via di sviluppo, alimenterà la domanda di prodotti industriali di nicchia. Le decisioni di acquisto saranno pertanto sempre più basate sulla percezione che il brand offre in merito a sicurezza, qualità e customizzazione di prodotto. Questo aprirà anche la strada a nuovi modelli di produzione quali l'urban manufacturing come strategia per facilitare le aziende a offrire prodotti facilmente personalizzabili così come per facilitare i lavoratori nell'integrazione tra la vita lavorativa e non.

1.2 Nuovi mercati emergenti

Le differenze dei tassi di crescita delle economie tra i vari paesi continueranno a contraddistinguere lo scenario mondiale da qui al 2030 e il processo di globalizzazione vedrà una crescita delle esportazioni mondiali superiore a quella del prodotto interno lordo (tasso di crescita annuo globale dell'export pari al 6,9% contro al 6,5% del PIL tra il 2013 ed il 2030). Nei paesi industrializzati si stima un tasso di crescita annuo delle esportazioni pari al 5,6% che porterà ad un valore nominale dell'export

This trend will be much more obvious in developing countries, with an increase of 1.2 billion people, than in industrialised ones, where urbanisation shares are already high and the increase will be just of 0.1 billion units. The direct consequence will be the constant rise and growth of the so-called megacities.

Urbanisation, together with the progress of a growing middle class in developing countries, will feed the demand for niche industrial products. Therefore, purchasing decisions will be increasingly based on the perception offered by the brand with regard to safety, quality and product customisation. This will also pave the way for new production models, such as urban manufacturing: as a strategy enabling companies to offer easily customisable products and for workers to combine their working and personal lives.

1.2 New emerging markets

The country-to-country differences in the growth rates of economies will continue to characterise the global scenario from now until 2030 and the globalisation process will enable a growth in global exports exceeding the rise of the gross domestic product (global annual growth rate of exports equating to 6.9% against 6.5% for GDP between 2013 and 2030). In industrialised countries, due to an estimated 5.6% growth rate per year, exports will more than double their nominal value by 2030. For emerging markets, this annual rate is expected to reach

più che raddoppiato entro il 2030. Per i mercati emergenti è invece previsto che questo tasso annuo raggiunga l'8,6% portando il valore nominale dell'export a più che quadruplicare entro lo stesso periodo[12].

Il mercato dei consumi cambierà fortemente nei prossimi 20 anni soprattutto nei paesi BRIC, la cui quota del prodotto interno lordo globale passerà dal 27 al 38% entro il 2030, in cui si sta sviluppando **una nuova classe media che crescerà rapidamente**, passando dagli 0,8 miliardi ad un totale di 2 miliardi di persone e rappresenterà un importante segmento di mercato portatore di nuovi bisogni da analizzare e soddisfare. Oltre ai paesi BRIC sono da evidenziare gli sviluppi soprattutto di Messico e Sud Africa (Next Eleven), Vietnam, Indonesia e Malesia (ASEAN). La classe media dei paesi emergenti aspira a un miglioramento del suo tenore di vita e le dinamiche legate a questo obiettivo avranno un impatto senza precedenti sull'industria manifatturiera.

8.6%, more than quadrupling the nominal value of exports within the same period[12].

*The consumer market is going to change greatly over the next 20 years, especially in the BRIC countries, where the global gross domestic product will grow from 27 to 38 % by 2030 and where a **new, rapidly growing middle class is developing**, increasing from 0.8 billion to a total of 2 billion people. This will represent an important market segment with new needs to analyse and satisfy. As well as the BRIC countries, we should also highlight the growth of Mexico and South Africa (Next Eleven), Vietnam, Indonesia and Malaysia (ASEAN). The middle class of emerging countries aspire to improve their quality of life and the dynamics linked to this aim will have an unprecedented impact on the manufacturing industry.*

In a scenario of global competition, the need to be innovative is increasingly permeating the market, putting

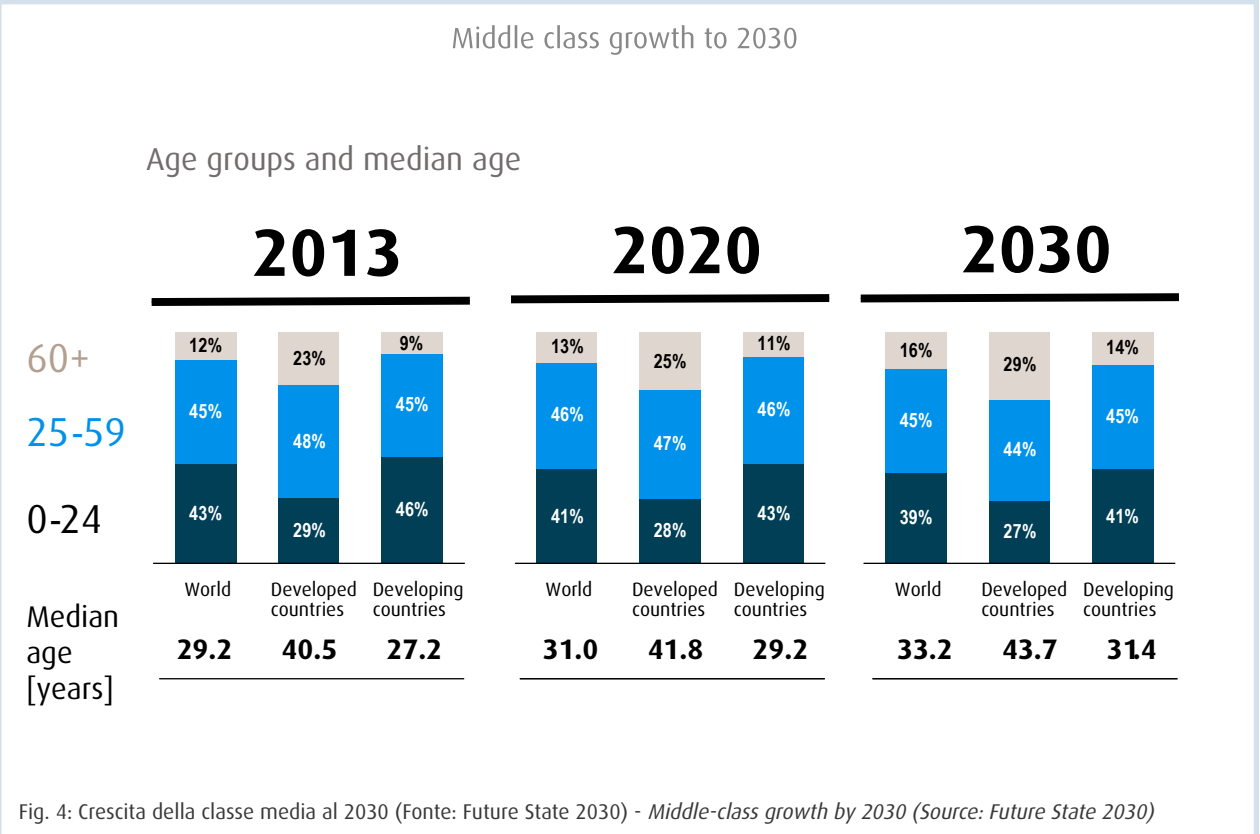


Fig. 4: Crescita della classe media al 2030 (Fonte: Future State 2030) - *Middle-class growth by 2030 (Source: Future State 2030)*

In uno scenario di competizione globale la necessità di essere innovativi sta sempre più permeando il mercato, facendo pressione sulle grandi imprese europee, una

pressure on European companies, which once led their market reference sectors and are now finding themselves in difficulty due to the presence of new players.

[12]Roland Berger Trend Compendium 2030, Trend 2: Globalization & future markets, May 2014. (http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_Trend_Compendium_Globalization_20141107.pdf).

volta leader di mercato nei propri settori di riferimento ed ora messe in difficoltà dalla presenza di nuovi attori. La globalizzazione, se da un lato ha portato alla creazione di nuovi mercati di sbocco, ha anche allargato la possibilità di collaborare con aziende di tutto il mondo.

Variazioni del contesto quali l'aumento sempre maggiore dei costi di logistica e la riduzione nella differenza dei costi del lavoro, unite ad una qualità manifatturiera spesso non adeguata hanno reso inoltre via via meno conveniente sostenere il flusso di delocalizzazione che ha caratterizzato il precedente periodo. Non è inoltre da sottovalutare quanto sia rilevante lo stretto contatto e una vicinanza anche fisica tra la ricerca e sviluppo e la produzione per rispondere in modo rapido alle richieste e variazioni di un mercato sempre più volubile.

In tutto questo processo, la valorizzazione delle competenze territoriali assume un ruolo chiave: aspetti quali una forte tradizione industriale e cultura manifatturiera, consolidate competenze di progettazione, la presenza di centri di ricerca e trasferimento tecnologico e delle infrastrutture necessarie sono intrinsecamente associati al contesto ambientale e meno soggetti a logiche di sostituibilità rispetto alle caratteristiche che hanno guidato il flusso verso altri paesi.

While, on the one hand, globalisation has led to the creation of new markets, it has also expanded the possibility of cooperating with companies all over the world.

Other changes in the economic environment, such as higher logistics costs and a reduction in the difference of labour costs, together with an often inadequate manufacturing quality, have made it less convenient to sustain the flow of delocalisation that characterised the last few years. Moreover, the importance of a close contact and even a physical closeness between research & development and production should not be underestimated, in order to quickly respond to demand and change in an increasingly unpredictable market.

Within this process, the enhancement of territorial skills takes on a key role: aspects such as a strong industrial tradition and manufacturing culture, consolidated design skills, the presence of research and technological transferral centres and the required infrastructure are intrinsically linked to the environmental context and less subject to replacement than the characteristics that have led the flow towards other countries.

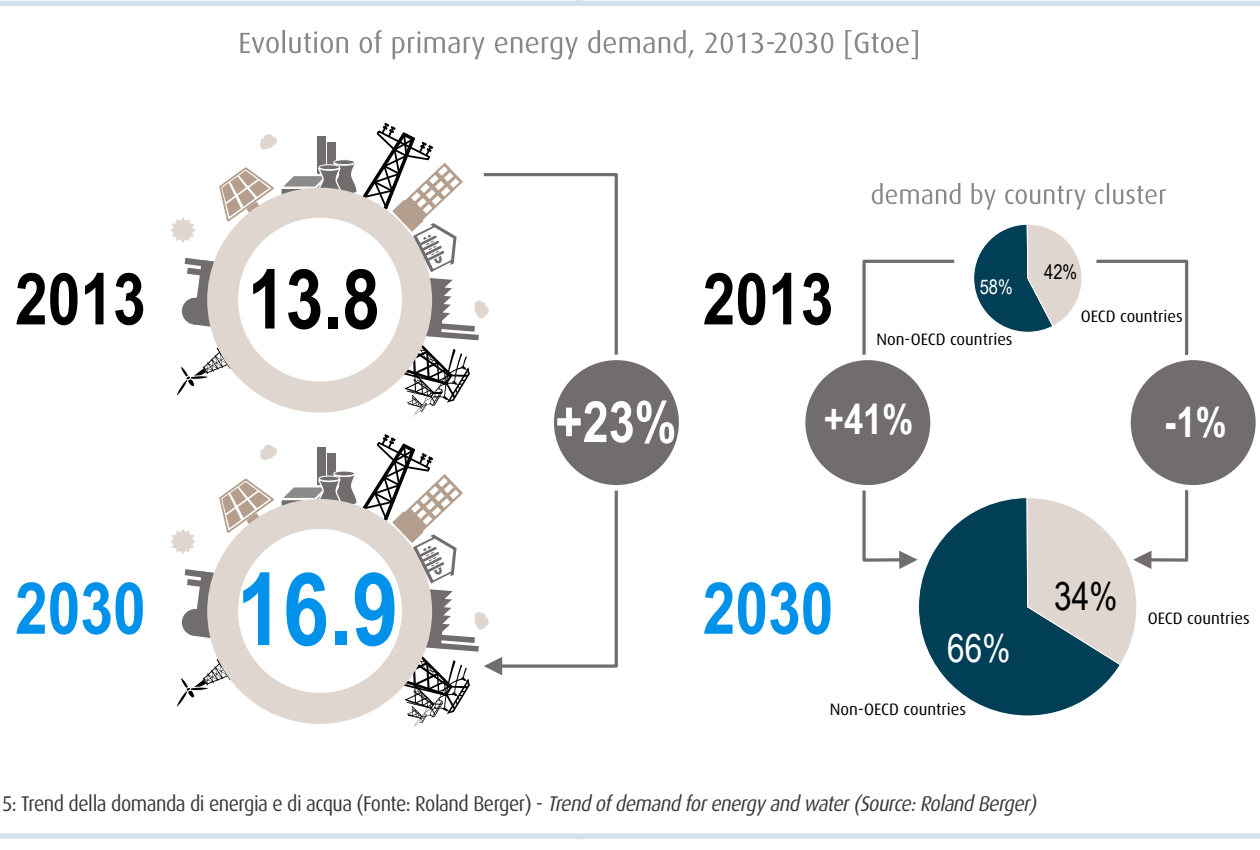


Fig. 5: Trend della domanda di energia e di acqua (Fonte: Roland Berger) - *Trend of demand for energy and water (Source: Roland Berger)*

1.3 La scarsità delle risorse

La sostenibilità è diventata un tema centrale nelle agende governative e in quelle industriali. Si sta pertanto sempre più rendendo necessario il passaggio da un'economia caratterizzata dagli sprechi ad una più attenta ed equilibrata, soprattutto per le industrie che utilizzano energia, acqua e altre materie prime.

Per quanto riguarda il **consumo globale di energia, si ipotizza un incremento del 23% entro il 2030**. In questo quadro è previsto che il consumo di petrolio diminuisca parzialmente a favore dell'utilizzo di energie rinnovabili e le differenze nel consumo energetico tra paesi industrializzati e in via di sviluppo si ampli ulteriormente a favore di questi ultimi. La domanda di energia dei paesi non OCSE (OECD) crescerà tra il 2013 ed il 2030 del 41% a fronte di un declino dei paesi OCSE pari al1%: questa crescita è direttamente correlata all'incremento demografico, all'aumento del prodotto interno lordo, all'urbanizzazione ed all'espansione della classe media. In questo modo i paesi non CSE arriveranno a coprire il 66% della domanda globale di energia.

Anche il **consumo di acqua subirà un incremento del 37% entro il 2050** e i problemi legati al suo inquinamento non saranno risolti a causa dell'incremento già ci-

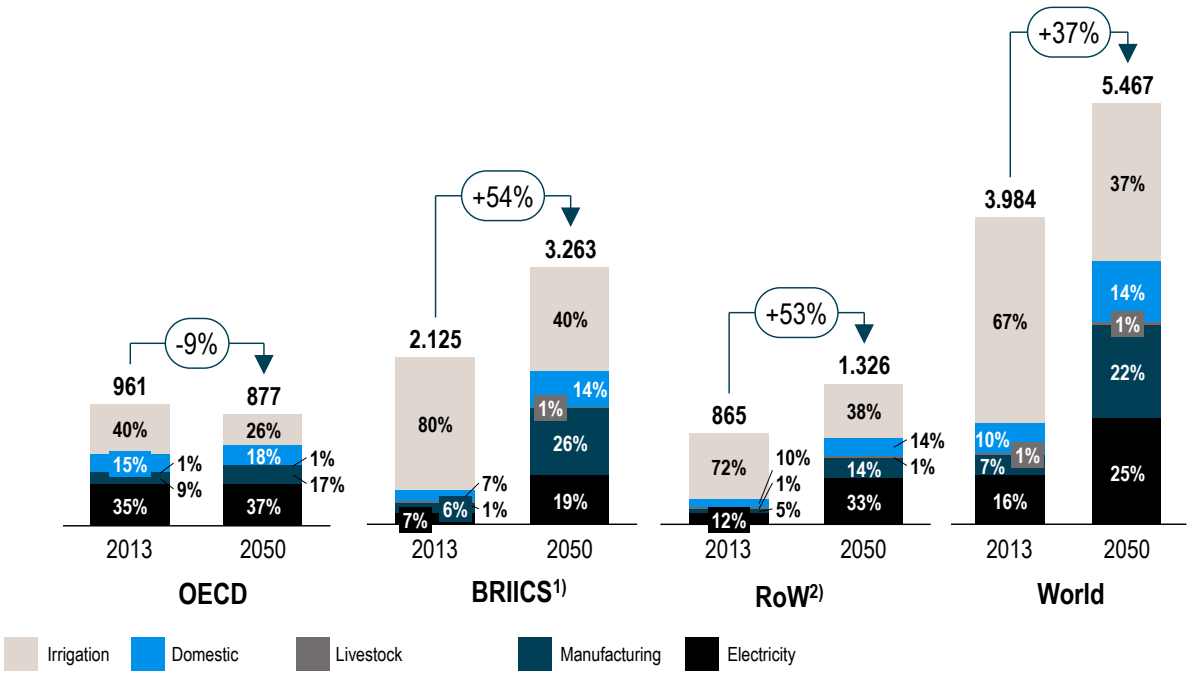
1.3 Scarcity of resources

Sustainability has become a central theme on both government and industrial agendas. Consequently, the transition from an economy characterised by waste to one that is more conscious and balanced, with specific regard to industries that use energy, water and other raw materials, is becoming increasingly necessary.

*With regard to the **global consumption of energy an increase of 23% is expected by 2030**. Within this framework, the consumption of oil is expected to partially decrease in favour of renewable energies, and the gap between energy consumption in industrialised countries and in developing countries is widening further in favour of the latter. The energy demand of non-OECD countries will grow by 41% between 2013 and 2030 compared to a 1% decline in the OECD; this growth is directly linked to the demographic increase, the rise in gross domestic product, the urbanisation and the expansion of the middle class. As a result, non-OECD countries will cover 66% of the global demand for energy.*

*The **consumption of water will also increase by 37% by 2030** and the problems linked to water pollution will not be solved due to the above-mentioned growth of urbanisation and continuing unsustainable agriculture. In*

Global water demand, 2013-2050 [km³]



1) BRIICS: Brazil, Russia, India, Indonesia, China, South Africa
2) RoW = rest of the world

Source: OECD

tato dell'urbanizzazione e di una agricoltura ancora non sostenibile. Allo stesso modo ci sarà un aumento della domanda di cibo di circa il 23% entro il 2030 che raggiungerà il 55% entro il 2050[13].

Oltre alle risorse citate, altre materie prime come ad esempio i metalli sono di fondamentale importanza per la crescita e lo sviluppo economico. Per il più utilizzato, il ferro, o per il rame si stimano riserve per qualche centinaio di anni. Esistono però materie prime, identificate anche da uno studio della Commissione Europea, definite critiche. Tra queste ventuno materie prime critiche si annoverano le terre rare pesanti e leggere. Soprattutto per le prime e per altri materiali quali gallio, litio, cobalto e magnesio si stima un forte incremento della domanda da qui al 2020 e oltre. La maggior parte di esse è inoltre estratta al di fuori dell'Europa e la Cina costituisce il principale fornitore.

La dicotomia sempre più forte tra paesi esportatori ed importatori potrebbe far diventare il commercio di materie prime una questione di interesse politico nazionale.

Una delle vie per ridurre la dipendenza dall'estrazione di alcune materie è quella del riciclo. Considerando che attualmente ogni anno sono gestite 600 milioni di tonnellate di materiali riciclabili, il valore monetario connesso è di dimensioni estremamente rilevanti e pari al PIL di interi paesi. Entro il 2030 la Commissione Europea ha pianificato di raggiungere un target di riciclo pari al 70%. Per alcuni materiali però il tasso di riciclo è ancora troppo basso: per le terre rare, ad esempio, è pari solo all'1%.

E' quindi auspicabile una maggiore consapevolezza e una conseguente trasformazione dei processi industriali che porti a riutilizzare in ottica di *circular economy* i prodotti e i componenti riducendo sensibilmente gli sprechi, innalzando l'efficienza e promovendo un utilizzo sostenibile delle materie prime che armonizzi i bisogni di una popolazione globale in crescita con i limiti delle risorse naturali e degli eco-sistemi del pianeta.

1.4 Il cambiamento climatico

Entro il 2030 le emissioni di carbonio a livello mondiale derivanti dalla combustione di carbone, petrolio e gas aumenteranno del 27%, manifestando però una decrescita rispetto al trend degli ultimi 20 anni (+44%). La concen-

the same way, there will be an increase in the demand for food of approximately 23% by 2030, reaching 55% by 2050[13].

In addition to the aforementioned resources, other raw materials, such as metals, are fundamentally important for growth and economic development. It is estimated that there are reserves of the most frequently used metals – iron and copper – to last a few centuries. However, other raw materials, also identified by European Commission studies, have been defined as critical. These 21 critical raw materials include heavy and light rare earth elements. A large increase in demand particularly for raw and other materials such as gallium, lithium, cobalt and magnesium is expected to take place between now and 2020 and beyond. Moreover, the majority of these are quarried outside of Europe, and China is the main supplier.

The increasing dichotomy between exporting and importing countries could cause the trade of raw materials to become a matter of national political interest.

One of the ways to reduce dependency on the quarrying of some kinds of materials is recycling. Given that, nowadays, 600 million tonnes of recyclable materials are managed annually, the related monetary value is extremely important and equal to the GDP of entire countries. By 2030, the European Commission aims to reach a recycling target of 70%. For some materials, however, the rate of recycling is still too low: for rare earth elements it stands at just 1%.

Greater awareness and a consequent transformation of the industrial processes will lead to the reuse of products and components based on the circular economy paradigm, considerably reducing waste, increasing efficiency and promoting a sustainable use of raw materials that harmonises the needs of a growing global population with the limits of the planet's natural resources and of ecosystems.

1.4 Climate change

By 2030, global carbon emissions resulting from the burning of coal, oil and gas will increase by 27%, showing, however, a decline compared to the trend of the past 20 years (+44%). The concentration of CO_2 in the at-

[13] Roland Berger Trend Compendium 2030, Trend 3: Scarcity of resources, August 2014 (http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_Trend_Compendium_Scarcity_of_resources_20141107.pdf).

trazione di CO_2 nell'atmosfera, che attualmente è del 30% superiore ai livelli pre-Rivoluzione Industriale, a causa della lentezza del processo di eliminazione, continuerà comunque ad aumentare nel lungo termine, anche se le emissioni fossero ridotte rispetto ai livelli attuali.

Diversi studi dimostrano che si prevede entro il 2030 un aumento della temperatura media globale di 0,5-1,5 gradi oltre all'aumento globale di 0,5 gradi registrato negli ultimi vent'anni[14,15].

I cambiamenti del territorio legati allo sfruttamento dei terreni agricoli, alla costruzione delle infrastrutture, al cambiamento climatico e alla deforestazione stanno già avendo un impatto molto esteso sull'ecosistema destinato ad ampliarsi ulteriormente. Il cambiamento climatico manifesterà effetti rapidi sullo sviluppo sostenibile dei paesi industrializzati e l'abilità delle economie di adattarsi e divenire più resilienti ai cambiamenti, efficienti nell'uso delle risorse e allo stesso tempo restare competitive dipenderà da livelli elevati di eco-innovazione di natura economica sociale, organizzativa e tecnologica[16].

mosphere, which is currently 30% higher than before the Industrial Revolution, due to the slow elimination process, will continue to increase in the long term, even if emissions were to decrease compared to current levels.

Various studies show that, by 2030, we expect the average global temperature to increase by 0.5–1.5 degrees, in addition to the global increase of 0.5 degrees recorded over the last 20 years[14,15].

Territorial changes linked to the exploitation of farmland, the construction of infrastructure, climate change and deforestation are already having a widespread impact on the ecosystem, and this is destined to expand further. Climate change will have rapid effects on the sustainable development of industrialised countries. In this context, the ability of economies to adapt and become more resilient to change and efficient in the use of resources, while continuing to stay competitive, will rely on high levels of eco-innovation of a socio-economic, organisational and technological nature[16].

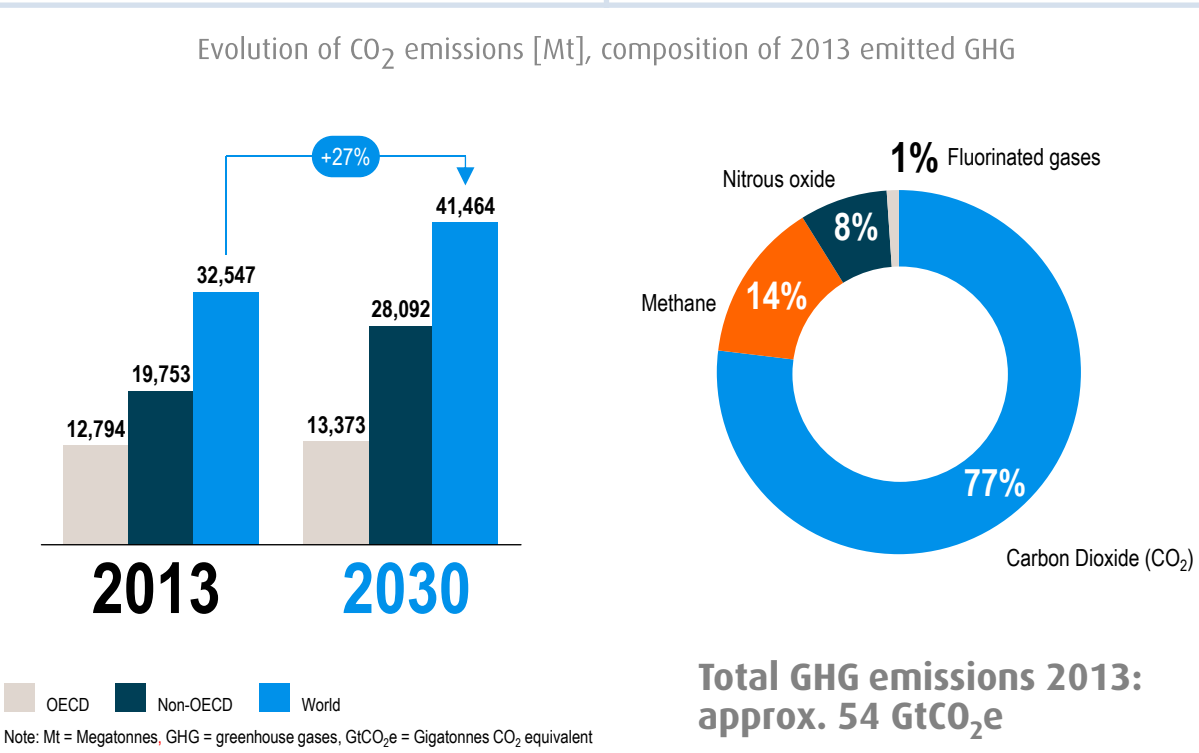
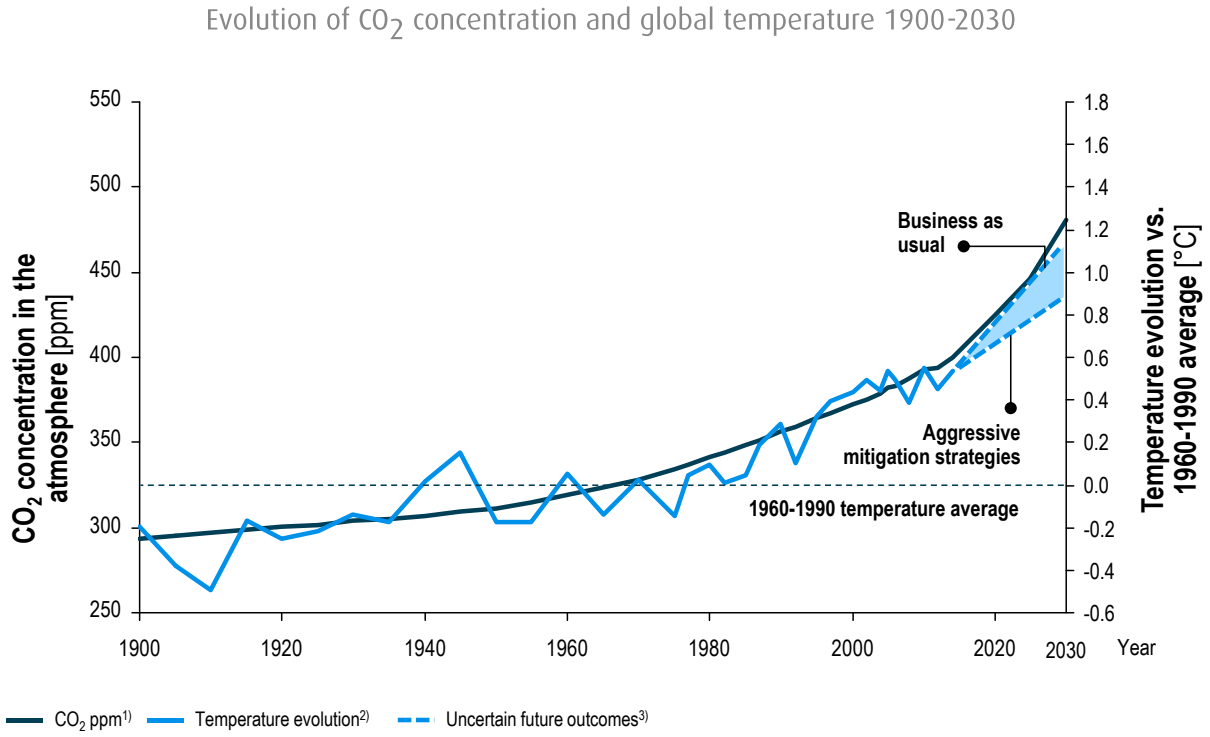


Fig. 6a: Emissioni CO_2 al 2030 (Fonte: Roland berger) - *CO_2 emissions by 2030 (Source: Roland Berger)*

[14]Roland Berger Trend Compendium 2030, Trend 4: Climate change & ecosystem at risk, October 2014. (http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_Trend_Compendium_Climate_change_and_ecosystem_at_risk_20141107.pdf)

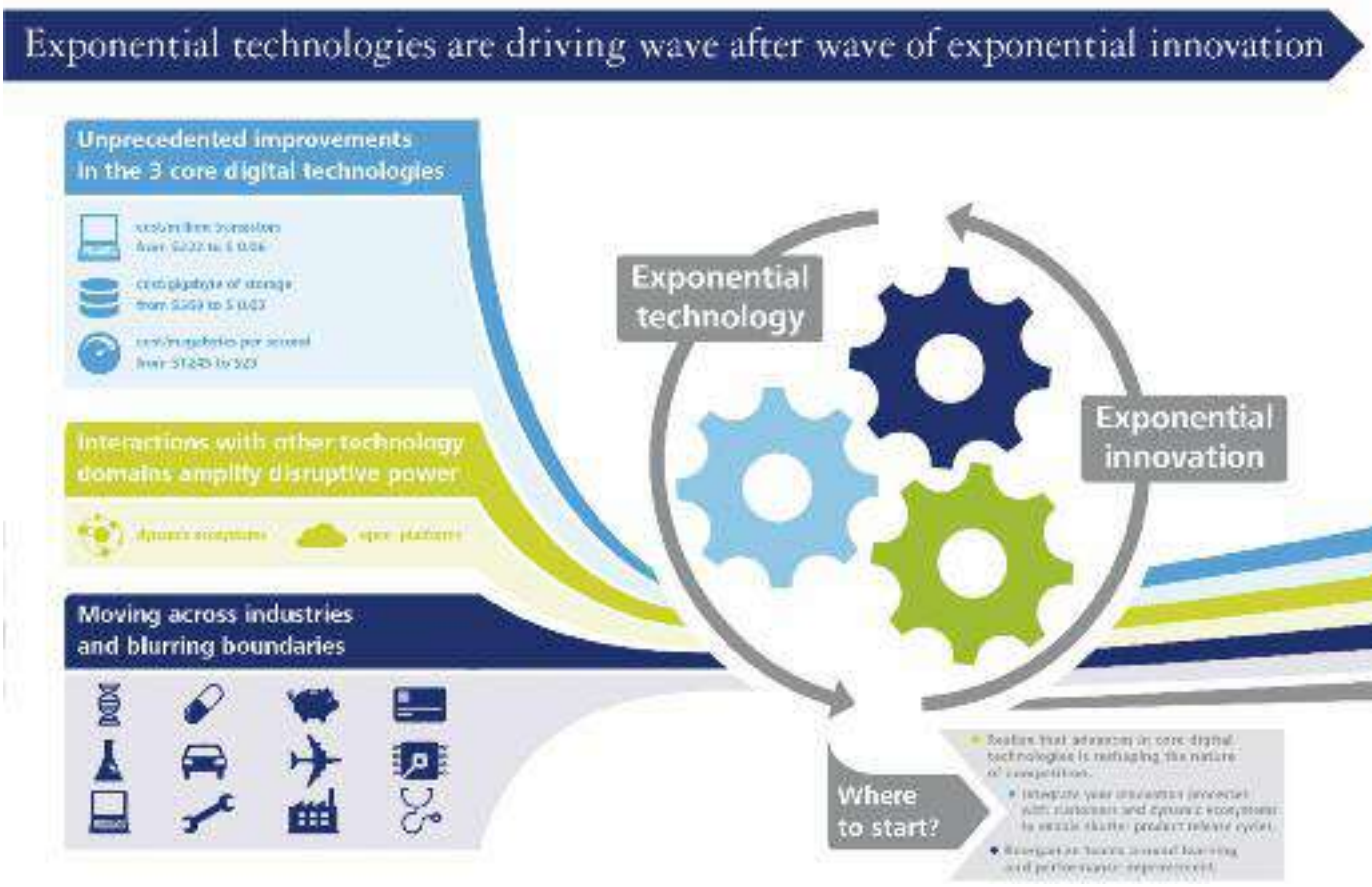
[15]http://ccafs.cgiar.org/blog/where-our-planet-headed-developing-pre-2030-development-agenda#.VGzltzTF9Bo

[16]http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/climate-action-environment-resource-efficiency-and-raw-materials



1) CO_2 ppm assumptions following IPCC A1FI scenario as business as usual scenario, 2) Annual median temperature relative to 1960-1990 average,
3) Uncertain futureoutcomes refer to the scenarios RCP2.6 (aggressive mitigation strategies) and RCP8.5 (business as usual)

Fig. 6b: Innalzamento temperatura al 2030 (Fonte: Roland berger) - *Temperature rise by 2030 (Source: Roland Berger)*



1.5 Accelerazione dell'avanzamento tecnologico

L'accelerazione dell'avanzamento tecnologico caratterizza lo scenario globale. Così come sono esponenziali le curve di crescita della popolazione e quelle dei consumi di energia, acqua e delle altre risorse, sopra evidenziate, allo stesso modo lo è la curva dello sviluppo tecnologico. La legge di Moore stabilisce che le prestazioni dei processori raddoppiano ogni 18 mesi, ma regole analoghe guidano il progresso tecnologico in altri campi: dal rendimento dei pannelli fotovoltaici alla complessità del sistemi di intelligenza artificiale. In tutte le tecnologie GRIN (Genetica, Robotica, Informatica, Nanotech) i costi si abbassano drasticamente, mentre crescono vertiginosamente le possibilità di incidere sulla vita dell'uomo[17]. In questo scenario sarà inoltre sempre più rilevante l'integrazione delle tecnologie avanzate. Se, infatti, individualmente ogni tecnologia avanzata possiede un elevato potenziale di innovazione, l'integrazione e la cross-fertilizzazione di tecnologie differenti è di particolare importanza poiché la combinazione di tecnologie offre una

1.5 Acceleration of technological progress

The acceleration of technological progress characterises the global scenario. Just as the growth curves of the population and those relating to the consumption of energy, water and other resources are exponential, as highlighted above, so too is the curve of technological development. Moore's law states that the performance of processors doubles every 18 months, but similar rules guide technological progress in other fields: from the performance of solar panels to the complexity of artificial intelligence systems. In all GRIN technologies (Genetics, Robotics, Information technologies, Nanotech), costs fall dramatically, while the possibility of their impact on human life grows exorbitantly[17]. In this scenario the integration of advanced technologies will be increasingly relevant. If, in fact, individually each advanced technology has a high potential for innovation, the integration and cross-fertilisation of different technologies is of particular importance, as the combination of technologies

[17]From exponential technologies to exponential innovation - Report 2 in the 2013 Shift Index series, Deloitte University Press.

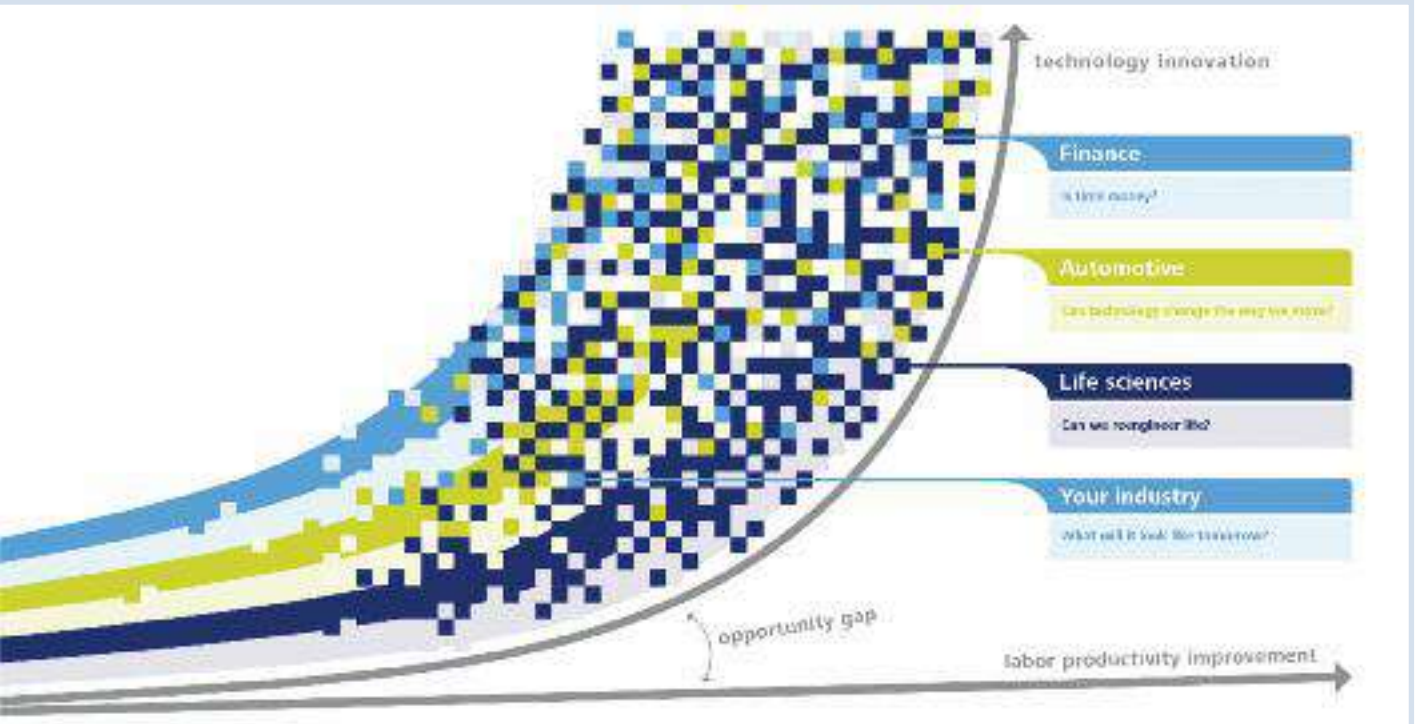


Fig. 7: Avanzamento tecnologico (Fonte: Deloitte) - *Technological progress (Source: Deloitte)*

serie possibilità ancora superiori di favorire l'innovazione e creare nuovi mercati.

Per fronteggiare una sempre maggiore turbolenza e nervosismo dei mercati, che esprimono cambiamenti improvvisi e imprevedibili della domanda, costituiscono un requisito imprescindibile la maggiore flessibilità e riconfigurabilità produttiva. Allo stesso modo, questa attitudine è alla base dei sistemi dedicati alla realizzazione di prodotti personalizzati che, sempre di più, devono adattarsi alle caratteristiche e ai requisiti di specifici clienti o categorie di consumatori. L'interazione con il singolo individuo, inteso sia come cliente che come lavoratore o cittadino, è quindi un altro degli aspetti che in misura crescente influenzeranno l'economia e la società. I sistemi produttivi devono così adattarsi, oltre che dal punto di vista delle tecnologie di produzione, anche da quello della vicinanza ai clienti, in modo da comprenderne a fondo le esigenze e da offrire una relazione di prossimità che possa soddisfarne proattivamente i bisogni in continua evoluzione.

offers an even greater series of possibilities to favour innovation and create new markets.

To cope with an increasing turbulence and nervousness of markets, which reflect sudden, unpredictable changes in demand, greater flexibility and production reconfigurability are essential requirements. In the same way, this attitude is the foundation of systems dedicated to the creation of customised products, which have to adapt increasingly to the characteristics and requirements of specific customers and target groups. Interaction with the individual, intended both as the consumer and the employee or the citizen, is therefore another aspect that will increasingly influence the economy and society. Manufacturing systems have to adapt, not only from the point of view of production technologies, but also with regard to the proximity to customers, in order to fully understand their requirements and offer a close relationship that can proactively satisfy constantly changing needs.

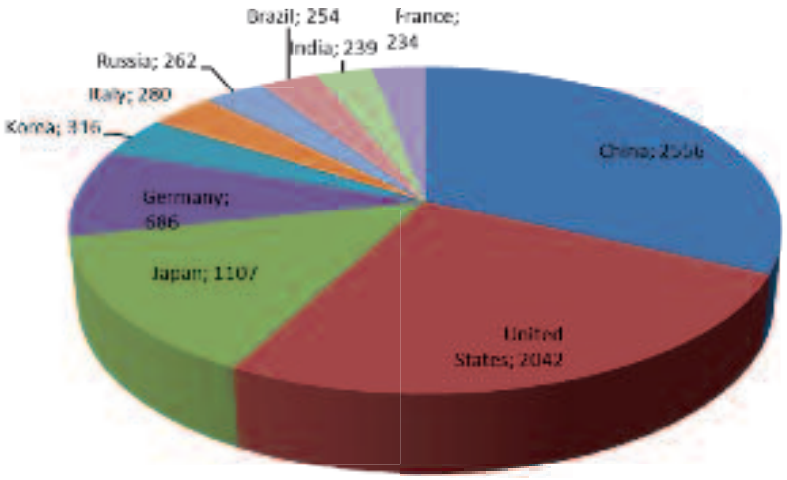
2 Lo scenario industriale italiano

Il settore manifatturiero italiano rappresenta il 15% del PIL generato nel nostro Paese, con un fatturato di 906 miliardi di euro (2012) e un valore aggiunto di circa 200 miliardi (2012)[18] creati grazie a quasi 4 milioni di lavoratori (23% della forza lavoro totale) impegnati in più di 417 mila imprese. Si stima, inoltre, che per ogni posto di lavoro nell'industria, si creino circa due posti supplementari nei servizi ad essa associati. Al 2012 l'Italia è tra i primi sei Paesi al mondo per il valore aggiunto generato dal manifatturiero dove i primi 10 Paesi rappresentano il 70% del valore aggiunto mondiale. Le serie storiche mostrano che negli ultimi anni la manifattura ha avuto un andamento pressoché stabile in tutti i paesi in cui gioca un ruolo rilevante registrando una forte crescita solo in Cina e una moderata crescita dopo il 2009 in Paesi come gli Stati Uniti, il Giappone e la Germania.

2 Industrial scenario in Italy

The Italian manufacturing sector represents 15% of the GDP generated in our country, with a turnover of 906 billion euro (2012) and added value of approximately 200 billion (2012)[18] created thanks to almost 4 million workers (23% of the overall workforce) employed by more than 417,000 companies. Moreover, it is estimated that, for each job in industry, approximately two supplementary jobs are created in services connected to it. In 2012, Italy was among the top six countries in the world in terms of added value generated by manufacturing, where the top 10 countries represent 70% of the global added value. Historical series show that, in recent years, manufacturing has been more or less stable in all countries where it plays an important role, recording strong growth only in China and moderate growth after 2009 in countries such as the United States, Japan and Germany.

Top 10 countries in terms of added value of manufacturing sector, 2012 (Billion $)



Historical trend of the top six countries in terms of added value, 2012 (Billion $)

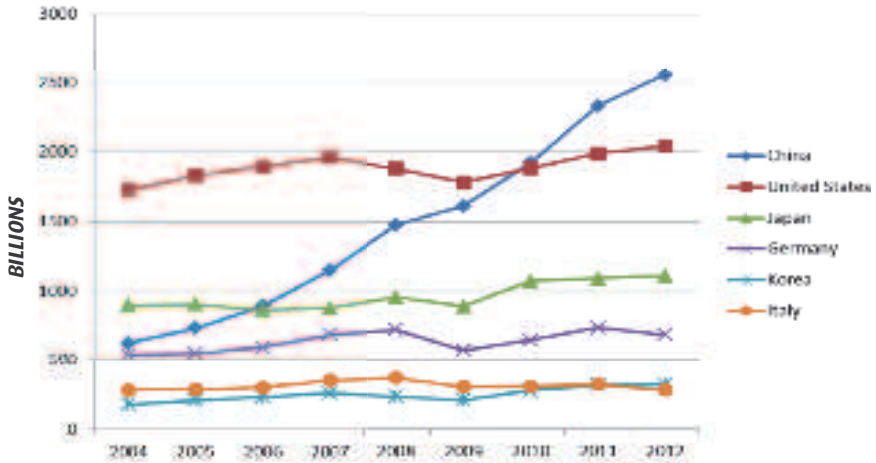


Fig. 8: Il settore manifatturiero mondiale (Fonte: UNCTAD-ONU) - *The global manufacturing sector (Source: UNCTAD-ONU)*

[18] Eurostat.

Analizzando i dati a livello europeo, l'Italia si posiziona al secondo posto dopo la Germania per produzione manifatturiera con un numero di aziende molto più consistente rispetto alla media europea, ma con un numero di addetti per azienda molto più ridotto a dimostrazione della forte frammentazione del settore.

Analysing the figures at European level, Italy ranks second, behind Germany, for manufacturing, with a much higher number of companies than the European average but with fewer employees per company, demonstrating the significant fragmentation of the sector.

Fig. 9: Indicatori manifatturiero primi 5 Paesi europei, 2011 (percentuali sul totale europeo) (Fonte: Eurostat)
Manufacturing ratios for the top five European countries, 2011 (percentage of European total) (Source: Eurostat)

Il manifatturiero dei primi 5 paesi europei (Germania, Italia, Francia, Spagna, Regno Unito) rappresenta circa il 70% del valore aggiunto e del fatturato prodotto in Europa (l'Italia pesa rispettivamente per il 11,84% e per il

Manufacturing in the top five European countries (Germany, Italy, France, Spain and the United Kingdom) represents approximately 70% of the added value and turnover produced in Europe (Italy accounts for 11.84%

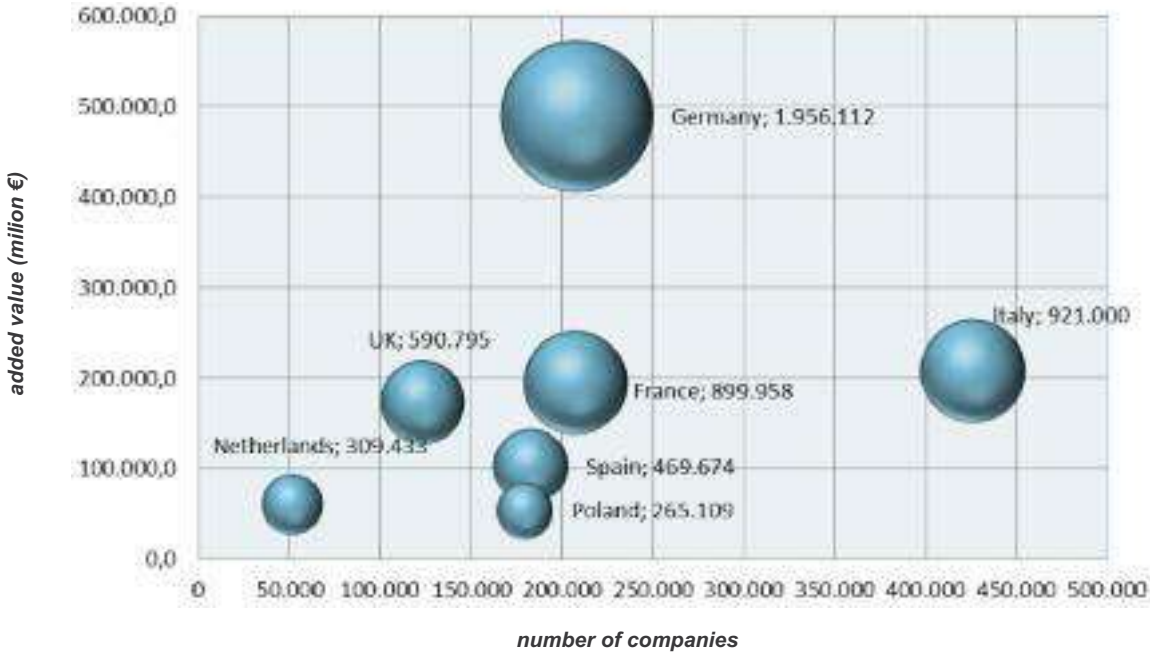


Fig. 10: Manifatturiero in Europa al 2011[19] (Fonte: Eurostat) - *Manufacturing in Europe in 2011[19] (Source: Eurostat)*

[19]Dimensione bolla =valore del fatturato in mil. Euro.

12,86%), mentre rappresenta il 55% delle imprese e poco più del 60% degli addetti nel settore.

Se si analizza più in dettaglio la composizione del manifatturiero italiano, spiccano ai primi posti per fatturato la fabbricazione di beni strumentali (macchine utensili e sistemi produttivi) seguiti dall'agroalimentare e dalla fabbricazione dei prodotti in metallo sia per fatturato sia per valore aggiunto ed esportazioni (classificazione NACE).

and 12.86%, respectively) while it represents 55% of the companies and just over 60% of the employees in the sector.

If we analyse the breakdown of Italian manufacturing more closely, instrumental goods (machine tools and production systems) are at the top of the list, followed by food products and metal products in terms of turnover and added value as well as exports (NACE ranking).

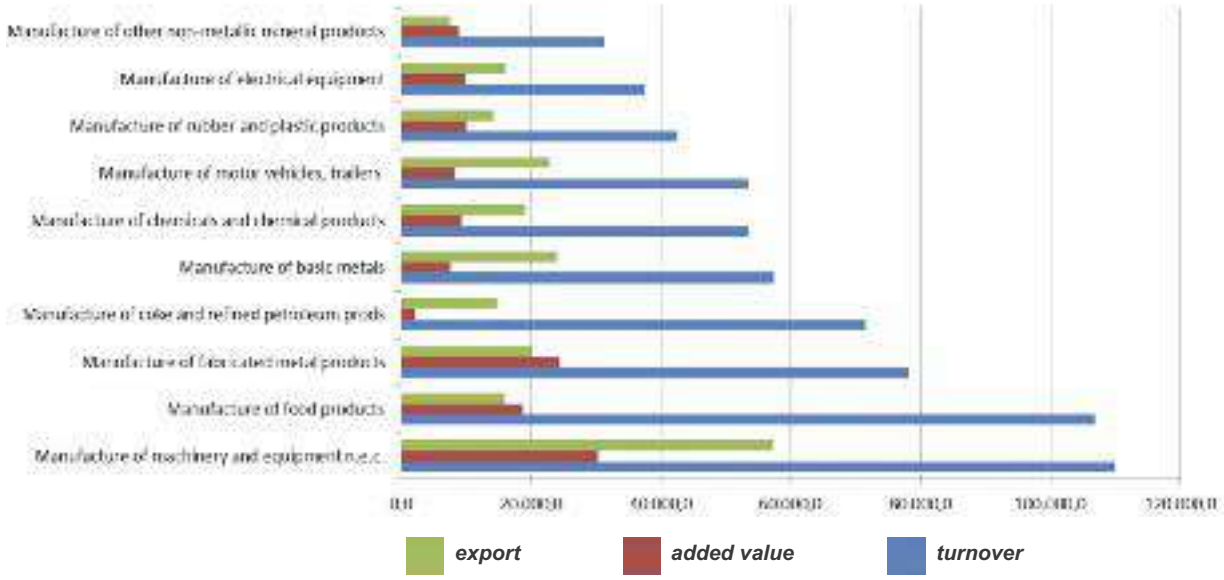


Fig. 11: Le prime 10 categorie del manifatturiero italiano in mil.€, 2012 (Fonte: Eurostat)
The top 10 Italian manufacturing categories in millions of €, 2012 (Source: Eurostat)

In generale, per quanto riguarda l'export, nel 2012 il settore manifatturiero italiano ha registrato un'attività pari a 306 miliardi di euro e, in termini di destinazione, le esportazioni italiane sono rivolte per la maggior parte al di fuori dell'Europa[20]. In particolare i beni strumentali continuano ad essere il primo settore dell'export italiano, assicurando così all'Italia una posizione molto forte nel panorama internazionale. Non sono infine da dimenticare l'importanza e il valore attribuito nel mondo ai prodotti del nostro manifatturiero che hanno permesso di associare al Made in Italy una immagine di qualità, design e tradizione.

L'Italia è il secondo esportatore europeo dopo la Germania. L'export assume quindi una rilevanza strategica per il Paese e conferma l'elevato livello di competitività internazionale del nostro manifatturiero. L'Italia è, inoltre, leader mondiale nell'export per 249 nicchie di prodotto

In general, as regards exports, in 2012, the Italian manufacturing sector recorded assets of 306 billion euro and, in terms of destination, Italian exports were mostly sent to countries outside Europe . Instrumental goods in particular continue to be the leading Italian export sector, putting Italy in a very strong position within the international panorama. Finally, we should not overlook the importance and value attributed globally to our manufactured goods, which have made it possible to associate the words "Made in Italy" with an image of quality, design and tradition.

Italy is the second European exporter, after Germany. Exports, therefore, take on strategic importance for our country and confirm the high level of international competitiveness of our manufacturing sector. Italy is the world leader in exports for 249 product niches (71 billion dollars) and there are more than 1,500 niches in which

[20] Confindustria

(71 miliardi di dollari) e le nicchie in cui l'Italia detiene almeno il quinto posto sono più di 1.500 per un valore di 253 miliardi di dollari l'anno[21]. Questo evidenzia che l'export italiano non solo ha dimensioni ragguardevoli ma detiene una posizione di forza sui mercati che alimenta prospettive positive.

Dati previsionali per il 2014 dimostrano che in paesi come gli USA o la Cina il successo del Made in Italy si è tradotto in un aumento del 6,4% delle vendite per arredamento, del 6,8% per alimentari e bevande, di quasi dieci punti per abbigliamento e tessile e di ben 16% per macchinari e apparecchiature[22].

Per quanto riguarda l'occupazione nel settore manifatturiero nel nostro Paese è pari a circa 4 milioni di unità (2012 conferma i numeri del 2011) con il 23% degli addetti complessivi[23] e il 13% degli occupati del manifatturiero europeo.

Se si considera il settore di applicazione della spesa per Ricerca e Sviluppo a livello italiano (R&S), la rilevanza del manifatturiero risulta ancora più evidente. Secondo i dati ISTAT del 2010, ben il 78,4% del totale della spesa in R&S effettuata in Italia è assegnabile all'industria manifatturiera. Si evidenzia anche il rilevante ruolo di induzione di domanda di servizi avanzati da parte del sistema manifatturiero: circa la metà della spesa in R&S effettuata dai comparti dei servizi di informazione e comunicazione e degli altri servizi è svolta su commessa del settore manifatturiero, che si conferma quindi un importante motore di sviluppo.

L'Italia inoltre gioca un ruolo rilevante in tutte le iniziative europee di riferimento per il manifatturiero quali le PPP (Public Private Partnership) come, ad esempio, "Factories of the Future" (dove l'Italia è ben posizionata, essendo il secondo Paese per finanziamenti acquisiti), "Spire" (che si occupa dei finanziamenti per l'industria di processo) e nella piattaforma Manufuture, riconosciuta anche nel nuovo programma H2020. Queste iniziative hanno lo scopo di definire un'immagine organica di sistema e supportare la ricerca e l'innovazione nel settore manifatturiero. Nell'ambito delle KET (Key Enabling Technologies), le cross KET e la KET "Advanced Manufacturing" attribuiscono un ruolo centrale al settore manifatturiero così come altre tecnologie abilitanti quali ICT, Photonics e Robotics.

Italy ranks at least fifth, with a total value of 253 billion dollars annually[21]. This highlights not only the substantial size of exports, but also that they occupy a strong position in the markets, allowing hope for the future.

Forecasts for 2014 show how, in countries such as the USA and China, the success of "Made in Italy" translates into an increase of 6.4% in sales of furniture, 6.8% for food and beverages, almost 10% for clothing and textiles and no less than 16% for machinery and equipment[22].

As regards employment, in the Italian manufacturing sector it stands at approximately 4 million employees (2012 confirms the figures for 2011), with 23% of the total workforce[23] and 13% of employees in the European manufacturing sector.

Research and development activities bring innovation to the manufacturing sector. If we consider the application sector of research and development (R&D) costs at the Italian level (R&D), the importance of manufacturing becomes even more evident. According to ISTAT figures from 2010, no less than 78.4% of the total Italian R&D expenditure can be attributed to the manufacturing industry. The important role of the induction of demand for advanced services by the manufacturing system is also highlighted: approximately half of R&D spending on information and communication services and other similar services was not carried out independently, but was commissioned by the manufacturing sector, which is confirmed as being an important driver of development.

Moreover, Italy plays an important role in all European initiatives related to the manufacturing sector, such as PPPs (Public Private Partnerships) and "Factories of the Future" (where Italy is well positioned, being the second country in temrs of funding acquired), "Spire" (which deals with funding for the process industry) and the "Manufuture" platform, recognised also in the new H2020 programme. These initiatives aim to define an organic system image and support research and innovation in the manufacturing sector. Within the scope of KETs (Key Enabling Technologies), cross KETs and the "Advanced Manufacturing" KET assign a central role to the manufacturing sector, as do other enabling technologies such as ICTs, Photonics and Robotics. All these actions also allow Italy to enhance the importance of a rebirth in manufacturing on several fronts.

[21] Fonte: Il Sole 24 Ore", 20 Febbario 2012 e 14 febbraio 2012

[22] Estrazione ISTAT, Il Sole 24 Ore, 2014.

[23] http://www.istat.it/it/files/2012/06/Asia2010_2ver.pdf

3 La mappatura delle tecnologie abilitanti

Con lo scopo di definire la strategia di ricerca e innovazione in maniera concertata rispetto al contesto europeo, nazionale e regionale, CFI ha acquisito la mappatura delle tecnologie abilitanti proposta dall'Associazione Fabbrica Intelligente Lombardia (AFIL) che ha analizzato i principali documenti di roadmap del settore manifatturiero, categorizzando, le tecnologie più importanti per il settore stesso. Le roadmap e i documenti programmatici che sono stati presi in considerazione, in quanto attinenti al settore manifatturiero, fanno riferimento ai seguenti ambiti:

- **EFFRA** (European Factories of the Future Research Association) – Manifatturiero discreto;
- **SPIRE** (Sustainable Process Industry through Resource and Energy Efficiency) – Manifatturiero continuo;
- **Photonics21** – Fotonica;
- **euRobotics AISBL** – Robotica;
- **IMS2020** (Roadmap on Global Sustainable Manufacturing) – Manufacturing;
- **ActionPlanT** – ICT for Manufacturing;
- **EUMAT** (Materials for Life Cycle)– Materials;
- **Nanofutures** (European Technology Integrating and Innovation Platform on Nanotechnology) – Micro- and Nano-Manufacturing;
- Progetto Bandiera "**La Fabbrica del Futuro**" Programma di ricerca nazionale sul manifatturiero avanzato;
- Cluster Tecnologico Nazionale "**Fabbrica Intelligente**" Piano strategico e progetti del Cluster Nazionale "Fabbrica Intelligente".

Gli ambiti comuni sono stati identificati e le tematiche sono state raggruppate in categorie omogenee per contenuto e livello di dettaglio. Il processo seguito da AFIL ha portato alla costruzione di un'ampia mappa di tecnologie, che richiedono attività di ricerca e innovazione ritenute

3 The mapping of enabling technologies

With the aim of defining the research and innovation strategy in a shared European, national and regional context, CFI has acquired the mapping of enabling technologies proposed by the AFIL association (Associazione Fabbrica Intelligente Lombardia). AFIL has analysed the main roadmap documents of the manufacturing sector and has categorised the most important technologies for the manufacturing sector. The roadmaps and programmatic documents that have been taken into consideration refer to the following areas:

- ***EFFRA*** *(European Factories of the Future Research Association) – Discrete manufacture;*
- ***SPIRE*** *(Sustainable Process Industry through Resource and Energy Efficiency) – Process Industry;*
- ***Photonics21*** *– Photonics;*
- ***euRobotics AISBL*** *– Robotics;*
- ***IMS2020*** *(Roadmap on Global Sustainable Manufacturing) – Manufacturing;*
- ***ActionPlanT*** *– ICT for Manufacturing;*
- ***EUMAT*** *(Materials for Life Cycle) – Materials;*
- **Nanofutures** *(European Technology Integrating and Innovation Platform on Nanotechnology) – Micro- and Nano-Manufacturing;*
- *"**The Factory of the Future**" Flagship Project Programme of national research on advanced manufacturing;*
- *"**Intelligent Factory**" National Technological Cluster Strategic plan and projects of the National "Intelligent Factory" Cluster.*

The common research areas have been identified and the themes have been clustered with homogeneous contents and level of detail. The process followed by AFIL has led to the construction of a broad map of technologies, which require research and innovation activities

prioritarie per il settore manifatturiero a livello europeo e nazionale. Sono state identificate otto macro-categorie di tecnologie abilitanti, ciascuna delle quali è stata declinata con granularità crescente, fino a tre livelli di dettaglio.

Sulla base di questa mappa, sono stati inoltre classificati i documenti di programmazione regionale delle Regioni partecipanti al Cluster e altri documenti rilevanti che i cluster regionali hanno rilasciato (come ad esempio la

considered a priority for the manufacturing sector at European and Italian level. Eight clusters of enabling technologies have been identified, each one with two levels of specification.

On the basis of this map of enabling technologies, the regional programming documents of the Italian regions taking part in the Cluster and other important documentation issued by the regional clusters (e.g. the AFIL

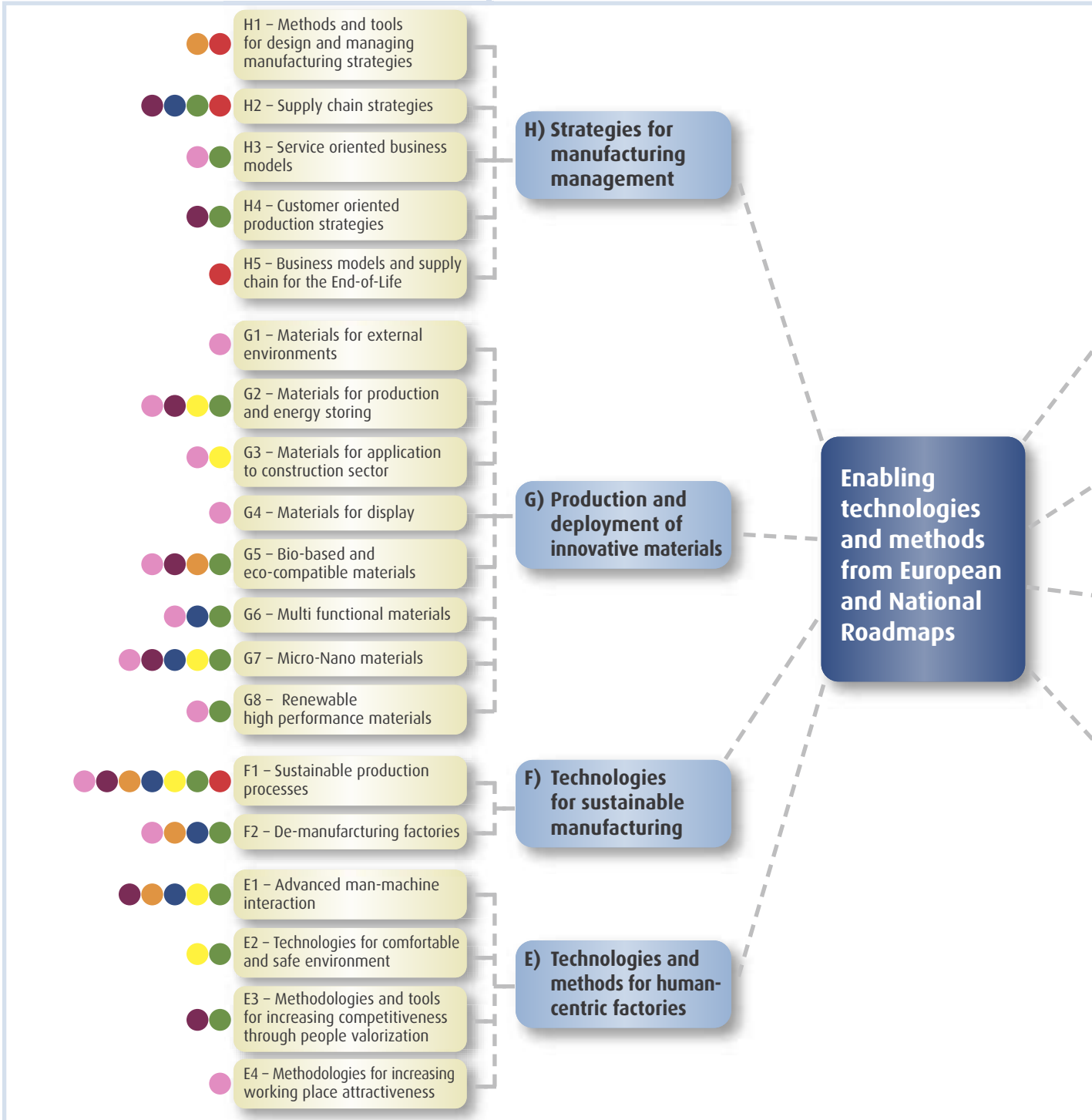
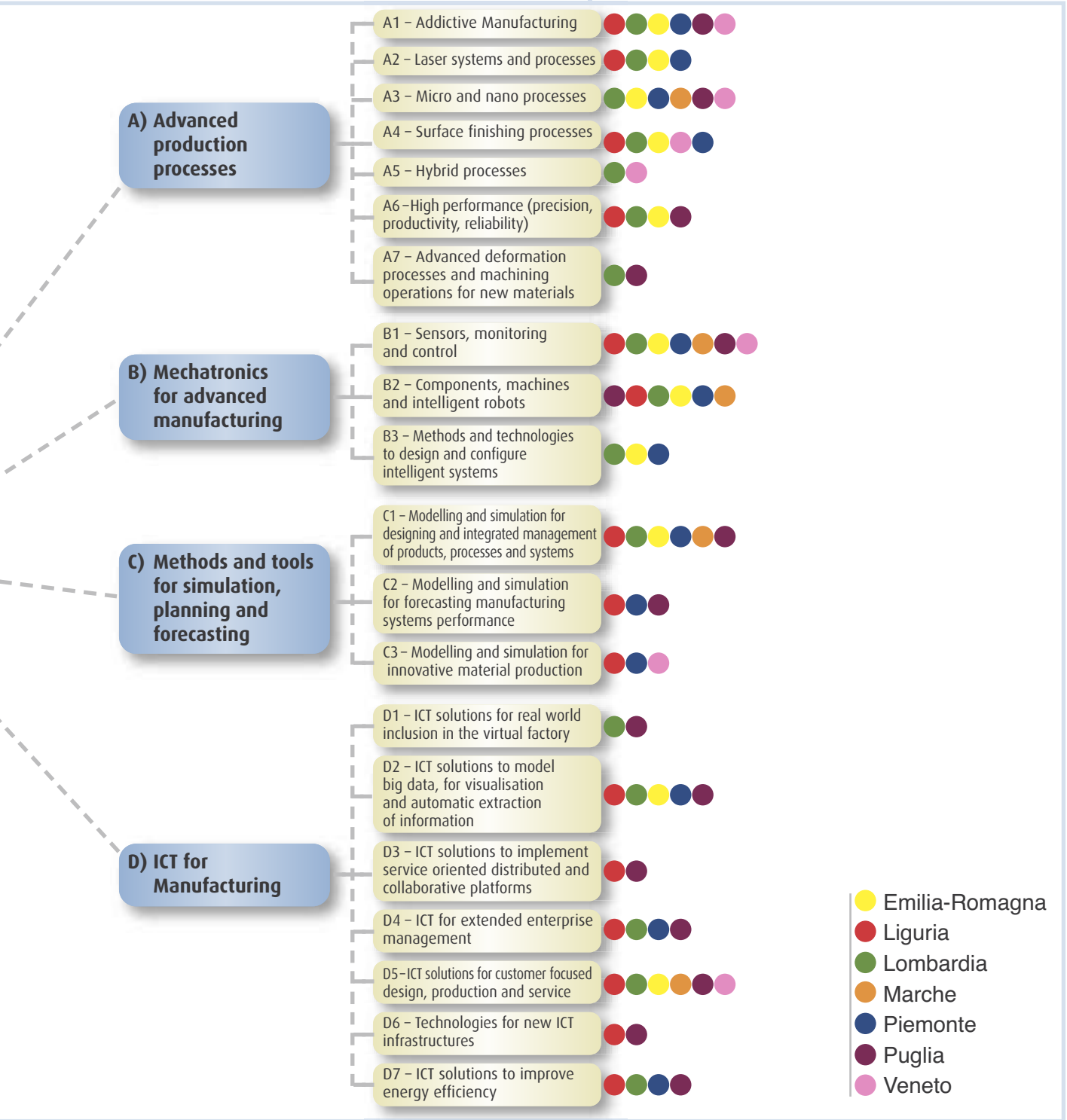


Fig. 12: Mappatura delle tecnologie abilitanti - *Mapping of the enabling technologies*

Roadmap AFIL del cluster regionale lombardo o i documenti di Roadmap della Regione Emilia Romagna) per poter capire come le strategie regionali per la ricerca e l'innovazione condividano una visione su alcune tematiche tecnologiche. Il risultato di questa analisi è sinteticamente presentato in Fig. 12 e evidenzia quali tecnologie abilitanti sono considerate strategiche nelle regioni italiane partecipanti al cluster per il settore di specializzazione manifatturiero.

roadmap of the regional cluster for Lombardia or the roadmap documents of the Emilia Romagna region) have been classified, in order to enable understanding how the regional strategies for research and innovation share a single vision of certain technological issues. The results of this analysis are summarised in figure 12.



4 La Roadmap del Cluster Fabbrica Intelligente

I megatrend descritti dalla mappatura caratterizzano e influenzano lo scenario globale che anche il manifatturiero italiano deve fronteggiare. Le sfide specifiche poste dai megatrend devono essere affrontate implementando strategie industriali declinate attraverso lo sviluppo di opportune linee di intervento. Queste sfide, in alcuni casi legate alla crisi economico-finanziaria che ha fortemente caratterizzato i mercati in questi ultimi anni, hanno costretto i paesi europei a definire azioni forti per garantire la sostenibilità socio-economica volta al perseguimento del benessere economico, dell'aumento del livello occupazionale, del miglioramento del welfare dei cittadini, contribuendo a preservare l'ambiente e le risorse. In particolare l'Unione Europea, attraverso la strategia di Europa 2020 pone una serie di target specifici, che per l'Italia sono così definiti:

1. tasso di occupazione: 67-69% delle persone di 20-64 anni di età occupate;

2. R&S/innovazione: 1,53% del PIL (totale pubblico e privato) investito in R&S e innovazione;

3. cambiamento climatico/energia: riduzione del 13% delle emissioni di CO2 rispetto ai livelli del 1990; 17% dell'energia ottenuto da fonti rinnovabili; 27,9% di aumento dell'efficienza energetica;

4. istruzione: riduzione dell'abbandono scolastico al 15-16%; almeno il 26-27% dei 30-34enni con istruzione terziaria;

5. povertà/esclusione sociale: riduzione della popolazione a rischio di povertà o esclusione sociale pari a 2.200.000 di persone.

Per ottenere un forte impatto su crescita e lavoro, come pre-requisiti per una sostenibilità sociale che accolga i bisogni dei cittadini e dell'ambiente, gli obiettivi di lungo termine per il raggiungimento dei target e delle sfide sociali europee possono essere così identificati:

- aumentare il livello di occupazione creando nuovi posti di lavoro nel manifatturiero e invertendo il trend decrescente attuale e riportandoli ai livelli del 2007;

4 Roadmap of the Intelligent Factories Cluster

The described megatrends characterise and influence the global scenario of competition for the Italian manufacturing sector. The specific challenges posed by megatrends must be dealt with by implementing industrial strategies that follow the development of appropriate Strategic Action Lines. These challenges, arising from the economic-financial crisis that has strongly characterised markets in recent years, forced European countries to define strong actions to guarantee the socio-economic sustainability that pursues economic well-being, increases employment, improves citizens' welfare and contributes to preserving the environment and resources. In particular, the European Union, through the Europe 2020 strategy, has set a series of specific targets, which for Italy have been defined as follows:

1. *employment rate: 67–69 % of people aged 20–64 are employed;*

2. *R&D/innovation: 1.53% of GDP (public and private total) invested in R&D and innovation;*

3. *climate change/energy: reduction of 13% in CO_2 emissions compared to the levels of 1990; 17% of energy obtained from renewable sources; 27.9% increase in energy efficiency;*

4. *education: reduction of 15–16 % in scholastic abandonment; at least 26–27 % of 30–34-year-olds complete tertiary education;*

5. *poverty/social exclusion: reduction in population at risk of poverty or social exclusion to 2,200,000 people.*

As prerequisites for social sustainability that embraces the needs of the citizens and the environment, the long-term goals to reach European targets and social challenges to allow Italy to have a strong impact on growth and work can be identified as:

- *increase the level of employment, creating new jobs in manufacturing, reversing the current negative trend and bringing it back to the levels of 2007;*

- aumentare il valore aggiunto dal manifatturiero, attraverso un miglior posizionamento delle imprese italiane nella catena globale del valore per rispondere ai bisogni dei mercati emergenti;

- ridurre l'impatto ambientale attraverso la riduzione dell'emissione dei gas ad effetto serra derivanti dalle attività manifatturiere, la riduzione del consumo di energia, e di materiali derivante dalle attività manifatturiere, la riduzione degli scarti prodotti dalle attività manifatturiere e la realizzazione di eco-prodotti ed eco-tecnologie;

- migliorare l'impatto sociale rendendo più attrattivi i posti di lavoro nel manifatturiero, in termini di maggior sicurezza, inclusione e realizzazione personale e incrementando l'integrazione dell'industria in un contesto urbano in continua espansione per soddisfare in modo mirato le esigenze specifiche di confort, salute e benessere dei consumatori;

- aumentare gli investimenti in ricerca e sviluppo nel manifatturiero, sfruttando le opportunità offerte dall'accelerazione tecnologica in corso legate principalmente allo sviluppo di nuove tecnologie, all'integrazione di tecnologie avanzate e alla pervasività di internet e della meccatronica. Favorire la creazione di un percorso di ricerca e innovazione integrato che parta dalla ricerca di base e attraverso la ricerca e l'innovazione porti alla valorizzazione delle conoscenze in ambiti industriali;

- incrementare il numero delle aziende manifatturiere strategicamente coinvolte in attività di innovazione per far fronte a condizioni di mercato sempre più incerte ed imprevedibili attraverso la valorizzazione delle competenze territoriali specifiche;

- aumentare l'interesse delle nuove generazioni verso le tematiche riguardanti il manifatturiero. Innalzamento del livello di conoscenze e competenze degli operatori del settore manifatturiero per favorire la competitività delle imprese e la creazione di posti di lavoro non influenzati dalla competizione dei paesi a basso costo della manodopera. Introdurre nuovi format di apprendimento in grado di garantire l'innalzamento congiunto di conoscenze e di competenze. Favorire il consolidamento dei corsi di Dottorato che fanno riferimento al manifatturiero.

- *increase the added value of the manufacturing sector, thanks to a better positioning of Italian enterprises in the global chain of value, to meet the needs of emerging markets;*

- *reduce the environmental impact by reducing the emission of greenhouse gases resulting from manufacturing activities, the reduction of energy consumption and of materials deriving from manufacturing activities, the reduction of waste produced by manufacturing activities and the creation of eco-products and eco-technologies;*

- *improve the social impact, making manufacturing jobs more attractive, in terms of greater safety, inclusion and personal achievement, and improve the integration of industry in an urban context that is constantly expanding to satisfy the specific demands of consumer comfort, health and well-being;*

- *increase R&D investments in the manufacturing sector, exploiting the opportunities offered by technological acceleration linked mainly to the development of new technologies, the integration of advanced technologies and the pervasiveness of the Internet and mechatronics. Favour the creation of an integrated path of research and innovation that starts from basic research and leads, through research and innovation, to the improvement of knowledge in industrial spheres;*

- *increase the number of manufacturing companies strategically involved in innovation activities to cope with increasingly uncertain and unpredictable market conditions through the improvement of specific territorial skills;*

- *increase the interest of younger generations in manufacturing. Increase the level of knowledge and skill of operators in the manufacturing sector to favour the competitiveness of businesses and the creation of jobs that are not influenced by competition from countries with cheap labour. Introduce new learning formats capable of guaranteeing the joint improvement of knowledge and skills. Favour the strengthening of PhD courses relating to manufacturing.*

The specific challenges were defined on the basis of the analysis of the socio-economic megatrends and the state

Come descritto precedentemente sulla base dell'analisi dei megatrend socio-economici e dello stato del settore manifatturiero italiano sono state definite le sfide specifiche per il settore, mentre la mappatura delle tecnologie abilitanti ha permesso di sistematizzare e inquadrare in base alle roadmap europee le principali tecnologie per il manifatturiero.

of the Italian manufacturing sector, while the mapping of enabling technologies organises and arranges the main manufacturing technologies on the basis of the European roadmaps.

Fig. 13: I megatrend e le sfide specifiche per il manifatturiero - *The megatrends and the specific challenges for manufacturing*

Partendo dai risultati scaturiti da queste analisi, sono state quindi definite le linee di intervento lungo le quali il manifatturiero italiano deve sviluppare delle azioni di ricerca e innovazione per i prossimi anni. Ogni linea di intervento risponde ad alcune sfide specifiche e permette di sfruttare al meglio alcune delle caratteristiche di eccellenza del manifatturiero italiano.

Starting with the results of these analyses, the Strategic Action Lines along which Italian manufacturing can develop research and innovation activities for the years to come have been defined. Each Strategic Action Line meets some specific challenges and permits the best exploitation of some of the characteristics of the Italian manufacturing sector.

Nella tabella seguente (Tab. 1) è infine presentata la mappatura tra le tecnologie abilitanti definite nella mappa in Fig. 12, e le linee di intervento dalla quale emerge che

The following table shows the mapping between the enabling technologies defined in the map in figure 12, and the Strategic Action Lines and reveals that each of

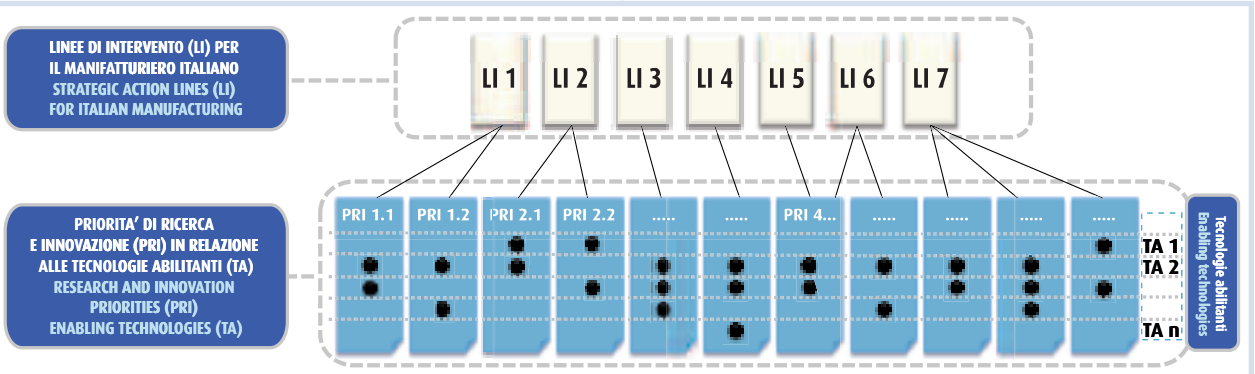


Fig. 14: Lo sviluppo delle linee di intervento - *The development of the strategic action lines*

ogni linea di intervento richiede azioni di ricerca e innovazione focalizzate su diverse tecnologie abilitanti. Ogni codice della tabella corrisponde ad una tecnologia abilitante elencata nella Fig. 12. I capitoli che seguono forniscono una descrizione dettagliata delle linee di intervento identificate e delle priorità di ricerca ed innovazione e relative tecnologie abilitanti da esse richieste.

the lattest and its respective research priorities are based on the development of a variety of enabling technologies. Each code of the table corresponds to an enabling technology listed in figure 12. The following chapters provide a detailed description of the Strategic Action Lines and the related research and innovation priorities with the required enabling technologies

		Linee di intervento - *Strategic action lines*						
		LI1 - Strategie per la produzione personalizzata *LI1 - Strategies for personalised production*	LI2 - Strategie, metodi e strumenti per la sostenibilità industriale *LI2 - Strategies, methods and tools for industrial sustainability*	LI3 - Sistemi per la valorizzazione delle persone nelle fabbriche *LI3 - Factories for Humans*	LI4 - Sistemi di produzione ad alta efficienza *LI4 - High-efficiency production systems*	LI5 - Processi produttivi innovativi *LI5 - Innovative production processes*	LI6 - Sistemi di produzione evolutivi e adattativi *LI6 - Evolutive and adaptive production systems*	LI7-Strategie e managent per i sistemi produttivi di prossima generazione *LI7-Strategies and management for next generation production systems*
	Priorità di ricerca e innovazione (PRI) ***Research and innovation priorities of (PRI)***	PRI1.1, PRI1.2, ..., PRI1.n	PRI2.1, PRI2.2, ..., PRI2.m	PRI3.1, PRI3.2, ..., PRI3.p	PRI4.1, PRI4.2, ..., PRI4.o	PRI5.1, PRI5.2, ..., PRI5.q	PRI6.1, PRI6.2, ..., PRI6.r	PRI7.1, PRI7.2, ..., PRI7.s
Tecnologie Abilitanti - Enabling technologies	Processi di produzione avanzati *Advanced production processes*	A1, A2, A4			A1	A1, A2, A3, A5, A7		A1, A2
	Meccatronica per il manifatturiero avanzato *Mechatronics for advanced manufacturing*			B1	B2		B1, B2, B3	
	Metodi e strumenti di modellazione, simulazione e supporto alle previsioni *Methods and tools for simulation, planning and forecasting*	C1	C1	C1			C1, C2	C1, C2
	ICT per il manifatturiero *ICT for Manufacturing*	D2, D3, D4 D5	D2, D4, D6 D7	D1, D4	D2, D3, D6 D7		D5	D3, D4
	Tecnologie e metodi per la fabbrica per le persone - *Technologies and methods for human-centric factories*		E1, E2	E1, E2, E3 E4			E1	
	Tecnologie per un manifatturiero sostenibile *Technologies for sustainable manufacturing*	F1	F1, F2		F2	F1		
	Produzione di materiali innovativi - *Production and deployment of innovative materials*	G5, G6, G7	G2, G5, G8	G6				
	Strategie e management per il manifatturiero *Strategies and management for manufacturing*	H1, H2, H4	H2, H5	H4	H1		H1	H1, H5

Tab. 1: Mappatura tra le linee di intervento e le tecnologie abilitanti - *Mapping between the strategic action lines and enabling technologies*

4.1 LI1: Sistemi per la produzione personalizzata

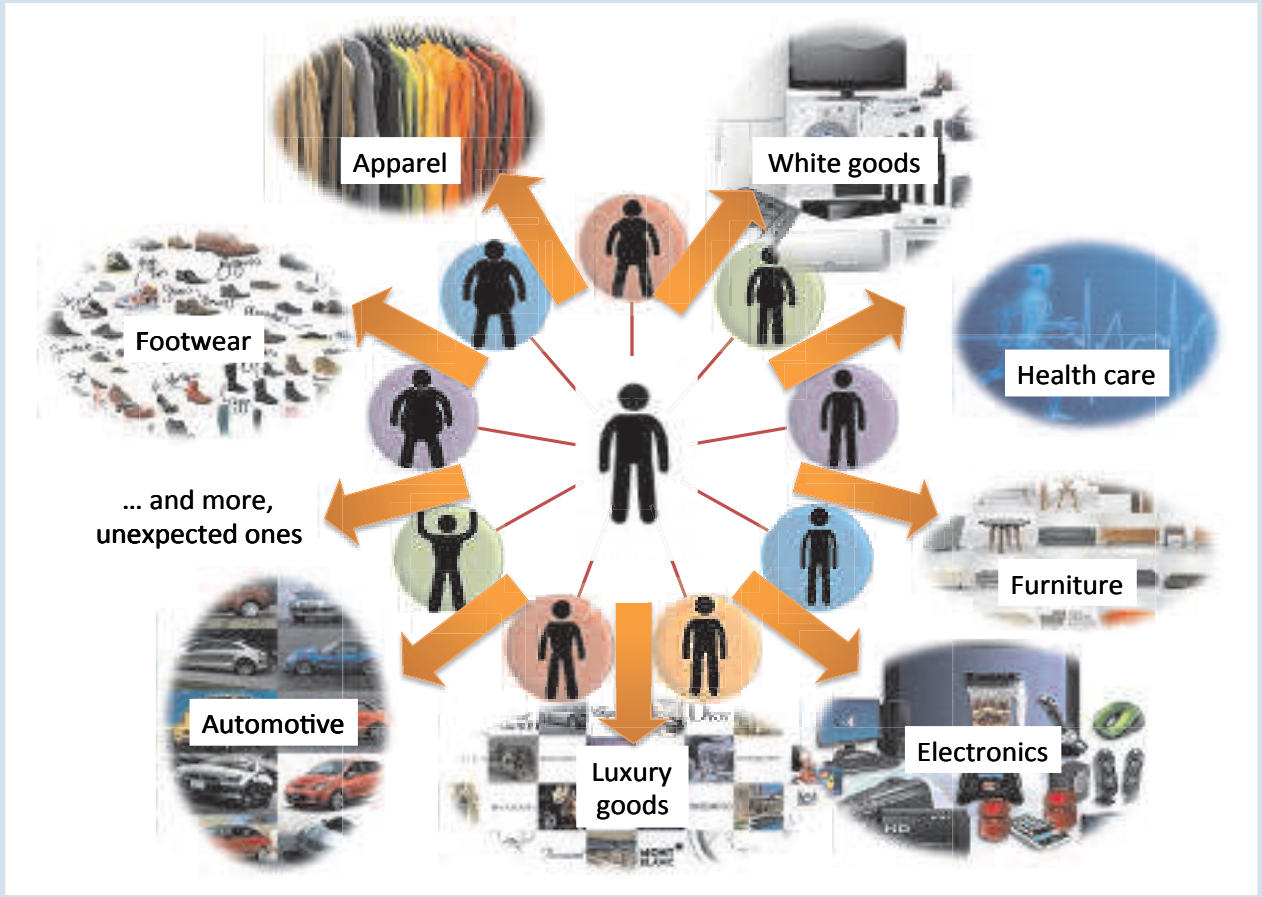
La produzione personalizzata è emersa negli ultimi 15 anni come una delle strategie che permette alle aziende di differenziare la propria offerta attraverso prodotti innovativi ad alto valore aggiunto. Questo approccio permette di fornire ai consumatori, e alle relative nicchie di mercato, prodotti personalizzati rispondenti ai loro bisogni specifici, realizzati su larga scala grazie ad alti livelli di flessibilità dei sistemi produttivi.

Nel caso dei beni di consumo (abbigliamento, calzature, articoli per lo sport, occhiali, ...) l'elevato livello di customizzazione permette di enfatizzare la forza del Made in Italy offrendo ai consumatori finali, anche in settori tradizionali, un prodotto che coniuga in soluzioni avanzate design e stile, aspetti fashion ma anche prestazioni funzionali e comfort. Anche prodotti medicali (protesi ortopediche, dentistiche, ...), o beni durevoli (automobili, cucine, ...) possono beneficiare di questo approccio cogliendo le opportunità e le sfide legate ad una crescente domanda, sia a livello europeo che mondiale, di prodotti che permettano al consumatore di differenziarsi, per valore, funzionalità e prestazioni.

4.1 LI1: Systems for personalised production

Customisation has emerged over the past 15 years as one of the strategies that can allow companies to differentiate their production through innovative products with high added value. This approach consists in supplying customised products that meet specific needs and that can be mass-produced thanks to highly flexible manufacturing systems.

In the case of consumer goods (clothing, footwear, sports items, glasses, etc.), an approach based on high-level customisation enhances the "Made in Italy" concept, as it ensures that consumers are given the opportunity to have products with a unique design and style, along with functional and comfort-related aspects, even in the more traditional sectors. Medical products (orthopaedic prosthetics, dental prosthetics, etc.) and durable goods (cars, kitchens, etc.) can benefit from this approach by seizing the opportunities and the challenges associated with a growing demand for products that allows the consumer to make a choice in terms of value, functionality and performance.



Per le aziende la produzione personalizzata significa principalmente la centralità del consumatore implicando sia una revisione dei modelli di gestione della filiera produttiva sia l'impiego di tecnologie innovative (stampanti 3D, nuovi materiali, ...) che facilitino la produzione di componentistica e di prodotti ad hoc.

L'obiettivo di questa linea di intervento è la realizzazione di sistemi e modelli industriali per la produzione efficiente di prodotti personalizzati ad alto valore aggiunto. Tali sistemi dovranno essere in grado di configurarsi e riconfigurarsi in tempi ridotti per soddisfare i requisiti di produzioni personalizzate, ma dovranno altresì garantire un elevato grado di integrazione con i clienti che diventano gli artefici principali della soluzione prodotta.

Le tematiche di ricerca e di innovazione prioritarie sono legate a diversi aspetti di sviluppo comprendendo soluzioni ICT per l'acquisizione dei requisiti del cliente, configuratori di prodotto, sistemi di misurazione antropometrici, piattaforme per il monitoraggio cliente, tecnologie innovative per la produzione personalizzata, quali additive manufacturing, micro-manufacturing, processi ibridi, etc. Inoltre sono necessari nuovi modelli di supply chain flessibili e agili che tengano conto di strategie di modularizzazione del prodotto, postponement e "multi decoupling-point" in ottica di personalizzazione.

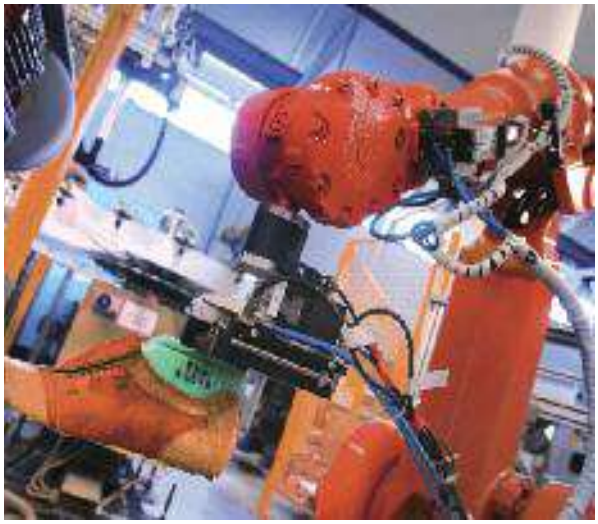
Le priorità di ricerca e innovazione individuate per la linea di intervento **LI1 - Sistemi per la produzione personalizzata** sono state così identificate:

PRI1.1 - Strumenti avanzati per la configurazione e progettazione di soluzioni personalizzate
Sviluppo di tecnologie e applicazioni che permettano il coinvolgimento del cliente nella catena manifatturiera incorporandone i bisogni e le aspettative a partire dalla

For companies, personalised production mainly implicates the centrality of the consumer, with a revision of the production chain management models as well as the use of innovative technologies (3D printers, new materials, etc.), which simplify the production of components and specialised products.

The aim of this Strategic Action Line is the creation of industrial models and systems for the efficient production of custom products with high added value. These systems will be suitable for rapid change in their configuration to satisfy custom requirements, but they must also guarantee a high level of integration with the clients, who become the main creators of the solution produced.

The main research and innovation topics are associated with different aspects of product development, such as ICT solutions for the acquisition of the client's requirements, product configurators, advanced measuring systems, platforms for client monitoring and innovative technologies for personalised production, such as additive manufacturing, micro-manufacturing, hybrid processes, etc. Furthermore, there is a need for new flexible and agile supply chain models that consider product modularisation strategies, postponement and "multi decoupling points' with a view to custom production.



progettazione del prodotto fino ai servizi innovativi associati alla sua realizzazione. Sistemi per la progettazione e la configurazione di prodotto basati su paradigma mobile economy. I configuratori di prodotto devono dare la possibilità al cliente di definire le proprie necessità in modo oggettivo per renderle facilmente gestibili a livello di produzione. Il cliente diventa un Consum-attore che ha un ruolo attivo nella definizione del proprio prodotto. In particolare si può pensare all'utilizzo della realtà aumentata (AR) al fine di supportare la configurazione e la prova di prodotti personalizzati.

PRI1.2 - Soluzioni per la produzione efficiente di prodotti personalizzati funzionali ad alto valore aggiunto
L'adozione di tecnologie innovative per la produzione personalizzata di consumer goods ad alto valore aggiunto rappresenta una sfida che, partendo da settori chiave del Made in Italy quali quello della moda-calzatura, estende le sue potenzialità sino a prodotti per il benessere e la salute del consumatore ed ai prodotti ad alto valore aggiunto della meccanica avanzata, sensoristica, microelettronica ed optoelettronica. In tal senso, la concezione e lo sviluppo di soluzioni di produzione dedicate, basate su approcci di hybrid ed additive manufacturing, risulta cruciale per lo sviluppo di componenti e parti funzionali del prodotto finale, quali oggetti caratterizzati da proprietà e comportamenti dinamici differenziati in risposta ai bisogni ed alle esigenze del consumatore. L'ibridazione di tecnologie tradizionali, ossia l'integrazione in una singola machina di differenti processi di trasformazione, è un passo verso una diversificazione potenzialmente molto ampia di alternative tecnologiche. Le tecnologie ibride/additive supportate da approcci innovativi al processo produttivo ed al suo controllo consentiranno lo sviluppo di macchine dedicate sia per la personalizzazione nel B2B che nel B2C per la personalizzazione di componenti e di prodotti con sistemi flessibili.

*The research and innovation priorities identified for **LI1 - Systems for customised production** are:*

PRI1.1 - Advanced tools for the configuration and design of personalised solutions
The development of technologies and applications that involve clients in the manufacturing chain, incorporating their needs and expectations starting from the design of the product to the innovative services associated with its production. Systems for product design and configuration based on the mobile economy paradigm. Product configurators shall give customers the chance to define their needs objectively so that they are easy to manage at the production level. Clients become consumer-actors with an active role in defining their product. In particular, the use of Augmented Reality (AR) can support the configuration and testing of customised products.

PRI1.2 - Solutions for the efficient manufacture of functional customised products with high added value
The adoption of innovative technologies for the customised production of consumer goods represents a challenge that, starting with the "Made in Italy" key sectors, such as fashion, extends its potential to products for consumer well-being and health and to products in advanced mechanics, sensorial products, microelectronics and optoelectronics. In this sense, the conception and development of dedicated production solutions, based on hybrid and additive manufacturing approaches, is crucial to the development of functional components and parts of the end product, such as objects characterised by dynamic properties and differentiated behaviours in response to the needs and demands of the consumer. The hybridisation of traditional technologies, or rather the integration into a single machine of different transformation processes, is a step towards a potentially ex-

PRI1.3 - Modelli e strumenti per la creazione di reti dinamiche per la produzione personalizzata

A fronte delle tecnologie richieste per la produzione personalizzata, le aziende devono riorganizzare i propri processi sia interni che di relazione con altre aziende con cui collaborano. Devono essere quindi sviluppati modelli di organizzazione delle reti di produzione basati sull'ottimizzazione e la simulazione dei processi di progettazione e di produzione considerando l'intero ciclo di vita dei prodotti-processi-sistemi per soluzioni personalizzate. Sono altresì necessari modelli per supportare le aziende nella definizione di scenari di personalizzazione in cui strategie di postponement, di modularizzazione del prodotto, di gestione del punto di disaccoppiamento dell'ordine vengono confrontate in modo dinamico per ottimizzare la gestione della filiera. Nel contempo è necessario ottimizzare il trade-off tra sostenibilità, gestione dei magazzini, stock e trasporti per la customizzazione dei prodotti. A supporto di ciò occorrono nuovi strumenti per la configurazione di network aziendali per favorire e promuovere la composizione di reti di imprese adattive e interoperabili che consentano la collaborazione e la comunicazione tra i vari attori della catena del valore di prodotto-servizio.

tensive diversification of alternative technologies. The hybrid/additive technologies supported by innovative approaches to the production process and its control will allow the development of dedicated machines for both customisation in B2B and B2C for the manufacturing of customised components and products.

PRI1.3 - Models and tools for the creation of dynamic networks for personalised production

Companies must reorganise their internal processes as well as those in relation to the other companies with which they collaborate. Therefore, production network organisation models must be developed on the basis of the optimisation and simulation of design processes and production throughout the life cycle of products-processes-systems for customised solutions. Models are also required to support companies in defining customisation scenarios in which strategies for postponement, product modularisation and management of the decoupling point of the order will be confronted dynamically in order to optimise the management of the supply chain. At the same time, it is necessary to optimise the trade-off between sustainability, management of the warehouses, stock and transport for the products personalisation. To support this, new tools are required for the

PRI1.4 - Soluzioni avanzate per la gestione della produzione customer-driven

La grande variabilità del mercato chiede alle aziende di acquisire la capacità di rispondere on-demand alle esigenze del mercato. L'e-business e i bisogni di individualizzazione stanno spingendo in particolare verso sistemi prodotto/servizio in grado di combinare capacità di produzione con tempi rapidi e flessibili. Da un punto di vista tecnologico è fondamentale che la produzione demand-driven sia sincronizzata nella gestione degli ordini dei clienti, nella schedulazione e nella produzione attraverso una gestione coordinata dei flussi di materiali e di informazioni.

Inoltre è necessario sviluppare nuovi sistemi per migliorare la capacità delle aziende di gestire grandi moli di dati provenienti da diverse fonti (clienti, fornitori, social media), al fine di supportare la configurazione e gestione dei network di produzione e di distribuzione attraverso la gestione dei dati tra i vari attori in tempo reale.

PRI1.5 - Le mini-factories: un modello per riorganizzare la filiera di produzione e distribuzione

L'obiettivo di questa priorità di ricerca è un approccio di produzione distribuita in cui la produzione dei componenti personalizzati viene posticipata all'"ultimo miglio" e viene eseguita in prossimità o nel luogo stesso di consegna. È necessario quindi definire nuovi modelli organizzativi basati sulla creazione di poli produttivi di componenti standardizzati supportati da laboratori, mini-fabbriche decentralizzate e dotate di avanzati macchinari a supporto della personalizzazione estetica e funzionale del prodotto in tempi e con costi contenuti, garantendo alle aziende comunque la possibilità di differenziare il proprio prodotto aggiungendo valore allo stesso. L'utilizzo

configuration of corporate networks to favour and promote the composition of adaptive and interoperable enterprise networks that enable cooperation and communication between the various players in the product-service value chain.

PRI1.4 - Advanced solutions for the management of customer-driven production

The great variability of markets requires companies to acquire the ability to immediately fulfil the demands of the market. E-business and the needs for individualisation are pushing particularly product/service systems that are able to combine production capacity with quick and flexible delivery times. From a technological point of view, it is essential for demand-driven production to be synchronised in the management of customer orders, in scheduling and in production through a coordinated management between flows of materials and information. It is also necessary to develop new systems to increase the capacity of companies to manage large quantities of data from a variety of sources (client, suppliers, social media) to allow better selection and management of supply and distribution networks, based on real-time exchange of information between the involved actors.

PRI1.5 - Mini-factories: a model for reorganising the production and distribution chain

The aim of this research priority is to think in terms of distributed production in which the production of custom components is postponed until the "last mile" and carried out near to or at the place of delivery. It is, therefore, necessary to define new organisational models based on the creation of hubs for the production of standardised components supported by laboratories, decentralised mini-factories equipped with state-of-the-art machinery to support the aesthetic and functional personalisation of the product quickly and cheaply, thus guaranteeing companies the opportunity to differentiate their product by adding value to it. The use of advanced technologies that are highly reconfigurable and adaptable to the specific context is key to reading the model itself, as is the revision of the collaboration model to redefine the flow of operations.

PRI1.6 - Production systems for smart materials (sensor-based, bio, etc.) for the customisation of the product/service

The development of technologies and processes for the production of innovative materials with advanced mechanical and functional characteristics (e.g. sensor-based

di tecnologie avanzate altamente riconfigurabili e adattabili allo specifico contesto è una chiave di lettura del modello stesso, così come la revisione del modello di collaborazione a monte a valle per la ridefinizione del flusso delle operazioni.

PRI1.6 - Sistemi di produzione per materiali smart materiali (sensor-based, bio etc) per la personalizzazione del prodotto/servizio

Nell'area della produzione personalizzata, gioca un ruolo rilevante lo sviluppo di tecnologie e processi per la produzione di materiali innovativi dalle elevate caratteristiche meccaniche e funzionali (ad esempio, tessuti sensorizzati, materiali per display, micro- e nano- materiali, materiali tessili multifunzionali, materiali ad uso medicamentale, materiali rinnovabili ad alte prestazioni,...), che possono avere caratteristiche diverse in base alle necessità specifiche del consumatore. Potrebbe essere importante anche prendere in considerazione la ricerca per l'utilizzo di materiali omogenei (più facilmente riciclabili) ma con strutture morfologiche ingegnerizzate (ad esempio materiali cellulari con strutture biomimetiche).

fabrics, display materials, micro- and nano-materials, multifunctional textile materials, medical materials, high-performance renewable materials, etc.), which may have different characteristics based on the specific needs of the consumer, plays an important role within the sphere of custom production. It is also important to consider doing research on the use of homogeneous materials, which are more easily recycled, but which have engineered morphological structures (e.g. cellular materials with biomimetic structures).

4.2 LI2: Strategie, metodi e strumenti per la sostenibilità industriale

La sostenibilità è diventata una tematica centrale nell'agenda dei politici e del settore, portando a un nuovo concetto chiamato Sostenibilità Industriale, finalizzata a comprendere meglio come rispondere alle sfide ambientali, sociali ed economiche e trasformare il comportamento industriale. Tre importanti cambiamenti sono in atto e modelleranno il sistema industriale nel corso dei prossimi due decenni: miglioramento delle prestazioni ambientali senza modificare prodotti e processi in corso, sviluppo e introduzione di nuove tecnologie, e cambiamento del sistema industriale nel suo complesso.

Gli obiettivi principali di questa linea di intervento sono:

- studiare come la sostenibilità cambia il processo di pianificazione della produzione nelle imprese manifatturiere;
- stabilire quale cambiamento è richiesto a livello di impresa, per consentire miglioramenti nelle performance di sostenibilità;
- identificare i cambiamenti a livello di sistema necessari per aumentare la sostenibilità.

In termini di impatto, le strategie, i metodi e gli strumenti sviluppati dovrebbero:

- migliorare i processi di pianificazione delle imprese per capire meglio le esigenze e le opportunità offerte dalla sostenibilità;
- attivare la sperimentazione a livello di impresa con nuovi modelli di business;

4.2 LI2: Strategies, methods and tools for industrial sustainability

Sustainability has become a central issue on the agendas of politicians and industry, leading to a new concept called "Industrial Sustainability", aimed at enabling better understanding of how to respond to environmental, social and economic challenges and transform industrial behaviour. Three waves of change, which are running through industry, will shape the industrial system over the next two decades: improving environmental performance without changing current products and processes, developing and introducing new technologies, and changing the industrial system as a whole.

The main objectives of this action line are:

- *to enable better understanding of how sustainability changes the planning process for manufacturing firms;*
- *to establish what change is required at a firm level to enable improvements in sustainability performance;*
- *to identify the system-level changes that are required to unlock more sustainable outcomes.*

In terms of impact strategies, the methods and tools developed should:

- *improve the planning processes of companies to better account for the demands and opportunities offered by sustainability;*
- *enable firm level experimentation with new business models;*
- *improve the ability of industry actors to think and act systemically.*

This requires awareness and transformation of the industrial processes in order to considerably reduce carbon emissions and improve energy efficiency shifting towards the circular economy paradigm as "an economy conceived to regenerate itself. In a circular economy, there are two types of material flow: biological, capable of reintegration into the biosphere, and technical, destined to be reused without entering the biosphere[24]" . The circular economy is, therefore, a system in which all activities, starting from extraction and production, are organised in such a way that someone's

- migliorare la capacità del settore industriale di agire sistematicamente.

Questo richiede che venga generata la consapevolezza per trasformare i processi industriali, al fine di ridurre sensibilmente le emissioni di carbonio e di migliorare l'efficienza energetica per l'implementare il paradigma dell'economia circolare, in modo che "sia un'economia concepita per rigenerarsi. In un'economia circolare, ci sono due tipi di flussi di materiale: biologici, capaci di reinserirsi nella biosfera, e tecnici, destinati ad essere riutilizzati senza entrare in biosfera[24]". Tutte le attività svolte nel sistema industriale, partendo dall'estrazione e dalla produzione, sono organizzate in modo tale che i rifiuti di qualcuno diventino una risorsa per qualcun'altro, a differenza dell'economia lineare, in cui, quando finisce il consumo, e quindi il ciclo del prodotto, il materiale diventa rifiuto, costringendo la catena economica a ripetere continuamente la stessa sequenza: estrazione, produzione, consumo, smaltimento. Questi sistemi devono essere coerenti con l'evoluzione dei mercati e delle tecnologie abilitanti, utilizzando la tecnologia come leva competitiva nei confronti delle tre dimensioni della sostenibilità (economica, ambientale e sociale).

Nell'ambito della sostenibilità industriale, si sta affermando anche il tema del "de-manufacturing", a causa dell'aumento del costo delle materie prime e delle leggi specifiche introdotte dall'Unione Europea al fine di migliorare il tasso di recupero dei materiali. Inoltre, la domanda di materiali critici per la produzione di prodotti ad alta tecnologia è in costante aumento in Europa, causando grossi problemi in termini economici e strategici, legati all'approvvigionamento, come ad esempio quello dei rifiuti elettronici che sono una fonte importante per i prodotti tecnologicamente avanzati.

A livello italiano, questa linea di intervento si pone l'obiettivo di studiare e realizzare strategie, metodi e strumenti che siano in grado di implementare processi produttivi più sostenibili a livello ambientale, economico e sociale, che dipendano meno dall'esterno per l'approvvigionamento di risorse produttive critiche o quelle penalizzate dalle leggi vigenti. Le azioni prioritarie di ricerca in questo settore riguardano principalmente nuove soluzioni per ridurre le emissioni nocive o inquinanti dei processi produttivi; metodi e tecniche per la valutazione

waste becomes someone else's resources, unlike the linear economy, in which, when consumption ends, so does the cycle of the product, which becomes waste, forcing the economic chain to continually repeat the same sequence: extraction, production, consumption, disposal. These systems must be coherent with the evolution of the markets and enabling technologies, using them as a competitive lever towards the three dimensions of sustainability (economic, environmental and social).

Within industrial sustainability, specific interest in de-manufacturing has grown recently thanks to the rising cost of raw materials and specific laws introduced by the EU to improve the recovery rates of the materials. Furthermore, the demand for materials critical to the manufacture of high-tech products is constantly increasing in Europe, causing big problems in economic and strategic terms, linked to procurement such as electronic waste, which is an important source of metals for advanced technological products. In fact, in Italy, this growing trend is even more significant: in 2010, almost 245,000 tonnes of electronic waste was collected, with a significant in-

crease of approximately 30% on the previous year.
At the Italian level the aim is the study and realisation of strategies, methods and tools that are able to implement more environmentally, economically and socially sustainable production processes that depend less on the outside world for the procurement of critical production resources or those penalised by the laws in force. The priority research actions in this area mainly regard new solutions to reduce pollutants or harmful emissions from the pro-

[24]Ellen MacArthur Foundation

strategica di prodotto-processo in ottica Life Cycle Engineering; tecnologie e processi per il riutilizzo, il re-manufacturing e il riciclaggio di prodotti, componenti e materiali alla fine del loro ciclo di vita o provenienti da processi di manutenzione; sistemi e metodi per la misurazione e la realizzazione di "Supply Chain Sostenibili" o "Closed-Loop Supply Chain".

duction processes, methods and techniques for strategic product-process assessment with a view to Life Cycle Engineering, technologies and processes for the reuse, re-manufacturing and recycling of products, components and materials at the end of their life cycle or coming from maintenance processes, systems and methods for the measuring and implementation of "Sustainable Supply

Le priorità di ricerca e innovazione individuate per la linea di intervento **LI2 - Strategie, metodi e strumenti per la sostenibilità industriale** sono:

PRI2.1 - Integrazione dei processi di progettazione e sviluppo in ottica lifecycle management

Il primo passo per la gestione corretta della sostenibilità economica ed ambientale del processo produttivo risiede da un lato nella stretta integrazione dei criteri legati alla progettazione del prodotto con il suo utilizzo e la gestione dell'"end-of-life" e dall'altro nella capacità di raccogliere i dati relativi al prodotto durante la produzione e l'utilizzo per poterli confrontare con quanto previsto in fase di progettazione. In questo modo un continuo processo di miglioramento consentirà di:

1. ottimizzare le risorse utilizzate e riciclate (es. il consumo energetico nella produzione ed utilizzo, la presenza di guasti sistemici puntuali che influenzano la durata) lungo tutta la filiera;

2. verificare che le modalità di utilizzo e di dismissione del prodotto siano compatibili con i criteri dettati dalle normative e dai principi di progettazione.

PRI2.2 - Monitoraggio dell'impronta energetica dei prodotti

L'impatto energetico dei prodotti è influenzato da numerosi fattori, alcuni dei quali hanno origine dalla fase di progettazione ed ingegnerizzazione attraverso le scelte costruttive, continuano nel processo produttivo sulla base delle tecnologie e delle metodologie di produzione e sono

Chains" or "Closed-Loop Supply Chains".

*The research and innovation priorities identified for **LI2 - Strategies, methods and instruments for industrial sustainability** are:*

PRI2.1 - Integration of design and development processes with a view to life cycle management

The first step in the correct management of economic and environmental sustainability of the production process lies, on the one hand, in the close integration of the criteria linked to the design of the product with its use and the management of the "end of life" and, on the other, in the ability to gather data relating to the product during production and use, in order to compare it with that envisaged during the design phase. In this way, a continual improvement process will allow:

1. *optimisation of the resources used and recycled (e.g. energy consumption in production and use, the presence of punctual system faults that influence duration);*

2. *confirmation that the methods of use and disposal of the product are compatible with the criteria set out by the regulations and the principles of the design.*

PRI2.2 - Monitoring of the energy footprint of the products

The energy impact of the products is influenced by numerous factors, some of which originate in the design and engineering phase through construction choices, continue in the production process based on the tech-

influenzate dal paradigma di utilizzo che dipende dalle caratteristiche proprie del prodotto, ma soprattutto dalle condizioni e modalità di utilizzo. Deve essere poi considerata che la possibilità di recuperare materiali ad alto costo energetico per la produzione (es. alluminio o semiconduttori) impatta significativamente sul bilancio complessivo dal punto di vista energetico e richiede quindi nuovi metodi per il riciclo di detti materiali.

La priorità di ricerca deve quindi tenere in considerazione la necessità di sviluppare un sistema basato su CPS (Cyber Physical Systems) in grado di raccogliere e centralizzare i dati relativi al consumo energetico in senso lato (produzione delle materie prime, ciclo produttivo, logistica distributiva, condizioni d'uso, disposal & recycle) in maniera context aware (ovvero monitorando le condizioni al contorno che possono impattare, ad esempio condizioni climatiche, modalità d'uso, stato di manutenzione) in modo da poter analizzare i dati contestualizzandoli nel contesto operativo ed ambientale.

PRI2.3 - Modellazione integrata di prodotto-processo-sistema per l'ottimizzzazione dell'eco-efficienza (energia e risorse)

I processi produttivi devono essere supportati da strumenti idonei per caratterizzarne e misurarne l'eco-efficienza. L'eco-efficienza non può limitarsi a una model- lazione di aspetti ambientali ma deve estendersi anche alla valutazione degli effetti dell'uso dell'energia e delle risorse. Il primo passo è il set-up di metodologie, indicatori e tecniche di misurazione per fissare parametri fisici chiave che consentano di risalire al reale impatto della fabbrica sia

nologies and methodologies of production, and are influenced by the paradigm of use that depends on the product's characteristics, and, above all, on the conditions and methods of use. It must then be considered that the possibility of recovering high-energy materials (e.g. aluminium or semi-conductors) for the productions has a significant impact on the overall balance from the energy point of view and therefore requires new methods for the recycling of said materials.

The research priority must, therefore, consider the need to develop a system based on CPS (Cyber Physical Systems) capable of gathering and centralising data on energy consumption in general (production of raw materials, production cycle, distribution logistics, conditions of use, disposal and recycle) in a context-aware manner (monitoring the surrounding conditions that may have an impact, such as climate conditions, methods of use, state of maintenance) in order to be able to analyse the data, considered in the operational and environmental context.

PRI2.3 - Integrated product-process-system modelling for the optimisation of eco-efficiency (energy and resources)

The production processes must be supported by suitable instruments to characterise and measure their eco-efficiency. Eco-efficiency cannot be limited to the modelling of environmental aspects but must also extend to the assessment of the effects. The first step is the development of methodologies, indicators and measuring techniques to establish key physical parameters that allow us to detect the real impact of the factory both with reference to

con riferimento ai consumi ed emissioni interne che all'impatto indiretto sul tutta la filiera a monte e a valle. Un aspetto particolarmente rilevante è l'integrazione della misurazione dell'impatto localizzato (sugli operatori) e dell'impatto esteso (su comunità esterne e ecosistema). I tool di valutazione dovranno permettere di essere calibrati per simulare la complessità delle operazioni interne al fine di caratterizzare in tempo reale la performance di eco-efficienza di una macchina, di un impianto o di un intera impresa all'interno di un cluster.

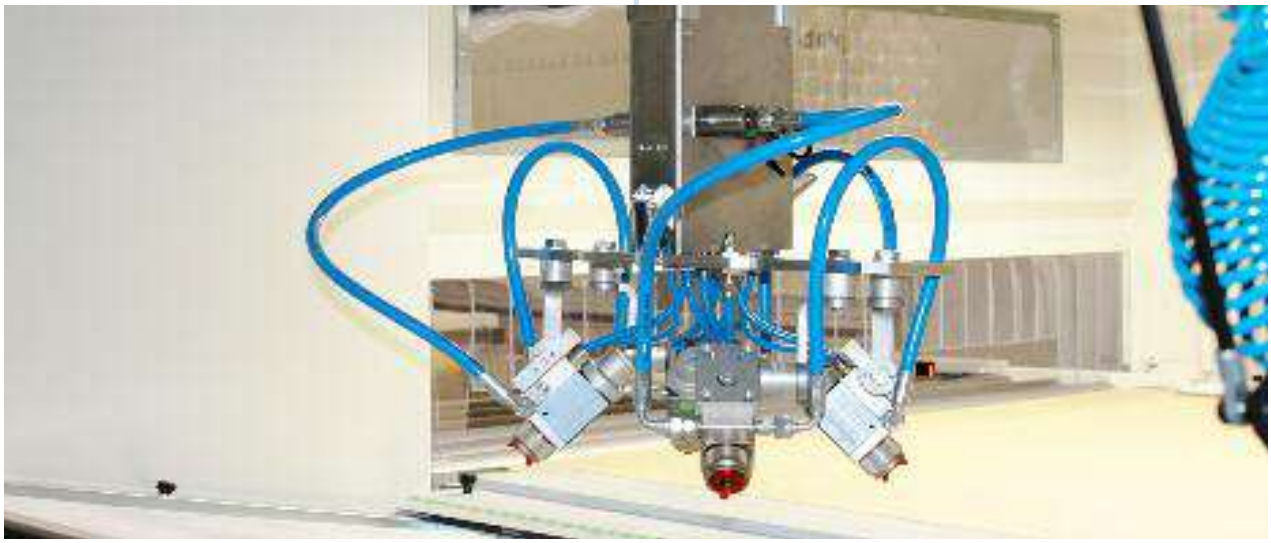
PRI2.4 - Tecnologie e processi per il riutilizzo, re-manufacturing e riciclo di prodotti, componenti e materiali

Questa priorità di ricerca nasce dalla necessità di progettare componenti, macchine, robot ad alte prestazioni per il riutilizzo, il re-manufacturing e il riciclo di prodotti, di componenti e di materiali. La variabilità delle condizioni operative tipica degli impianti di riutilizzo e re-manufacturing richiede lo sviluppo di soluzioni di monitoraggio di processo innovative per la realizzazione di sistemi di controllo adattativi, che ottimizzino gli aspetti energetici e di consumo di materiali al variare dei prodotti e materiali trattati. Inoltre risulta anche necessario lo sviluppo a livello di processo, di modelli fisici avanzati delle tecnologie di frantumazione e delle tecnologie adatte alla separazione di piccole particelle a partire da componentistica a fine ciclo vita. Nell'ambito del settore delle costruzioni può essere molto importante lo sviluppo di tecnologie atte all'utilizzo sostenibile di materiali e risorse naturali e rinnovabili e lo sviluppo di tecnologie abilitanti (sistemi produttivi) per la realizzazione di soluzioni volte alla riduzione delle emissioni/consumo energetico di nuove costruzioni e, mediante retrofit economicamente sostenibili, di quelle esistenti. Infine è importante sostenere il riutilizzo dei materiali frantumati in processi tecnologici più avanzati ed a minore impatto energetico (sinterizzazione).

consumption and internal emissions and to the indirect impact on the entire supply chain. A particularly important aspect is the integration of measuring the localised impact (on the operators) and the extended impact (on external communities and the ecosystem). The assessment tools must be calibrated to simulate the complexity of the internal operations in order to characterise the eco-efficiency performance of a machine, system or an entire business within a cluster in real time.

PRI2.4 - Technologies and processes for the reuse, remanufacturing and recycling of products, components and materials

This research priority stems from the need to design high-performance components, machines and robots that optimise the consumption of materials and energy. These technologies could also be borrowed from other sectors and other applications. Process-monitoring solutions are necessary aiming at developing adaptive control systems, which optimise the energy and material consumption aspects also in particularly complex and innovative processes linked to the re- or de-manufacturing of components and products. Development of advanced physical models of shredding systems and technologies for the separation of small particles, from components at the end of their life cycle. Furthermore, specifically for the construction sector, development of technologies for the sustainable use of materials and natural and renewable resources, as well as the development of enabling technologies (production systems) for the creation of solutions aimed at reducing the emissions/energy consumption of new constructions and, through economically sustainable retrofits, of existing ones, can be extremely important. Finally it is also important to



PRI2.5 - Tecnologie e strumenti per sistemi di re- e de-manufacturing intelligenti

Lo sviluppo di tecnologie, metodi e strumenti di supporto ai sistemi di re- e de-manufacturing per il riciclo di prodotti e il recupero di materiali critici è di fondamentale importanza l'industria manifatturiera di prodotti high-tech in Italia e in Europa. L'obiettivo principale di questa priorità è lo sviluppo di una piattaforma integrata ed interoperabile per progettare, operare e controllare in modo efficiente sistemi di re- e de-manufacturing avanzati per il recupero, al fine di consentire il trattamento sostenibile, dal punto di vista economico ed ambientale, di componenti ad alto valore aggiunto, come componenti elettronici e meccatronici derivanti ad esempio da applicazioni automotive e aeronautiche.

L'approccio multi-livello dovrebbe includere sia il livello di processo sia il livello di sistema per supportare dinamicamente la configurazione ottimale del sistema, così come la conduzione e la riconfigurazione ottimale del sistema lungo il suo ciclo di vita. La piattaforma dovrà inoltre essere integrata con strumenti di acquisizione dati dal campo per migliorare continuamente la conoscenza del comportamento del sistema ed allineare i modelli contenuti nella piattaforma al sistema reale.

PRI2.6 - Modellazione e simulazione per la Sustainable supply chain

Modelli e tecniche di simulazione per la previsione delle performance economiche, ambientali e sociali di prodotti-servizi, processi e sistemi produttivi basati su modelli di LCA (Life Cycle Assessment) e LCC (Life Cycle Costing). Tali modelli dovranno abbracciare l'intero ciclo

support the reuse of crushed materials based on technological processes that are more advanced and have a lower energy impact (sintering).

PRI2.5 - Technologies and tools for intelligent re- and demanufacturing systems

The development of technologies, methods and tools to support re- and demanufacturing systems for the recycling of products and the recovery of critical materials is essential in the high-tech product manufacturing industry in Italy and Europe. The main aim of this priority is the development of an integrated and interoperable platform to efficiently design, operate and control advanced re- and demanufacturing systems for the recovery of components with high added value, such as electronic and mechatronic components of automotive and aeronautical applications, to allow their economically and environmentally sustainable treatment.

The multilevel approach should include both the process level and the system level. These two levels interact dynamically to support the optimal configuration of the system, as well as the optimal conduction and reconfiguration of the system throughout its life cycle. The platform should also be integrated with field data acquisition tools to continually improve knowledge of the behaviour of the system and align the models contained in the platform with the real system.

di vita (dalla progettazione alla produzione alla de-produzione) per gestire la rete di attori coinvolti nelle varie fasi. I modelli dovranno considerare tutti i rischi connessi alla realizzazione e funzionamento dei sistemi produttivi. Essi dovranno essere in grado di fornire delle metriche di sostenibilità in supporto alle decisioni su diversi livelli decisionali per le diverse fasi di vita del prodotto e potranno essere usati a livello aziendale o a livello di decisore pubblico per la progettazione e localizzazione di servizi avanzati di gestione dell'impatto ambientale. Dovranno altresì essere definiti modelli di collaborazione tra aziende private ed enti pubblici che permettano di migliorare e ottimizzare i flussi di produzione e de-produzione e sistemi di LCA e LCC avanzati basati su dati condivisi da più aziende. L'utilizzo e la gestione dei big data può rendere tali sistemi più affidabili.

PRI2.7 - Modelli di business per la "Circular Economy"
Modelli di business per la "Circular Economy", basati su tecnologie innovative per la gestione dell'End-Of-Life di prodotti e materiali. Essi dovranno abilitare la raccolta dei prodotti a fine vita e degli scarti di produzione affinché si massimizzi il loro valore residuo attraverso op-

portune pratiche di riuso, re-manufacturing e riciclo. Grazie a tali practiche, gli impianti, i prodotti, i componenti e i materiali recuperati rientreranno nel ciclo produttivo. I nuovi modelli di business prevederanno nuove strutture di relazioni di filiera, aggregando le competenze e le tecnologie in chiave di efficienza, ed una distribuzione del valore tra i vari attori che incentivi economicamente gli stessi ad intraprendere la strada della chiusura della supply chain.

PRI2.6 - Modelling and simulation for the sustainable supply chain
Models and techniques of simulation for forecasting economic, environmental and social performances of product services, production processes and systems based on LCA (Life Cycle Assessment) and LCC (Life Cycle Costing) models. These models must embrace the entire life cycle (from design to production to deproduction) to manage the network of players involved in the various phases. The models must consider all the risks linked to the construction and operation of the production systems. They must be able to supply sustainability metrics to support the decisions on various decisional levels for the various phases of the product's life and may be used at corporate level or at public decisional level for the localisation of advanced environmental impact management services. Models of collaboration between private companies and public authorities that improve and optimise the production and deproduction flows and advance LCA and LCC systems based on data shared by several companies must also be defined. The use and management of Big Data can make these systems more reliable.

PRI2.7 - Business models for the "Circular Economy"
Business models for the "Circular Economy", based on innovative technologies for end-of-life management of products and materials. These must enable the collection of products at the end of their life, along with production waste, so that their residual value is maximised through special reuse, remanufacturing and recycling practices. Thanks to these practices, the systems, products, components and materials recovered will re-enter the production cycle. The new business models will provide new supply chain relationship structures, aggregating skills and technologies to improve efficiency, and a distribution of value among the various players, which economically encourages them to start closing the supply chain.

4.3 LI3: Sistemi per la valorizzazione delle persone nelle fabbriche

Partendo dalla sfida specifica derivante dai trend demografici e sociali e delle esigenze di tutte le categorie di lavoratori, l'obiettivo è la concezione e lo sviluppo di sistemi produttivi in grado di accogliere le persone e valorizzare le loro competenze al fine di contribuire alla soddisfazione e al benessere dei lavoratori. La fabbrica nel futuro si troverà infatti sempre più a fronteggiare problemi legati per esempio all'invecchiamento della popolazione che, riflettendosi in una estensione della vita lavorativa, rende necessario mettere le persone nella condizione di svolgere il proprio lavoro compatibilmente con l'evoluzione ed il cambiamento delle proprie capacità cognitive e fisiche. Tutto questo richiede uno sforzo elevato sia dal punto di vista tecnologico che organizzativo.

Le fabbriche innovative dovranno quindi essere sempre più inclusive, ovvero fortemente orientate al coinvolgimento e alla partecipazione delle persone (utenti, operatori, manager) che potranno esplicare attività complesse ad elevato valore aggiunto con il supporto di strumenti e dispositivi innovativi. Ne risulta che le persone e le macchine dovranno essere nella condizione di poter

4.3 LI3: Factories for humans

Starting with the specific challenge arising from demographic and social trends and the needs of all categories of workers, the aim is the conception and development of production systems capable of welcoming people, to make the most of their skills in order to contribute to employee satisfaction and well-being. The factory of the future will, in fact, find itself working more and more to cope with the challenge posed by an ageing population, which, reflected in a longer working life, makes it necessary to put people in a position to do their job in a way that is compatible with the evolution and change of their cognitive and physical capabilities. All of this requires a considerable effort from both the technological and organisational points of view.

Innovative factories must, therefore, become increasingly inclusive, aimed strongly at the involvement and participation of people (users, operators and stakeholders), who will be able to perform complex activities with high added value supported by innovative devices and tools. This means that men and machines must be able to cooperate synergistically, sharing activities efficiently and safely. The workplace must be redesigned on the basis of specific rules of ergonomics and organised according to adaptable work

cooperare sinergicamente, condividendo attività in modo efficiente e sicuro. Il posto di lavoro dovrà essere riprogettato sulla base di specifiche regole di ergonomia ed organizzato in base a ritmi di lavoro adattabili per fornire un ambiente e condizioni di lavoro adeguato alle diverse persone, per dare la possibilità di operare in modo produttivo indipendentemente dalle caratteristiche in termini di età, sesso e stato fisiologico o patologico. Allo stesso modo l'uso di tecnologie abilitanti volte alla rappresentazione digitale della fabbrica favoriscono l'integrazione a livello di informazione e conoscenza. La persona deve quindi essere ritenuta elemento centrale rispetto a tutti i livelli e tutte le dimensioni attraverso cui è definita la fabbrica. In un contesto caratterizzato da fabbriche nelle quali prodotti, processi e tecnologie evolvono attraverso dinamiche articolate, la conoscenza e la

rhythms in order to provide a suitable working environment and conditions for everyone, regardless of their characteristics in terms of age, gender and physiological or pathological state, capable of offering the possibility of working in a productive and satisfying way. Likewise, the use of enabling technologies aimed at the digital representation of the factory favours integration and offers a higher level of fruition to the people working there. Man must therefore be considered as the central element at all the levels and dimensions through which the factory is defined. In a context characterised by factories in which products, processes and technologies evolve through articulated dynamics, the knowledge and capacity to interpret complex production phenomena and identify solutions based on experience represents a fundamental challenge. It is therefore essential to strategically invest also in enabling technologies that sup-

capacità di interpretare fenomeni produttivi complessi e identificare soluzioni basate sull'esperienza, rappresenta una sfida fondamentale. E' quindi essenziale investire strategicamente anche nelle tecnologie abilitanti a supporto di una interazione intuitiva e diretta delle persone con le risorse stesse, così come nella formalizzazione e riutilizzo di tali esperienze attraverso rappresentazioni opportune dell'informazione e della conoscenza (ad esempio semantiche ed ontologiche).

Le azioni di ricerca prioritarie in quest'area sono per esempio: robot e macchine che cooperano con gli operatori umani in maniera sicura al fine di sgravarli delle

port an intuitive and direct interaction between man and resources, and also in the formalisation and reuse of these experiences through appropriate representations of information and knowledge (e.g. semantic and ontological).

Priority research actions in this area are, for example: robots and machines, which cooperate safely with human operators to relieve them of complicated tasks that have low added value and which are able to increase their production efficiency; new man-robot interfaces, with the aim of strengthening and multiplying the possibilities for using the devices and the tools present in the factory and which impact on multiple technologies such as mechatronics, control,

operazioni onerose, a basso valore aggiunto ed in grado di aumentare la loro efficienza produttiva; nuove interfacce uomo-robot, aventi lo scopo di potenziare e moltiplicare le possibilità di utilizzo dei dispositivi e degli strumenti presenti nella fabbrica, sfruttando molteplici tecnologie quali meccatronica, controllo, sensoristica e materiali; soluzioni ICT per aumentare la rappresentatività delle risorse, tra cui gli umani, in ottica di sicurezza e valorizzazione delle persone; tecnologie di realtà virtuale ed aumentata per la formazione degli operatori in un ambiente sicuro e controllato costituito da una rappresentazione digitale della fabbrica e per la manutenzione; gestione remota dei siti produttivi.

Le priorità di ricerca e innovazione individuate per la linea di intervento **LI3 - Sistemi per la valorizzazione delle persone nelle fabbriche** sono:

PRI3.1 - Soluzioni ICT per la valorizzazione e condivisione della conoscenza all'interno delle fabbriche
La condivisione e la codifica della conoscenza all'interno delle fabbriche richiede da un lato lo sviluppo di modelli di rappresentazione della conoscenza e dall'altro la possibilità di condividere tra diversi addetti impegnati in diverse funzioni aziendali gli aspetti legati alla conoscenza del processo produttivo o di progettazione. Per l'effettiva valorizzazione della conoscenza non strutturata all'interno delle fabbriche è necessario sviluppare ricerche multidisciplinari che fanno riferimento sia al settore dell'ICT che a quello del *machine learning* e in cui diverse competenze dell'area, ad esempio psicologica ed ingegneristica, devono convergere in modelli a supporto della gestione della conoscenza.

PRI3.2 - Tecnologie e metodi per la fabbrica per le persone
Tecnologie per rendere attrattivo ed accogliente il lavoro tenendo in considerazione le diverse tipologie di target e di addetti che confluiscono nell'ambiente fabbrica: giovani, anziani, persone provenienti da altri paesi e culture, ragazzi ed adolescenti che devono scegliere il proprio percorso formativo o la tipologia di impiego, ecc. Nuove soluzioni basate su strumenti ICT e sull'automazione volte a garantire luoghi di lavoro ad elevata accessibilità, usabilità, ergonomia e sicurezza in particolare per lavoratori anziani e diversamente abili. Ad esempio, interfacce adattive e adattative, intuitive e mobili, postazioni di lavoro appositamente progettata per anziani e disabili, ecc.

sensor-based and material; ICT solutions to increase the representativeness of the resources, including human ones, respecting safety and making the most of people; virtual and augmented reality technologies to train workers in a safe and controlled environment, made up of a digital representation of the factory, and for the maintenance; remote management of the production.

*The research and innovation priorities identified for **LI3 - Factories for humans**:*

PRI3.1 - ICT solutions for knowledge management and sharing
The sharing and codifying of knowledge in factories requires, on the one hand, the development of models that represent knowledge and, on the other, the chance

to share the aspects linked to the knowledge of the production or design process among the various employees working in different corporate functions. To effectively make the most of non-structured knowledge within factories, it is necessary to develop multidisciplinary research that has references both in the ICT sector and in that of machine learning, in which various skills in the area – such as psychology and engineering – must converge in models supporting knowledge management.

PRI3.2 - For factories for humans
Technologies to make factory work attractive and welcoming, bearing in mind the various types of targets and employees who converge in the factory environment: young people, elderly people, people coming from other countries and cultures, teens who have yet to choose their training or type of employment, etc. New solutions based on ICT tools and on automation aimed at guaranteeing workplaces with a high level of accessibility, us-

PRI3.3 - Nuovi materiali e nuove tecnologie per la sicurezza sul posto di lavoro
Sviluppo e applicazione di nuovi materiali e nuove tecnologie per la sicurezza sul posto di lavoro basate sull'interazione tra l'operatore e l'ambiente di lavoro nel quale è chiamato ad operare possono essere sviluppate per migliorare la qualità del lavoro. Nuovi materiali, ad alta capacità di assorbimento di energia meccanica e termica, prodotti (sensori, abiti di lavoro) e strumenti per la sicurezza sul posto di lavoro.

PRI3.4 - Tecnologie e applicazioni di Realtà Virtuale/ Aumentata per la gestione del prodotto-processo-sistema
La realtà aumentata permette di aggiungere alla realtà informazioni digitali fruibili potenzialmente da ogni categoria di utente. E' principalmente utilizzata nel campo della visione, ma non mancano applicazioni per l'udito o la percezione tattile. Queste applicazioni hanno già trovato largo impiego in molti prodotti. Bisogna ora puntare l'attenzione sullo sviluppo di applicazioni a supporto di servizi innovativi dove può essere utilmente sfruttata per fornire le informazioni di prodotto, processo e avanzamento della produzione sia all'operatore che ai responsabili di linea in maniera più naturale ed efficace.

Inoltre, la realtà virtuale, quale espressione più avanzata della computer graphics, è ormai una tecnologia matura

ability, ergonomics and safety, particularly for elderly and disabled workers: for example, adaptive and adaptable, intuitive and mobile interfaces, workstations designed especially for elderly and disabled people, etc.

PRI3.3 - New materials and new technologies for safety in the workplace
New materials and new technologies for safety in the workplace based on interaction between the operator and the working environment in which he is called to operate can be developed to improve the quality of work and ease its conditions. Moreover this priority requires the study and development of new materials, with high mechanical and thermal energy absorption, products (sensorial, work clothes) and tools for safety in the workplace.

PRI3.4 - Technologies and applications of virtual reality/ augmented for product-process-system management
Augmented reality is the technology that allows us to add digital information to reality for potential use by all user categories. The majority of the examples are sight related, but there are also plenty of audio or tactile applications. These applications have already become widely used in many products. We now need to focus our attention on the development of applications supporting innovative services. Augmented reality can be useful for supplying information on product, process and progress in production both to the operator and to the line managers in a more natural and ef-

che può trovare applicazione in una serie di applicazioni/servizi all'interno della fabbrica. Essa può inoltre essere la base tecnologica per lo sviluppo di ambienti digitali o serious game per diverse finalità: factory layout design, monitoraggio/controllo, training, etc.

PRI3.5 - Tecnologie e metodi per la formazione

Tra le tecnologie ICT assume una grande importanza l'adozione della Realtà Virtuale e della Realtà Aumentata (AR/VR) quali metodologie di formazione per promuovere l'interesse dei giovani talenti per il Manufacturing e supportare la loro formazione. Anche l'utilizzo dei social media grazie all'utilizzo di APP per smartphone, tablet etc accompagnate a metodologie innovative, può rendere disponibili funzioni di supporto all'utente, gestire la conoscenza e la formazione per classi di utenti quali i giovani e le persone anziane, tutto ciò al fine di sviluppare/incrementare competenze nel settore manifatturiero. Inoltre possono essere sviluppate nuove metodologie da utilizzare per la formazione nel contesto manifatturiero come per esempio i *serious games, teaching factories*, ossia fabbriche progettate come ambiente di formazione e ricerca che possono dare origine a nuovi frame pedagogici per aumentare l'attrattività del mondo manifatturiero e l'efficacia della formazione.

fective way. Moreover, virtual reality, as a more advanced expression of computer graphics, is now a mature technology that can be applied to a series of applications/services within the factory. It can also be the technological base for the development of digital environments or serious games for a variety of ends: factory layout design, monitoring/control, training, etc.

PRI3.5 - Technologies and methods for training

Among ICT technologies, the adoption of virtual reality and augmented reality (AR/VR) as training methods to promote the interest of young talents in manufacturing and support their training has taken considerable importance. The use of social media, thanks to apps for smartphones, tablets, etc., together with innovative methods, can also make user support functions available, and manage knowledge and training for classes of users such as young people and the elderly, all with a view to developing/increasing skills in the manufacturing sector. Furthermore, new innovative methods can be developed for use in training in the manufacturing context, such as serious games or innovative factory models known as "teaching factories", which can generate pedagogical frameworks to increase the attraction of the manufacturing world as well as the effectiveness of the training.

4.4 LI4: Sistemi di produzione ad alta efficienza

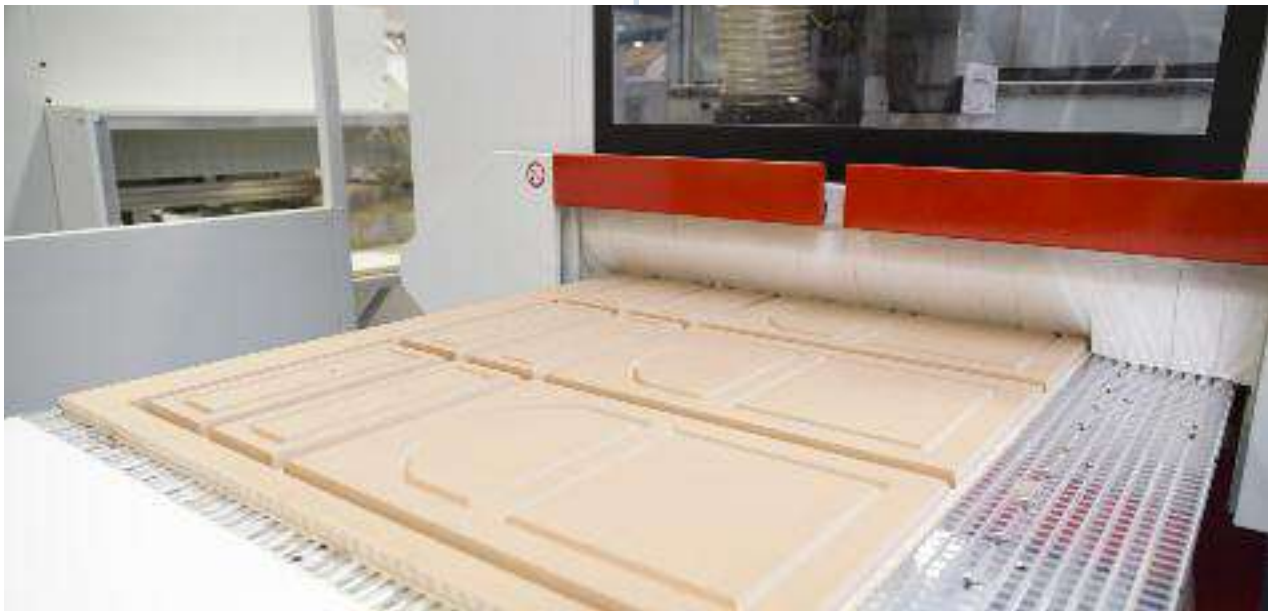
L'obiettivo è lo sviluppo di sistemi produttivi ad alta efficienza che consentano di minimizzare i costi di produzione, migliorare la produttività e la qualità del prodotto. L'alta efficienza produttiva è condizione necessaria per la competitività di tutte le imprese, soprattutto quelle operanti nei settori con alti volumi e ridotta marginalità. Le imprese manifatturiere devono raggiungere un sostanziale miglioramento della performance, che costituisca un elemento di differenziazione dai paesi a basso costo attraverso la realizzazione di prodotti di alta qualità, sistemi ad elevata flessibilità applicativa, che consentano di mantenere inalterata la propria efficienza anche a fronte di una variabilità estrema della domanda, una riduzione degli scarti e dei consumi energetici derivanti da processi non efficienti. Un'alta efficienza produttiva consente infatti di mantenere la produzione in Italia, evitando la sua esternalizzazione in paesi a basso costo della manodopera, con tutte le conseguenze negative in termini di perdita di posti di lavoro, dell'indotto e delle competenze ad alto valore aggiunto.

Le tematiche di ricerca prioritarie in quest'area riguardano soluzioni meccatroniche, sistemi di automazione e controllo ad alta efficienza produttiva, gestione della qualità dei processi e "Zero Defect Manufacturing", metodologie di progettazione dei prodotti che tengano conto dell'efficienza nell'utilizzo delle risorse a partire dalle fasi iniziali di sviluppo ed ingegnerizzazione , quali ad esempio design for efficiency e design for recycling,

4.4 LI4: High-efficiency production systems

The aim is to develop high-efficiency production systems that make it possible to minimise production costs and improve production and product quality. High production efficiency is a necessary condition for the competitiveness of all businesses, especially those working in sectors with high volumes and reduced margins. Manufacturing companies need to achieve a substantial improvement in performance, enabling them to stand out from low-cost countries by manufacturing high-quality products and highly flexible systems that make it possible to maintain their efficiency even when demand varies dramatically, a reduction in waste coming from inefficient processes and also a reduction in energy consumption thanks to global optimisation of the entire energy system. High production efficiency makes it possible to keep production in Italy, avoiding externalisation to countries with low labour costs, with all the negative consequences in terms of loss of induced activity and skills with high added value.

The priority research themes in this area are highly efficient mechatronic solutions, automation and control systems that implement high production efficiency logics, quality management of "Zero Defect Manufacturing" processes, product design methods that consider efficiency in the use of resources, starting from the initial phases of development and engineering, such as design for efficiency and design for recycling, and logistics and business models aimed at the efficient management of the final phase of the product's life cycle. Tools for the integration of maintenance policies, optimisation of quality and management of lo-



modelli logistici e modelli di business orientati alla gestione efficiente della filiera di produzione. Molto importanti sono poi gli strumenti per l'integrazione di politiche di manutenzione, di ottimizzazione della qualità e di gestione della logistica.

Le priorità di ricerca e innovazione individuate per la linea di intervento **LI4 - Sistemi di produzione ad alta efficienza** sono:

PRI4.1 - Controllo ottimo avanzato di sistemi ibridi
La realizzazione di sistemi di controllo avanzato necessita della disponibilità nell'ambiente di automazione di opportuni solutori di problemi di controllo vincolato, utilizzabili per calcolare la soluzione ottimale in maniera dinamica ed a tempo ciclo, rispondendo cioè in tempo reale con azioni appositamente calcolate. In particolare, solutori di problemi di controllo ibridi (i.e. misti continui e discreti) dovranno essere sviluppati ed integrati negli ambienti di automazione in modo da supportare, in un unico framework, la complessità degli attuali processi produttivi continuo discreti.

Sono quindi necessarie soluzioni di controllo ottimo per sistemi produttivi caratterizzati da una complessa interazione tra processi di trasformazione continui e processi di-

gistics are vitally important. In this way, the role of production system manufacturers changes, becoming increasingly competitive and improving production methods on a global scale.

*The priorities of research and innovation identified for the **LI4 - High-efficiency production systems** are:*

PRI4.1 - Advanced control for optimization of hybrid systems
The development of advanced control systems requires the availability, in the automation environment, of appropriate restricted control problem solvers, which can be used to dynamically calculate the best solution at cycle rate, i.e. responding in real time with specially calculated actions. In particular, hybrid control problem solvers (i.e. continuous and discrete mixes) must be developed and incorporated into automation environments in such a way as to support, in a single framework, the complexity of the current continuous and discrete production processes.

Excellent control solutions are necessary for production systems characterised by a complex interaction between continuous transformation processes and discrete processes. In these contexts, automation and control systems implement high production efficiency and consumption and energy minimisation mechanisms.

screti. In tali contesti, i sistemi di automazione e controllo che implementeranno logiche di alta efficienza produttiva e di minimizzazione dei consumi e dell'energia.

PRI4.2 - Soluzioni per la gestione integrata della manutenzione, qualità e logistica per la produzione "Zero-Defect"

La produzione "Zero-Defect" è un paradigma emergente che mira a superare i tradizionali approcci six-sigma in settori ad elevato contenuto tecnologico e di elevata importanza strategica, attraverso approcci innovativi basati sulla gestione della conoscenza. In quest'ottica la ricerca sarà orientata verso lo sviluppo di metodologie, tecnologie e strumenti integrati di manutenzione, controllo qualità, e logistica di produzione per supportare la produzione zero-defect. A livello di processo si svilupperanno approcci di modellazione e previsione dello stato di degrado della macchina a partire da dati acquisiti dal campo attraverso sensori di processo e prodotto. Tali modelli permetteranno di implementare soluzioni di manutenzione condition-based in grado di prevedere le deviazioni ed evitare i difetti, senza interferire con le performance logistiche del sistema. A livello di sistema si svilupperanno modelli e metodi per prevedere l'impatto di un difetto sui successivi stadi di produzione e per identificare soluzioni proattive di eliminazione di difetti, tra cui rilavorazione e riparazione in linea, evitando che i difetti siano identificati solo dall'ispezione

PRI4.2 - "Zero-Defect" production based on solutions for maintenance, quality and logistics integration

"Zero-defect" production is an emerging paradigm that aims to surpass the traditional six-sigma approaches in sectors with a high technological content and high strategic importance, through innovative approaches based on the management of knowledge. With this in mind, research will be aimed towards the development of integrated methodologies, technologies and tools for production maintenance, quality control and logistics, to support zero-defect production. At the process level, we will develop approaches to model and forecast the state of degradation of the machine, starting from data acquired from the field through process and product sensors. Such models will implement condition-based maintenance solutions capable of predicting deviations and preventing defects, without interfering with the system's logistical performances. At the system level, we will develop models and methods to predict the impact of a defect on the subsequent production stages and to identify proactive solutions to eliminate defects, including in-line reprocessing and repair, preventing the identification of defects only upon inspection at the end of life with the consequent waste disposal costs.

PRI4.3 - Systems for supervision and control of industrial processes

The construction of high-efficiency production systems requires the adoption of advanced solutions for supervi-

a fine linea, con conseguenti costi di smaltimento dello scarto.

PRI4.3 - Sistemi di supervisione e controllo dei processi industriali

La realizzazione di sistemi di produzione ad elevata efficienza richiede l'adozione di soluzioni avanzate di supervisione e controllo ottimo distribuito. Lo sviluppo di tali soluzioni di automazione è possibile soltanto attraverso metodi avanzati e strumenti integrati user-friendly in grado di supportare gli sviluppatori dalla fase di specifica e design, alla implementazione e validazione, all'integrazione e ramp-up del sistema. In tal senso, risulta necessario sviluppare strumenti di engineering per la realizzazione agile e strutturata di tutti gli elementi della soluzione di controllo ottimo, considerando l'architettura ed i parametri del modello ibrido del sistema di produzione, i vincoli da rispettare sul controllo di processo e sugli attuatori, ed i componenti delle funzioni obiettivo, che rappresentino aspetti dell'ottimizzazione legati sia al raggiungimento di performance di processo sia alla minimizzazione di consumi energetici. A completamento di ciò, la realizzazione di soluzioni di automazione basate su architetture distribuite necessita di nuovi strumenti di deployment, che dovranno supportare il progettista sia nella concezione della soluzione di controllo ottimo distribuito in un unico progetto di automazione, sia nella distribuzione della soluzione di controllo a livello shopfloor, tramite l'assegnamento di ciascun modulo di controllo ad una risorsa sul campo su sistema hardware distribuito.

PRI4.4 - CyberPhysical Systems (CPS) per la fabbrica intelligente

I limiti dei sistemi produttivi sono legati alla rigidità delle configurazioni ed alla struttura gerarchica dei processi decisionali. Nel primo aspetto convergono la tipo-

sion and optimal distributed control. The development of said automation solutions is only possible through advanced methods and user-friendly integrated tools that are able to support the developers of the specification and design phase, through implementation and validation, to integration and the ramp-up of the system. In this sense, it is necessary to develop engineering tools for the agile and structured construction of all elements of the optimal control solution, bearing in mind the architecture and parameters of the hybrid model of the production system, regulations regarding process control and the actuators, and the components of the objective functions, which represent aspects of optimisation linked both to achieving process perform-

ance and the minimisation of energy consumption. To complete this, the construction of automation solutions based on distributed architecture requires new deployment tools to support the designer both in the conception of the optimal control solution distributed in a single automation project, and in the distribution of the control solution on the shop floor, through the assignment of each control module to a resource in the field on a distributed hardware system.

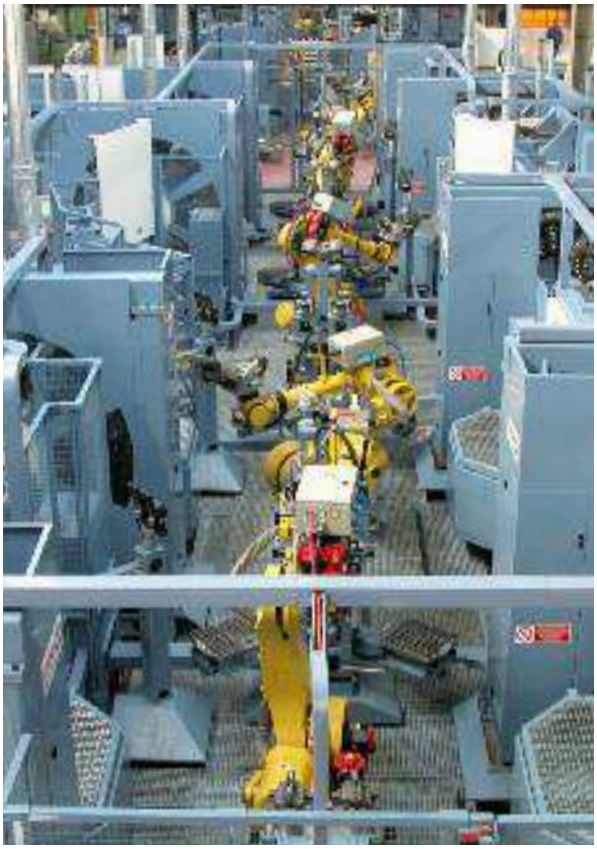
PRI4.4 - CyberPhysical Systems (CPS) for the intelligent factory

The limits of the production systems are linked to the rigidity of the configurations and the hierarchical struc-

logia implementativa degli impianti e dei relativi sistemi di monitoraggio e controllo, spesso vincolati a procedure "cablate" e definite a priori su una stretta gamma di alternative. Al secondo aspetto fanno riferimento sia il processo di raccolta delle informazioni (ad es. tramite la sensorisitica o le stazioni operatore) che consentono la raccolta di limitate tipologie di informazioni che devono poi essere convogliate ai livelli decisionali più alti, sia il meccanismo decisionale che viene centralizzato e porta a prendere decisioni in contesti ti-

picamente lontani dal punto sensibile. L'adozione di unità intelligenti distribuite (Cyber Physical Systems) in grado di raccogliere numerosi tipi di informazioni, elaborarle localmente, scambiarle in modalità paritetica con entità analoghe ad alta capacita elaborativa, consentirà una migliore conoscenza dello stato del processo, dei relativi vincoli e potenzialità, permettendo di reagire in tempi rapidi a situazioni critiche, migliorando in maniera significativa l'utilizzo delle risorse e l'efficienza complessiva del processo.

È necessario lo studio di una piattaforma operativa in cui dispositivi intelligenti possano integrarsi in maniera nativa per la raccolta di informazioni, collaborando tra loro per la gestione e l'ottimizzazione del processo.



ture of the decision-making processes. The first aspect sees the convergence of the implementative type of installation and the relative monitoring and control systems, often limited to "cabled" procedures and based on a rigorous range of alternatives. The second aspect is referred to both as the information collection process (e.g. through sensors or operator stations), which gathers limited types of information that must then be directed to the higher decision-making levels, and the decision-making mechanism, which is centralised and leads to decision-making in contexts that are typically far from the main point of focus. The adoption of new technologies capable of gathering various types of information, processing them locally, and exchanging them fairly with similar entities of high-processing capacity, will enable improved knowledge of the process status, the relative constraints and potential, in order to adapt operation to the best use of the available potential and find quick solutions to critical situations, significantly improving the use of resources and the overall efficiency of the process.

It is necessary to study operational platforms where smart devices can be integrated for the collection of information, and where there is reciprocal interaction for the event management and process optimisation.

PRI4.5 - Advanced motion planning per robot industriali

La necessità di sviluppare algoritmi avanzati per la pianificazione del moto di robot industriali anche cooperanti nasce da diverse esigenze, ma tutte caratterizzate dall'obiettivo di avere celle robotizzate altamente flessibili che consentano di implementare processi produttivi in grado di garantire standard qualitativi elevati sul prodotto finito anche nel caso di lotti di produzione molto piccoli. In particolare, si possono sviluppare applicazioni relative all'uso di tecnologie additive e a compiti di assemblaggio e disassemblaggio.

Algoritmi di pianificazione della traiettoria che consentano un'elevatissima precisione nella produzione di pezzi (eventualmente singoli) con tecnologia additiva ed un framework che consenta ai manipolatori industriali di eseguire compiti di assemblaggio e disassemblaggio, in particolare adattando automaticamente, in tempo reale, la programmazione dei movimenti in funzione della presenza dell'operatore.

PRI4.5 - Advanced motion planning for industrial robots

The development of advanced planning algorithms of the movement of industrial robots, even cooperating ones, comes from a variety of lacks, all of which are characterised by the goal of having highly flexible robotised cells that permit the implementation of production processes capable of guaranteeing high-quality standards in the finished product, even in the case of small production lots. In particular, applications can be developed for the use of additive technologies and assembly and disassembly tasks.

Moreover this research priority focuses also on the need to the develop algorithms for planning robot trajectory, which allow very high precision in the production of single products with additive technology and a framework that allows the industrial manipulators to carry out (also cooperating with humans) assembly and disassembly tasks.

PRI4.6 - Modellazione di robot industriali

La definizione di metodologie per la stima accurata del modello del robot (in particolare di attriti ed elasticità) permette di sviluppare algoritmi di controllo per l'ottenimento di elevate prestazioni sia nelle lavorazioni del robot in contatto con l'ambiente, come la sbavatura o l'asportazione di truciolo che in quelle caratterizzate da elevate dinamiche in cui è fondamentale minimizzare l'errore di inseguimento in traiettoria. Ancora più importante è la soppressione subitanea delle vibrazioni provocate dalle forze di lavoro, consentendo di utilizzare i robot in modo flessibile anche per quelle operazioni di machining che oggi vengono realizzate normalmente tramite macchine a controllo numerico.

Inoltre, un modello accurato permette di predire le coppie sviluppate da ogni motore e quindi di sviluppare algoritmi per la minimizzazione del consumo energetico di una cella.

PRI4.6 – Accurate modelling of industrial robots

The definition of methodologies for the accurate modelisation of robots (in particular to evaluate frictions and elasticity) is based on control algorithms to obtain high performance in the processes carried out by the robot, such as the elimination of tags or the removal of shavings, and those characterised by high dynamics in which minimising the trajectory pursuit error is vital. Even more important is the elimination of vibrations due to working force, to use robots in a flexible way for operations which are usually made by machine tools.

Moreover, an accurate modelisation allows to predict the torques necessary for each motor and therefore to develop algorithms to minimise the energy consumption of a cell.

4.5 LI5: Processi produttivi innovativi

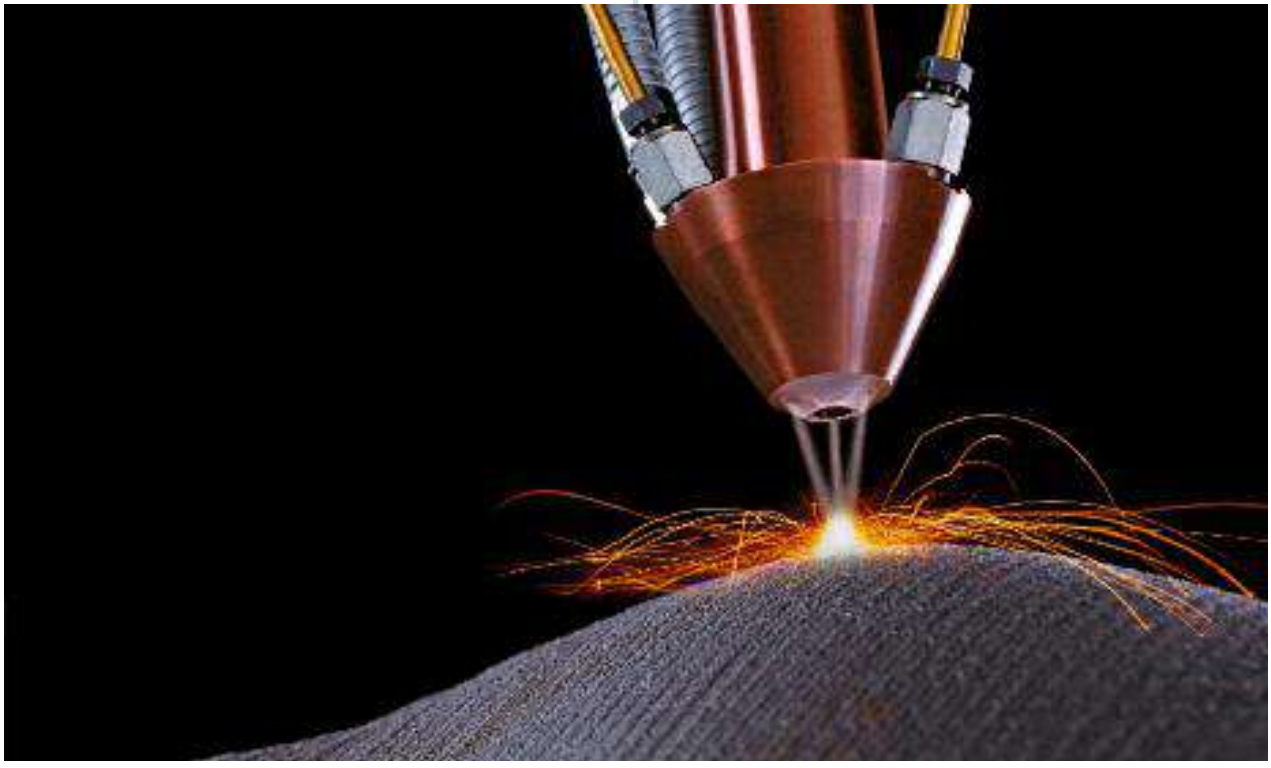
L'accelerazione dell'avanzamento tecnologico in questi ultimi anni è stata particolarmente elevata nell'utilizzo dell'ICT nel manifatturiero ma ha portato ad un cambio di scenario anche dal punto di vista delle tecnologie produttive con l'introduzione di processi di produzione innovativi che richiedono lo sviluppo di beni strumentali ad essi dedicati. Si sta sviluppando un nuovo concetto di produzione caratterizzato da tecnologie che garantiscano la possibilità di realizzare, a costi contenuti, una gamma via via crescente di lavorazioni (ad esempio sorgenti laser in grado di realizzare processi di taglio, saldatura, ablazione) di geometrie realizzabili su materiali differenti. L'obiettivo di questa linea di intervento è la creazione di nuovi sistemi produttivi in grado di realizzare processi produttivi innovativi per la produzione di prodotti, micro- e nano- componenti, prodotti meccatronici, anche sfruttando materiali complessi e ad alto valore aggiunto, quali, ad esempio, materiali compositi e bio-materiali.

Tali processi, infatti, sono spesso definiti a livello di applicazioni di laboratorio e mancano quindi le tecnologie ed i sistemi produttivi necessari a portare i nuovi prodotti sul mercato con produzione su larga scala. In generale, le tematiche di ricerca prioritarie in quest'area sono esemplificate dall'applicazione dell'Additive Manufacturing, delle tecnologie e processi laser, delle tecnologie e processi di produzione a livello micro e nano, dei processi

4.5 LI5: Innovative production processes

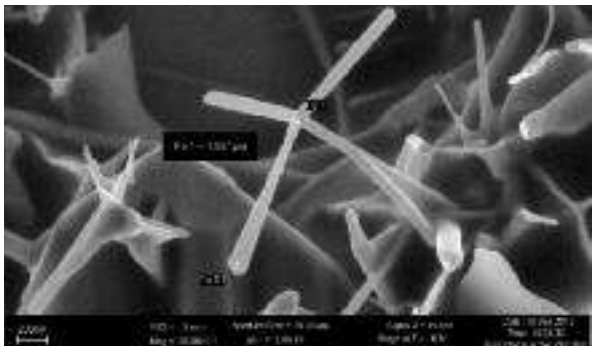
The acceleration of technological progress in recent years has been exponential with regard to the use of ICT in production but has also led to a change in scenario in terms of production technologies, with the introduction of innovative production processes that require the development of dedicated instrumental goods. A new production concept is being developed, characterised by technologies that guarantee the possibility of carrying out, at reduced costs, a growing range of processes (e.g. laser sources for cutting, welding and ablation processes) in forms that can be replicated with different materials. This Strategic Action Line is aimed at creating new production systems to carry out innovative processes for the production of complex products and materials with high added value, such as composite materials and biomaterials, micro- and nano- components, mechatronic products, etc.

These processes are, in fact, often defined on a laboratory scale, so there is a lack of technologies and production systems necessary to bring new products to the market thanks to large-scale manufacturing operations. In general, the priority research themes in this area are linked, for example, to the application of additive manufacturing, laser technologies and processes, micro- and nano-level production processes and technologies, hybrid processes that integrate several conventional and unconventional technologies, etc. Another fundamental aim of



ibridi che integrano diverse tecnologie convenzionali e non convenzionali, etc. Altro obiettivo fondamentale di questa linea di intervento è la possibilità di migliorare le performance dei processi produttivi tramite una integrazione\interazione spinta con i sistemi di misura; tale sinergia diventa fondamentale soprattutto nella fabbricazione di micro e nano componenti dove il monitoraggio della lavorazione è necessaria al fine di modificare i parametri di processo del sistema produttivo in real time garantendo processi ad elevata efficienza.

Lo sviluppo di queste tecnologie permette di rispondere a sfide specifiche legate per esempio alla personalizzazione di prodotti attraverso stampanti in 3D da parte del consumatore che potrebbe diventare lui stesso produttore e, con apposita stampante, potrebbe produrre un bene acquisendo\acquistando dalla rete il modello digi-



tale per poi fabbricarlo, pur non avendo alcuna nozione delle tecniche CAD/CAM piuttosto che dei processi di additive manufacturing.

In generale, lo sviluppo di tecnologie innovative dovrà comunque porre grande attenzione alle problematiche ambientali: la bassa emissione di CO_2 dovrà essere uno dei punti fondamentali da prendere in considerazione ma anche la sostenibilità dovrà essere un attributo necessario nell'evoluzione di tali processi in quanto la scarsità delle risorse imporrà lo sviluppo di processi in grado di realizzare componenti razionalizzando al massimo gli

this Strategic Action Line is to improve the performance of the production processes through a driven integration/interaction with the measurement systems; this synergy becomes particularly vital in the production of micro- and nano-components where measurement is necessary in order to change the production system process parameters in real time, guaranteeing high-efficiency processes.

The development of these technologies allows us to respond to specific challenges linked, for example, to the customisation of products using 3D printers by the customer, who could become the end manufacturer and, with the right printer, produce a product by acquiring/purchasing the digital model online and then manufacturing it, even without any knowledge of CAD/CAM techniques or of additive manufacturing processes.

In general, the development of innovative technologies must focus great attention on environmental problems: low CO_2 emissions and safety and nano-safety issues must be taken into consideration. Sustain-

sprechi (sovrametallo, bava e materiale da asportare). Inoltre queste tecnologie possono permettere ai produttori di beni strumentali di differenziarsi sui mercato internazionali con l'alta qualità dell'offerta delle tecnologie all'avanguardia.

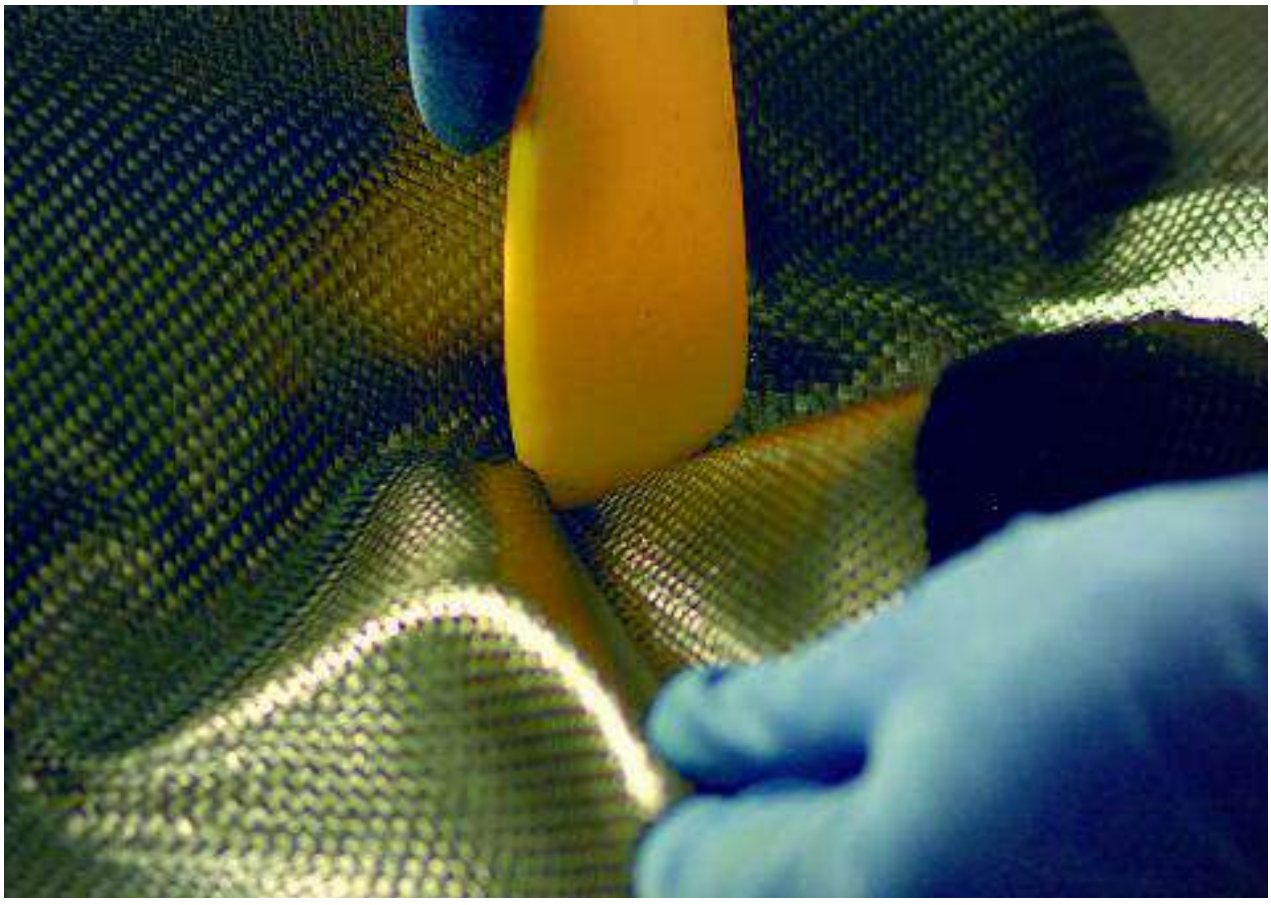
Le priorità di ricerca e innovazione individuate per la linea di intervento **LI5 - Processi produttivi innovativi** sono:

PRI5.1 - Tecnologie e processi di produzione per materiali innovativi
Tecnologie e processi per la produzione di materiali innovativi dalle elevate caratteristiche meccaniche e funzionali (ad esempio, materiali per ambienti estremi, materiali per display, micro- e nano- materiali, materiali tessili multifunzionali, materiali per raccolta e conversione di energia, materiali rinnovabili ad alte prestazioni, materiali compositi materiali cellulari, materiali biomimetici) attraverso tecnologie convenzionali e non convenzionali (miscelazione, deformazione, asportazione e deposizione di materiale, etc.). Sviluppo di utensili (stampi, utensili e attrezzature) che li rendano più resistenti a usura, meno costosi, più flessibili.

ability is also a necessary attribute in the evolution of these processes, as a lack of resources will enforce the development of processes capable of creating components, fully rationalising waste (stock metal, burrs and material to be removed). Moreover, these technologies can allow producers of instrumental goods to stand out on the international markets with the high quality of the offer of state-of-the-art technology.

*The research and innovation priorities identified for **LI5 -Innovative production processes are**:*

PRI5.1 - Processes technologies for innovative materials
Technologies and processes for the production of innovative materials with both high mechanical and functional characteristics (e.g. materials for extreme environments, display materials, micro- and nano- materials, multifunctional textile materials, materials for the collection and conversion of energy, high-performance renewable materials, composite materials, cellular materials, biomimetic materials). Technologies and processes for the processing of innovative materials with high mechanical and functional characteristics,



PRI5.2 - Soluzioni avanzate per la realizzazione di prodotti su scala micro

Tecnologie di microlavorazione flessibili in grado di garantire alte prestazioni ed efficienza al variare delle caratteristiche dei prodotti, dei materiali o del mix produttivo. Produzione di microparti 3D in diversi materiali e su grandi volumi. Processi di produzione per microparti 3D che integrino differenti tecnologie di lavorazione. Caratterizzazione geometrica, dimensionale e microstrutturale di microparti 3D. Sistemi di produzione micro e problematiche relative alla qualità, alla misura, all'attrezzaggio ed al trasporto di micro parti 3D. Metodi di supervisione, controllo della qualità e gestione dei processi e dei sistemi. Tecnologie e sistemi per l'assemblaggio a livello microgeometrico, con particolare attenzione sia alla fase di manipolazione che di alimentazione dei componenti da assemblare. Sistemi di alimentazione e manipolazione. Tecnologie di formatura microgeometrica.

Progettazione di microattuatori e micromanipolatori in grado di movimentare e posizionare componenti di dimensioni micrometriche. Sviluppo pacchetti CAM che abbiano come input la reale geometria (massiva o superficiale) del componente.

using conventional and unconventional technologies (coupling deformation, heating, removal and deposition of material, etc.), also taking into consideration the specifics and characteristics of the tools involved (prints, tools and equipment) that make them more resistant to wear and stress, cheaper and more flexible. A fundamental issue to take into account in the development of innovative nano-materials is related to safety in the production and use of nano-powders.

PRI5.2 - Advanced solutions for the micro-scale manufacture of products

Flexible micro-processing technologies able to guarantee high performance and efficiency as the characteristics of the products, materials or production mix change. The production of 3D micro-parts in various materials and in large volumes. Production processes for 3D micro-parts that integrate different processing technologies. Geometric, dimensional and microstructural characterisation of 3D micro-parts. Micro-production systems and problems regarding quality, size, equipment and transport of 3D micro-parts. Supervision methods, quality control and management of processes and systems. Technologies and systems for micro-geometric-level assembly, paying particular attention both to the manipulation phase and the supply of assembly components. Supply and manipulation systems. Technologies for micro-geometric form. Design of micro-actuators and micro-manipulators (micrometric removals) capable of moving and positioning components of micrometric dimensions. Programming of a functional CAM that has the real geometry (massive or superficial) of the component as its input.

PRI5.3 - Hybrid Processing
Sviluppo di tecnologie, macchine ed utensili ibridi per la realizzazione di componenti caratterizzati da geometrie complesse con tolleranze ristrette. La possibilità di sfruttare due o più tecnologie, ad esempio combinando lavorazioni tradizionali con lavorazioni su scala micro in una macchina integrata garantisce un miglioramento dei tempi di produzione (tempo necessario per spostare il componente da una stazione all'altra) e della qualità del componente (nessun riposizionamento). Ulteriori strategie di ibridazione sono l'utilizzo di processi meccanici e termici o di tecnologie di condizionamento (lubrificazione, refrigerazione) del materiale in lavorazione e degli utensili, che possono essere rese più flessibili tramite la combinazione di metodi alternativi tradizionali, MQL (Minimum Quantity Lubrication), criogenici, TAM (Thermally Assisted Machining). Inoltre è importante sviluppare utensili ibridi in grado di lavorare il materiale sfruttando più tecnologie contemporaneamente (come per esempio foratura e ultrasuoni, laser e deformazione plastica) al fine di migliorare la resa di lavorazione ed aumentare la capacità di processo.

PRI 5.4 – Nuove tecnologie per l'additive manufacturing
I sistemi di stampa additiva attuali si basano sulla produzione del componente attraverso una lavorazione bidimensionale integrata con una traslazione monodirezionale del piano di lavorazione (tecnologia layer by layer). Tuttavia tale processo è attualmente limitato dalla necessità di realizzare strutture di supporto, tecnologia comunemente usata in quasi tutti i sistemi AM attuali. La criticità di tali strutture è spesso correlata alla difficoltà di rimozione del supporto stesso essendo i materiali di tali strutture caratterizzati da elevate proprietà meccaniche ed una elevata resistenza alle alte temperature. Per

PRI5.3 - Hybrid processing
Development of technologies, machines and hybrid tools for the manufacturing of components characterised by complex geometries with small tolerances. The possibility of exploiting two or more technologies, for example combining traditional processes with micro-scale processes in an integrated machine, could guarantee improved production times (time necessary to move the component from one station to another) and improved quality of the component (no repositioning). Further hybridisation strategies are the use of mechanical and thermal processes or of conditioning technologies (lubrication, cooling) of the material being processed and the tools, which may be made more flexible by combining alternative traditional methods, such as MQL (Minimum Quantity Lubrication), cryogenics and TAM (Thermally Assisted Machining). It is also important to develop hybrid tools that can process the material by exploiting more than one technology at a time (drilling and ultrasound, laser and plastic deformation, etc.) in order to improve processing output and increase process capacity.

PRI5.4 – New technologies for additive manufacturing
Current additive printing systems are based on the production of the component through two-dimensional processing integrated with a unidirectional translation of the process level (layer-by-layer technology). However, this process is currently limited by the need to create support structures, a technology normally used in almost all current AM systems. The critical point of these structures is often linked to the difficulty in removing the support itself as the materials of these structures are characterised by advanced mechanical

migliorare la resa del processo è possibile implementare nuove strategie di movimentazione tramite sistemi a più assi in grado di offrire una maggiore flessibilità nella costruzione di oggetti complessi. Gli sviluppi sono legati a diversi livelli di intervento quali per esempio i dispositivi e tecnologie innovative per la stampa 3D di prodotti complessi, il controllo adattivo congiunto di aspetti di movimentazione e processo, la sensoristica e dispositivi per il monitoraggio online del processo di stampa 3D di componenti complessi, le metodologie per la progettazione (a priori) e per l'ispezione e il controllo (a posteriori) della qualità di prodotti complessi realizzati con stampa 3D.

PRI5.5 – Nuovi materiali per additive manufacturing
La maggior parte dei processi additivi sfrutta fenomeni termici nella generazione degli strati di materiali, richiedendo quindi nuove attività di ricerca per superare il fenomeno legato ai problemi di distorsioni termiche a fine processo e affrontando anche la realizzazione di alcune leghe metalliche. La produzione additiva di materiali ad alte prestazioni meccaniche (metallici, ceramici) è al momento limitata a causa dell'elevato costo di investimento delle macchine di additive manufacturing ad essi dedicate. È necessario studiare nuovi materiali che permettano la realizzazione di oggetti complessi per esempio attraverso l'implementazione di processi a freddo con leghe oro-alluminio per componentistica elettronica.

properties and high resistance to heat. To improve the output of the process, it is possible to implement new strategies of movement through systems with several axes capable of offering more flexibility in the construction of complex objects. Developments are linked to various levels of intervention, such as devices and innovative technologies for the 3D printing of complex products, joint adaptive control of movement and process aspects, sensors and devices for the online monitoring of the 3D printing process of complex components, and methods of design (beforehand) and inspection and control (afterwards) of the quality of complex products created with 3D printing.

PRI5.5 - New materials for additive manufacturing
The majority of additive processes exploit thermal phenomena in the generation of layers of materials, requiring new research activities to overcome the problems of thermal expansion at the end of the process, as well as dealing with the creation of some metal alloys. Additive production of high-mechanical-performance materials (metals, ceramics) is currently limited due to the high investment costs of the dedicated additive manufacturing machines. It is necessary to research new materials that allow the creation of complex objects, through the implementation of cold processes, for example to create gold-aluminium alloys for the production of electronic components.

PRI5.6 - Tecnologie per la produzione di componenti in materiali compositi in alti volumi

I materiali compositi trovano applicazione in molti settori, ma la loro produzione è ancora vincolata da limiti tecnologici. Questa priorità di ricerca prevede lo sviluppo di tecnologie innovative per migliorare la capacità di produrre componenti in materiali compositi anche con volumi di produzione molto elevati superando i limiti degli attuali sistemi produttivi.

PRI5.7 - Processi produttivi innovativi tramite lavorazioni laser

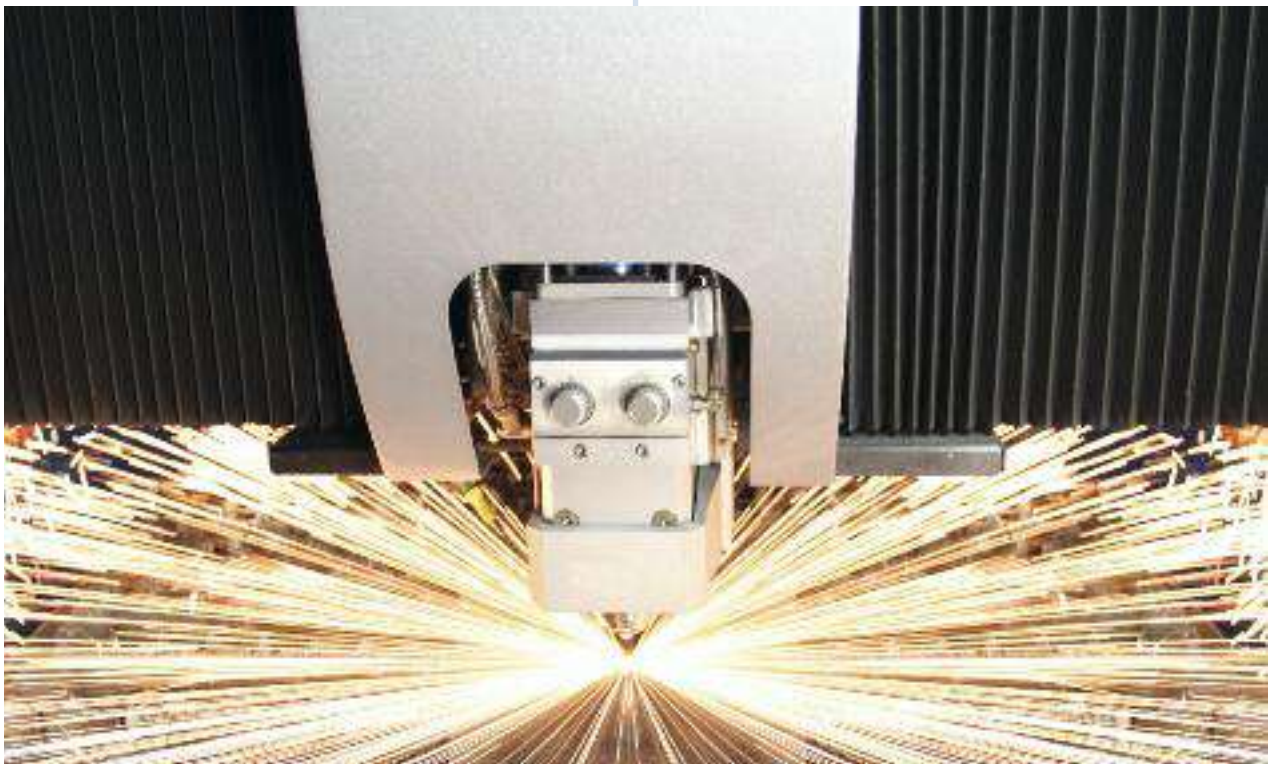
Nel campo dello sviluppo di tecnologie laser, l'aumento della potenza disponibile, la focalizzazione in spot di dimensioni sempre più ridotte (elevata brillanza) e lo sviluppo di sorgenti con impulsi sempre più brevi sono ancora importanti linee di ricerca, ma sono ora integrate con il crescente interesse per il controllo della geometria del fascio (*beam shaping*) e la ricerca di altre lunghezze d'onda. Le motivazioni sono legate alla necessità di ampliare in modo significativo la gamma di materiali lavorabili come, ad esempio, il rame, materiali rinforzati con fibre o altre strutture composite. Le nuove sorgenti laser dovranno avere una scelta più ampia di lunghezze d'onda e delle proprietà speciali del fascio integrate con nuova sensoristica per garantire la qualità della lavorazione e la possibilità di progettare nuove tecniche di lavorazione per nuovi materiali o combinazioni di materiali.

PRI5.6 - Technologies for the high-volume production of components in composite materials

Composite materials are applied in many sectors, but their production is still restricted by technological limits. This research priority envisages the development of innovative technologies to improve the capacity to produce components in composite materials, along with high production volumes exceeding the limits of the current production systems.

PRI5.7 - Innovative laser-based production processes

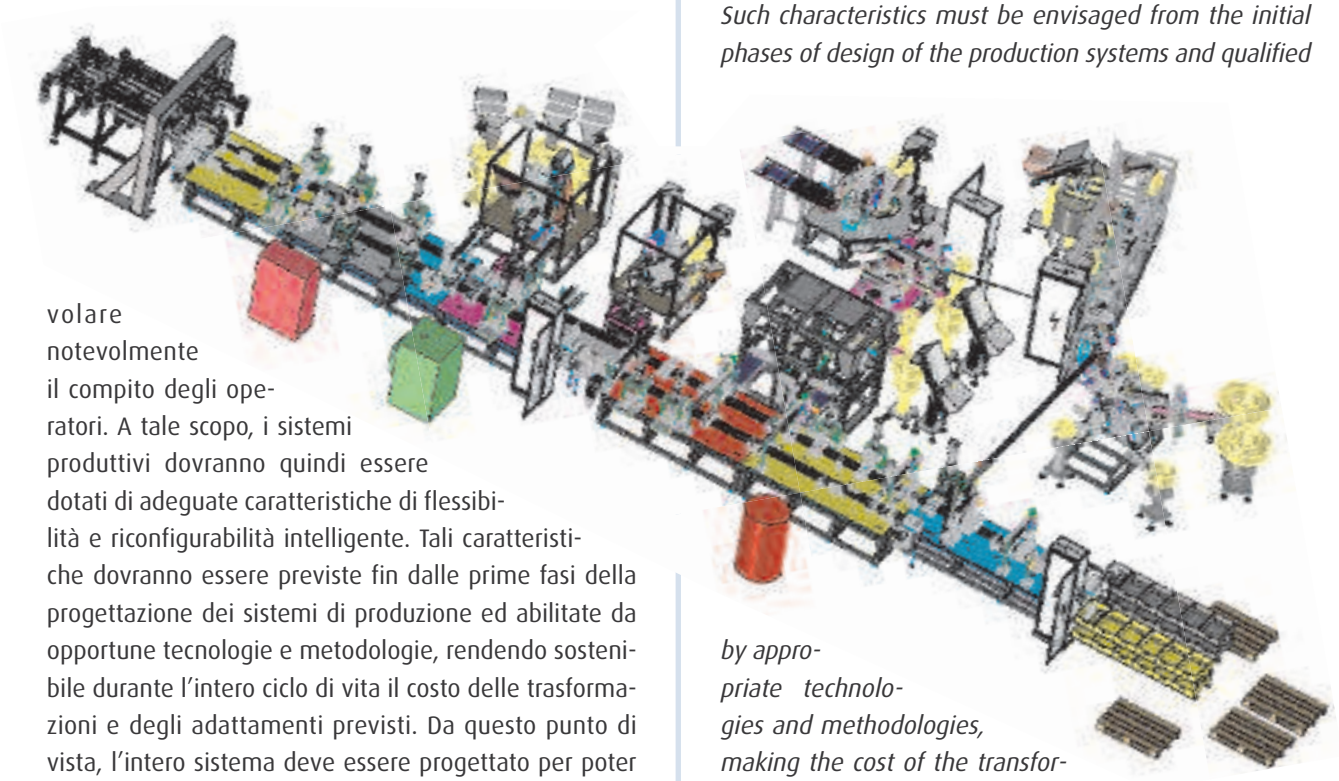
In the laser technology development field, an increase of available power, the focalisation in increasingly smaller spots (higher luminance) and the development of sources with shorter impulses are still important lines of research but they are now integrated with the growing interest in the modelling of the geometry of the beam (beam shaping) and research into other wavelengths. The reasons concern the need to significantly expand the range of materials that can be processed, such as copper, materials reinforced with fibres or other composite structures. The new laser sources will have to have a wider range of wavelengths and special beam properties, integrated with new sensor-based components to guarantee the quality of processing and the possibility of designing new processing techniques for new materials or combinations of materials.



4.6 LI6: Sistemi di produzione evolutivi e adattativi

L'obiettivo di questa linee di intervento è lo sviluppo di una nuova generazione di sistemi produttivi in grado di evolvere nel tempo e di adattarsi dinamicamente alle mutevoli condizioni di contesto, determinate dalla turbolenza della domanda, dalla rapidità dei cicli tecnologici e dalle dinamiche della situazione competitiva, vista anche nella sua evoluzione temporale. Si tratta di un obiettivo centrale, che si sposa con le esigenze di capacità di personalizzazione e di adattamento richiesto a sistemi produttivi che da tempo si sono allontanati dalla "mass production" per entrare in un contesto di "customization", producendo quindi varianti personalizzate, che richiede al sistema produttivo un continuo adattamento, ma anche di evolvere in modo "naturale" verso possibili applicazioni future, tecnologiche e di mercato.

E' inoltre auspicabile che tali caratteristiche di evolutività e di adattatività sfruttino gradi di automazione ed autoapprendimento da parte delle macchine, che non rendano quindi necessaria una puntuale programmazione esterna di tipo passivo, ma implichino il possesso di livelli di autonomia e di "intelligenza" adattativa tali da agevolare notevolmente il compito degli operatori. A tale scopo, i sistemi produttivi dovranno quindi essere dotati di adeguate caratteristiche di flessibilità e riconfigurabilità intelligente. Tali caratteristiche dovranno essere previste fin dalle prime fasi della progettazione dei sistemi di produzione ed abilitate da opportune tecnologie e metodologie, rendendo sostenibile durante l'intero ciclo di vita il costo delle trasformazioni e degli adattamenti previsti. Da questo punto di vista, l'intero sistema deve essere progettato per poter accogliere, senza stravolgimenti architetturali o funzionali, nuove generazioni di sistemi/componenti/tecnologie. Risulta evidente che una delle caratteristiche richieste riguarderà un adeguato grado di modularizza-



4.6 LI6: Evolutive and adaptive production systems

This Strategic Action Line is aimed at developing a new generation of production systems that can evolve over time and dynamically adapt to the changing conditions of the specific context, determined by the turbulence of demand, the rapidity of technological cycles and the dynamics of the competitive situation, also seen in its temporal evolution. This is a central goal, which combines the need for customising and adaptating production capacity, shifting from "mass production" to a context of "customisation", producing customised variants, which require the adaptation of the production system to this specific need, but also its "natural" evolution towards possible future technological and market evolutions.

It is also desirable that such characteristics of scalability and adaptivity are supported by machine automation and self-learning capabilities, so that they do not require a manual programming of devices and components. In other words, it is required that the new systems embed a degree of autonomy and "intelligence" such as to greatly facilitate the task of operators. To this end, the production systems must be flexible and intelligently reconfigurable. Such characteristics must be envisaged from the initial phases of design of the production systems and qualified by appropriate technologies and methodologies, making the cost of the transformations and adaptations sustainable during the entire life cycle. From this point of view, the entire system must be designed to work, without extensive architectural or functional changes, with new generation of

zione e conseguentemente di divisione funzionale all'interno del sistema produttivo considerato. Da quanto illustrato emerge come debbano essere considerati due differenti livelli di evolutività ed adattamento:

- il primo che opera all'interno della variabilità prevista dalle attuali produzioni, con utilizzo di tecnologie note tra di loro integrabili e riconfigurabili;

- il secondo che tiene conto dell'evoluzione nel tempo del sistema produttivo, inteso quindi come comportamento evolutivo tra differenti "generazioni" tecnologiche di sistemi/componenti che il sistema produttivo deve poter accogliere al minimo costo possibile.

Le tematiche prioritarie di ricerca riguardano la modellazione e simulazione per la progettazione e gestione di sistemi produttivi evolutivi e riconfigurabili, soluzioni ICT per abilitare l'adattamento continuo delle risorse dei sistemi (macchine e persone) al contesto produttivo dinamico, tecnologie hardware e software per la riconfigurabilità dei sistemi produttivi, etc.

Gli abilitatori tecnologici sostanziali saranno legati alla disponibilità di dispositivi intelligenti con alte capacità di calcolo, integrabili via wireless in modo trasparente ed autonomo, in grado di monitorare e controllare gli asset produttivi, i prodotti e di supportare gli operatori nelle loro funzioni e nella presa di decisioni. Renderanno inoltre disponibili tutti i dati operativi, di configurazione, guasto, manutenzione necessari.

Le priorità di ricerca e innovazione individuate per la linea di intervento **LI6 - Sistemi di produzione evolutivi e adattativi** sono:

systems/components/technologies. It is clear that one of the characteristics required will concern a suitable level of modularisation and consequently of functional division within the production system considered. This shows how two different levels of evolution and adaptation must be considered:

- *the first, which operates within the variability envisaged by the current production, using technologies that can be integrated and reconfigured with each other;*

- *the second, which considers the evolution in time of the production system, considered as evolutive behaviour between different technological "generations" of systems/components that the production system must undertake at the lowest cost possible.*

The priority themes of research are modelling and simulation for the design and management of evolutive and reconfigurable production systems, ICT solutions to qualify the continual adaptation of system resources (machines and people) to the dynamic production context, and hardware and software technologies for the reconfigurability of production and other systems.

The substantial technological facilitators will be linked to the availability of smart devices with high calculation capacity, which can be integrated via wireless in a transparent and autonomous way, capable of monitoring and controlling production assets and products, and of supporting operators in their functions and decision-making. They will also make available all the necessary data regarding operations, configuration, defects and maintenance.

*The research and innovation priorities identified for **LI6 - Evolutive and adaptive production systems** are:*

PRI6.1 - Intelligent man-machine interaction
In flexible automation systems, the problem of managing the intelligent reconfiguration of the machine arises because, in the current state of the art technologies, the programming of a robot or machine is entrusted to specialised staff, and the factory operator is unabled to reprogramme the system in case of request for modifications for changes in production. This research priority proposes to study technologies for intelligent interaction between the operator (without programming) and the machine/robot. The aim is to develop technologies so

PRI6.1 - Interazione intelligente uomo-macchina

Nei sistemi di automazione flessibili, si propone il problema di gestire la riconfigurazione intelligente della macchina. Infatti, allo stato attuale della tecnologia, la programmazione di un robot o macchina è affidata a personale specializzato e l'operatore di fabbrica non è in grado di riprogrammare il sistema in caso di richieste di

modifiche per soddisfare variazioni di produzione. Si propone di studiare la tecnologia per l'interazione intelligente tra operatore (senza capacità di programmazione) e la macchina/robot. L'obiettivo è quello sviluppare una tecnologia per l'apprendimento della macchina in modo guidato dall'utente. In questo modo l'utente non esperto potrà programmare la macchina attraverso esempi che verranno appresi e generalizzati dal sistema di controllo della macchina. Le macchine potranno evolvere per eseguire processi e funzioni complesse senza la loro riprogrammazione. I sistemi produttivi saranno quindi più flessibili e pronti a gestire cambi di produzione o evolvere autonomamente verso nuove produzioni.

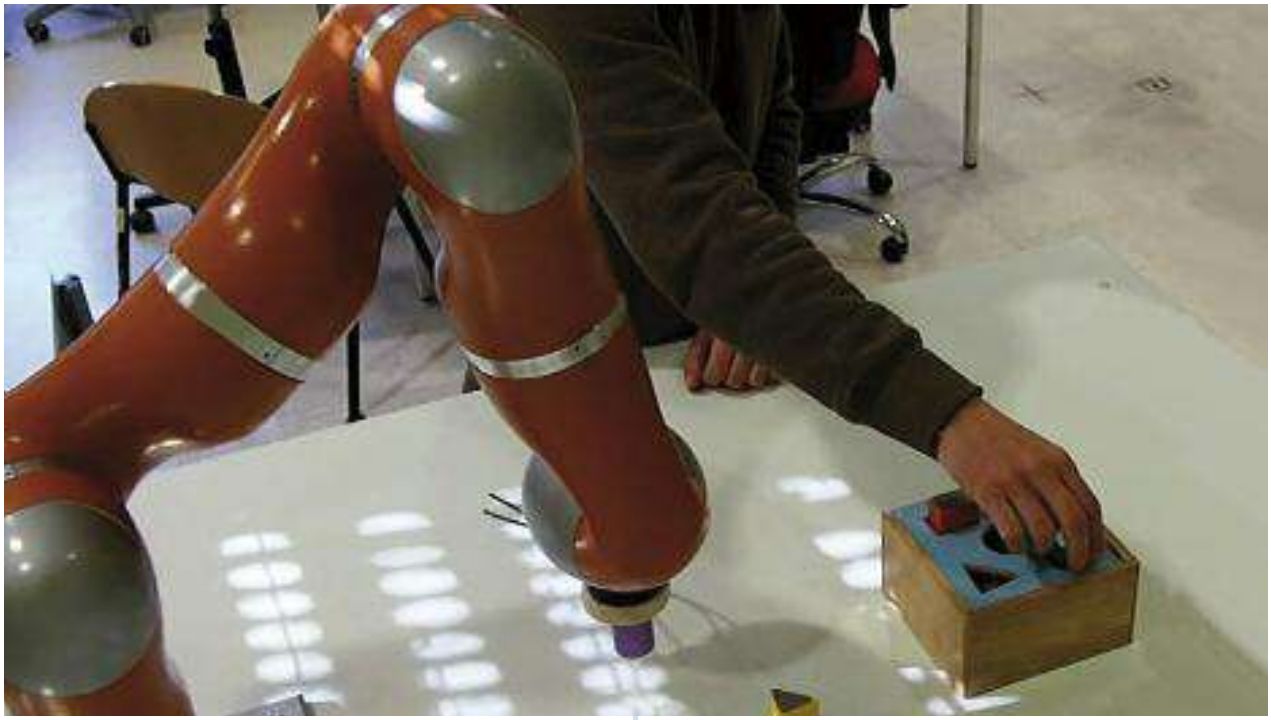
PRI6.2 - Human-robot co-working

L'evoluzione ed adattamento della macchina può essere ottenuta tramite una stretta cooperazione tra operatore e macchina (es. human teach pendant). Il maggiore problema che di fatto blocca l'interazione fisica tra uomo e robot e tra uomo e macchina è legato alla sicurezza che deve essere garantita all'operatore umano. Si propone quindi di sviluppare tecnologie sicure per garantire una interazione fisica tra l'essere umano e la macchina che non sia pericolosa per l'utente. L'ambiente di lavoro deve essere dotato di sensori (come per esempio laser scanner, sistemi di visione, fotocellule) che permettano di monitorare l'ambiente di lavoro. In questo modo si svilupperanno algoritmi intelligenti capaci di identificare situazioni di potenziale rischio per l'operatore (per esempio urto tra il robot in movimento e l'essere umano). I si-

that the machine can learn, guided by the user. In this way, the non-expert user will be able to program the machine through examples that will be learned and generalised by the machine's control system. The machines will be able to evolve to carry out complex functions and processes without reprogramming. The production systems will therefore be more flexible and ready to manage changes in production or evolve autonomously towards new products.

PRI6.2 - Human-robot co-working

The evolution and adaptation of the machine can be achieved through close cooperation between the operator and the machine (e.g. robot teach pendant). The main problem that prevents physical interaction between man and robot and between man and machine is linked to the safety that must be guaranteed to the human operator. The research priority therefore proposes the development of safe technologies to guarantee physical interaction between the human being and the machine. The working environment must be equipped with sensors (laser scanners, vision systems, photocells, etc.) that allow visualisation of the workplace. In this way, intelligent algorithms that are able to identify situations of potential risk for the operator (e.g. sudden physical interaction between the moving robot and the human being) will be developed. The sensor system and the algorithms must be designed in compliance with the safety criteria of EN ISO 13849-1 and CEI



stema di sensori e gli algoritmi devono essere progettati secondo criteri di sicurezza della normativa EN ISO 13849-1 e CEI EN 62061. Le macchine potranno evolvere grazie all'insegnamento tramite esempi lavorando a stretto contatto con un operatore umano.

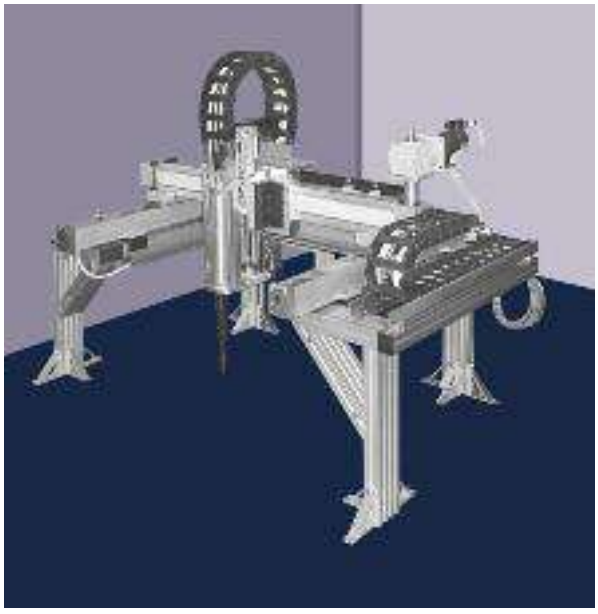
PRI6.3 - Strumenti di simulazione integrati per il virtual commissiong di sistemi di produzione

Gli ambienti di simulazione del processo produttivo vengono impiegati in modalità stand-alone - utilizzando modelli semplificati del processo basati su dati stimati - principalmente durante le fasi di progettazione e configurazione off-line del sistema produttivo. Estendendo le funzionalità di tali strumenti mediante l'integrazione di opportuni tool, è possibile ottenere una piattaforma integrata in grado di supportare la gestione ottimale del processo di produzione durante tutto il ciclo di vita, passando da uno strumento di analisi off-line, ad una soluzione di supporto all'ottimizzazione on-line in anello chiuso. Si pone quindi la necessità di sviluppare ed integrare strumenti software per la costruzione automatica dei modelli del processo (utilizzati nell'ambiente di simulazione) mediante connessione in tempo reale con lo shop floor, adottando tecniche di identificazione dinamica. A complemento, risulta necessario integrare architetture di comunicazione compatibili con il paradigma CPS in grado di connettere la piattaforma di simulazione estesa con l'automazione di campo. Tale connessione bidirezionale con lo shop floor sarà condizione abilitante di procedure avan-

EN 62061. Machines will be able to evolve thanks to teaching through example, working in close contact with a human operator.

PRI6.3 - Integrated simulation tools for the virtual commissioning of production systems

The simulation environments of the production process are employed in stand-alone methods – using simplified models of the process based on estimated data – mainly during the phases of design and offline configuration of the production system. Extending the functionality of said tools through the integration of appropriate tools, it is possible to obtain an integrated platform that can support the optimal management of the production process throughout the entire life cycle, moving from an offline analysis tool to a solution to support closed-circuit online optimisation. It is therefore necessary to develop and integrate software tools for the automatic construction of the process models (used in the simulation environment) through real-time connection with the shop floor, adopting dynamic identification techniques. Complementarily, it is necessary to integrate communication architectures that are compatible with the CPS paradigm, capable of connecting the extended simulation platform with the field automation. This two-directional connection with the shop floor will be a qualifying condition of advanced virtual commissioning procedures supporting the phases of optimisation and reconfiguration of the process.



zate di Virtual Commissioning a supporto delle fasi di ottimizzazione e riconfigurazione del processo.

PRI6.4 - Macchine intelligenti

Nuove soluzioni ICT per aumentare l'autonomia del macchinario nella fase di utilizzo, sia in termini di manutenzione che di ottimizzazione dei parametri di processo. Tali evoluzioni sono importanti in particolare nello scenario di globalizzazione che costituisce oggi leva fondamentale di successo per i costruttori italiani di beni strumentali, dove è sempre più importante ottimizzare le attività di manutenzione, in modo da minimizzarne i costi pur assicurando un elevato livello di disponibilità del macchinario. Il continuo aumento della potenza di calcolo e la disponibilità, nei moderni sistemi di controllo digitale, di numerosi segnali di alta qualità (quali posizioni, velocità, correnti, vibrazioni, ecc.), permette oggi di sviluppare soluzioni trasferibili in ambito industriale, con costi contenuti e robustezza adeguata. Una problematica emergente sarà quella della gestione e dell'estrazione di informazione da una crescente quantità di segnali, sia in termini di numero che di frequenze di campionamento. Per poter essere trasferite agilmente in ambito industriale sarà necessario sviluppare tecniche di data mining automatiche specifiche, secondo la filosofia dei Big Data.

PRI6.5 - ICT per lo sviluppo model-based di macchinari

Gli strumenti di simulazione oggi disponibili permettono di simulare il comportamento complesso dei macchinari, derivante dall'interazione tra struttura meccanica, sistema di controllo e processo produttivo. Tali modelli permettono di ottimizzare le prestazioni delle macchine e di ridurre

PRI6.4 - Smart machines

New ICT solutions to increase the autonomy of the machinery in the usage phase, in terms of both maintenance and optimisation of the process parameters. These evolutions are particularly important in the globalisation scenario, which, today, acts as an essential lever of success for the Italian manufacturers of instrumental goods, where it is increasingly important to optimise maintenance activities, minimising costs while ensuring a high level of availability of machinery. The constant increase in the power of calculation and the availability, in modern systems of digital control, of numerous signs of high quality (such as positions, speed, currents, vibrations, etc.) now allow us to develop solutions that can be transferred to the industrial sphere, with low costs and adequate strength. An emerging problem will be the management and extraction of information from a growing amount of signs, in terms of both number and frequency of sampling. In order to be easily transferred to the industrial sphere, it will be necessary to develop specific automatic data-mining techniques, according to the Big Data philosophy.

PRI6.5 - ICT for model-based machinery development

The simulation tools that are available today allow us to simulate the complex behaviour of machinery, deriving from the interaction between mechanical structure, the control system and the production process. Such models allow us to optimise the performance of machinery and to reduce (and even eliminate) the need to carry out experimental tests and subsequent project refinements.

(ed al limite annullare) la necessità di effettuare test sperimentali e successivi affinamenti del progetto. Tale tipologia di Virtual Prototyping è strategica per macchinari prodotti in piccolissime serie o, al limite, in versione singola customizzata per uno specifico cliente, come spesso è il caso dei produttori Italiani di beni strumentali. Per assicurare un rapido sviluppo di modelli affidabili è auspicabile poter disporre di modelli numerici dei componenti tali per cui il modello del macchinario possa essere assemblato come avviene per il corrispondente prototipo fisico. Si vuole così associare, nell'ottica del generale sviluppo di "Cyber-physical systems" una sinergica collaborazione tra l'oggetto fisico e la sua rappresentazione SW. Sono previste sia soluzioni basate su librerie condivise di "Virtual Components" (vd. IoT) che soluzioni basate sul collegamento in real-time di sistemi di simulazione gestiti da diversi attori lungo la supply chain.

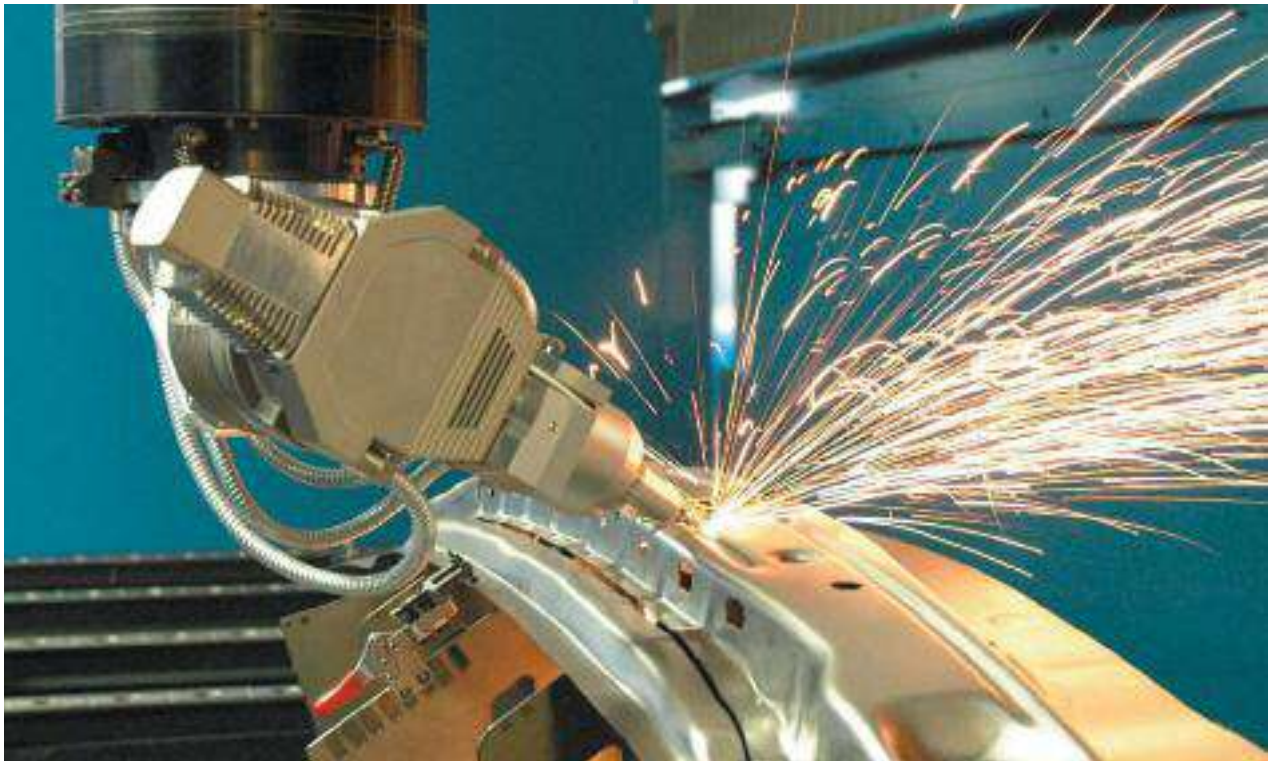
PRI6.6 - Piattaforme integrate digitali per la configurazione di sistemi di produzione

La progettazione di un sistema di produzione, così come la sua gestione, coinvolge competenze, strumenti, responsabilità e orizzonti temporali eterogenei. In particolare, la varietà e la complessità delle decisioni da prendere richiede sempre di più il supporto di strumenti software che implementano metodologie di progettazione e valutazione. Tali strumenti software lavorano nella maggior parte dei casi separatamente riducendo

This kind of virtual prototyping is strategic for machines produced in limited series or even for individual items customised for a specific customer, as is often the case for Italian producers of instrumental goods. It is also necessary to develop numeric models of components that enable assembly of a machine model in the same way as would occur for the physical prototype. In this way, it will be possible to associate, in the perspective of "Cyber-physical systems", a close collaboration between the physical object and its virtual representation. Solutions based on shared libraries of "virtual components" (i.e. IoT) are envisaged, along with solutions based on the real-time connection of simulation systems managed by various players along the supply chain.

PRI6.6 - Integrated digital platforms for the configuration of production systems

The design of a production system, just like its management, involves a variety of skills, tools, responsibilities and time spans. In particular, the variety and complexity of decisions to be made increasingly requires the support of software tools that implement design and evaluation methods. These software tools work separately in most cases, significantly reducing the efficiency of the exchange of information and the risk of errors or incomplete information, but also the impossibility of implementing integrated methodologies of configuration and/or management. To this end, increasing importance



significativamente l'efficienza dello scambio di informazioni, il rischio di errori o informazione incompleta ma anche l'impossibilità di implementare metodologie integrate di configurazione e/o gestione. A tal fine, diventa sempre più rilevante la disponibilità di una piattaforma in grado di supportare l'interoperabilità tra vari strumenti basata su una rappresentazione condivisa del sistema di produzione continuamente aggiornata e consolidata sia in fase di progettazione che di gestione per garantire la coerenza complessiva dei risultati.

In questo caso, il semantic web può rivelarsi molto importante perché, attraverso le ontologie è possibile formalizzare la conoscenza, includendo contesto e relazioni insieme alle informazioni specifiche al fine di garantire la piena interoperabilità dei dati e quindi la Digital Continuity.

PRI6.7- Sistemi modulari meccatronici ad elevata flessibilità

Sviluppo di moduli fondamentali ed indipendenti facilmente integrabili, riconfigurabili, adattativi e dotati di diagnostica avanzata. Le principali caratteristiche che dovranno possedere i moduli tecnologici (intesi come combinazione di parte meccanica, elettrica e SW) saranno:

- modularità: l'automazione deve essere scomposta in pochi componenti, distinti ed indipendenti
- compattezza: l'automazione deve essere concentrata in uno spazio ridotto e definto e non distribuita all'interno della macchina
- standardizzabile: l'automazione deve essere integrabile all'interno di qualunque struttura senza dover modificare l'interfaccia di collegamento
- scalabilità: al crescere del fabbisogno prestazionale del magazzino non corrisponde il cambio di modello ma soltanto del SW (parametri) dell'automazione e/o del numero di automazioni
- diagnostica avanzata integrata nei moduli con interfacciamento a strumenti innovativi remotabili (es. realtà aumentata)

Le aree funzionali interessate saranno la progettazione meccanica, la progettazione elettrica, così come la progettazione Software di basso e di alto livello e l'assistenza tecnica.

is placed upon the availability of a platform that can support interoperability between various tools based on a shared representation of the production system, which is continuously updated and consolidated both in the design and management phases to guarantee overall coherence of the results.

In this case, the semantic web can be very important because through ontologies it is possible to formalise the knowledge, including the context and relationships together with specific information in order to guarantee the full interoperability of the data and therefore digital continuity.

PRI6.7 - Mechatronic modular systems for high flexibility

Development of fundamental and independent models that can be easily integrated, reconfigured, adapted and equipped with advanced diagnostics. The main characteristics required by the technological modules (meaning the combination of the mechanical, electrical and software parts) are:

- *modularity: the automation must be broken down into a few separate and independent components*
- *compactness: the automation must be concentrated into a small, defined space that is not distributed within the machine*
- *standardisation: the automation must be able to be integrated within any structure without having to modify the connection interface*
- *scalability: the automation continues can work even if it (or its context) is changed in size or volume in order to meet a user need*
- *Advanced diagnostics to be integrated with innovative remote tools (e.g. augmented reality)*

The functional areas affected will be mechanical design, electrical design, low- and high-level software design and technical assistance.

4.7 LI7: Strategie e management per i sistemi produttivi di prossima generazione

La globalizzazione dei mercati implica la necessità di reti di fornitori su scala internazionale o mondiale, con conseguente aumento della complessità e dell'incertezza legata alle relazioni ed agli approvvigionamenti. La gestione di tali reti necessita di metodologie in grado di modellare e gestirne la complessità e l'incertezza, mitigando l'esposizione al rischio.

La complessità e la variabilità delle esigenze di business richiede quindi una grande dinamicità nella riconfigurazione del prodotto, dei processi e dei sistemi di monitoraggio e controllo delle realtà industriali. Questa dinamica trova spesso ostacolo nella struttura dei sistemi informatici a supporto dei processi di business e manifatturieri. Si tratta spesso di applicazioni monolitiche, chiuse e non facilmente parametrizzabili. Ne consegue l'impossibilità per i process owner e stakeholder di avere delle viste coerenti con gli obiettivi di business ed i processi sottesi. Lo sviluppo di piattaforme modulari composte da moduli applicativi specializzati che si configurano sulle esigenze specifiche dell'utente o del processo, consentirà una maggiore efficienza nella gestione ed il supporto alla presa di decisioni in modo informato.

Dovranno essere inoltre considerate le dinamiche demografiche che richiederanno l'addestramento e la formazione delle nuove generazioni così come di una

4.7 LI7: Strategies and management for next-generation production systems

The globalisation of markets implies the need for global supply networks, with a consequent increase in the complexity and uncertainty related to relationships and procurement. The management of such networks requires methods capable of modelling and managing complexity and uncertainty, mitigating exposure to risk.

The complexity and variability of business needs require extensively dynamic reconfiguration of the product, processes and the monitoring and control systems of industrial entities. Sometimes ICT systems supporting business and manufacturing processes constitute an obstacle to achieving these objectives. Often they are closed monolithic applications hard to parametrise and to adopt quickly to changing conditions. Consequently, it is impossible for process owners and stakeholders to have views coherent with the business objectives and underlying processes. The development of modular platforms made up of specialised applicative modules configured to the specific needs of the user or of the process will permit higher efficiency in the management and support for informed decision-making.

Furthermore, it is necessary to consider the demographic dynamics that require training and education of new generations and of elderly workers, in order to allow them to be able to manage production systems charac-

popolazione di lavoratori con età avanzata, al fine di renderli capaci di gestire i sistemi produttivi caratterizzati da problematiche di resilienza, robustezza, riconfigurabilità, riadattabilità, flessibilità, uso integrato ed esteso di ICT e strumenti collaborativi sull'intero ciclo vita di prodotto e di fabbrica.

Le tematiche prioritarie di ricerca riguardano la modellazione e simulazione per la progettazione e gestione di sistemi produttivi di prossima generazione, soluzioni ICT per abilitare l'adattamento continuo delle risorse dei sistemi (macchine e persone) al contesto produttivo dinamico.

Gli abilitatori tecnologici sostanziali saranno legati alla disponibilità di dispositivi intelligenti con alte capacità di calcolo, integrabili via wireless in modo trasparente ed autonomo, in grado di monitorare e controllare gli asset produttivi, i prodotti e di supportare gli operatori nelle loro funzioni e nella presa di decisioni. Renderanno inoltre disponibili tutti i dati operativi, di configurazione, guasto, manutenzione necessari.

L'obiettivo è lo sviluppo di nuove strategie di produzione e di gestione di reti industriali complesse e filiere risultanti che incrementino la competitività delle imprese manifatturiere italiane. Tali strategie dovranno essere coerenti con l'evoluzione dei mercati e delle tecnologie abilitanti, utilizzando moderne soluzioni ICT per innovare

terised by resilience, robustness, reconfigurability, readaptability, flexibility, integrated and extended use of ICT and collaborative tools in the entire life cycle of the products and the factories.

The priority research themes are: modelling and simulation for the design and management of next-generation production systems and ICT solutions to enable the constant adaptation of system resources (machines and people) to the dynamic production context.

The main technological enablers will be the availability of smart devices with high calculation capacities, which can be integrated via wireless in a transparent and autonomous way, capable of monitoring and controlling the production assets and products, and of supporting operators in their functions and in decision-taking processes. They will also make available all necessary operational, configuration, failure and maintenance data associated with the production environment.

The aim is the development of new strategies for the production and management of complex industrial networks and relative value chains that enhance the competitiveness of Italian manufacturing businesses. These strategies must be coherent with the evolution of the markets and enabling technologies, using modern ICT solutions to innovate the collaborative, dynamic and adap-

la dimensione collaborativa, dinamica, adattiva. Le tematiche di ricerca prioritarie in quest'area sono: gestione di reti industriali complesse e relative "supply chain" dinamiche grazie alle correnti e potenziali soluzioni ICT nell'area del forecasting, planning, monitoring, measurement; metodi e tecniche per la valutazione strategica di prodotto-processo secondo un'ottica di Life Cycle Engineering grazie anche alla disponibilità crescente di dati e informazioni basate sul paradigma Internet of Things (IoT); modellazione e simulazione a livello di singola impresa e a livello di rete, in grado di cogliere la dimensione collaborativa e dinamica.

Le priorità di ricerca e innovazione individuate per la linea di intervento **LI7 - Strategie e management per i sistemi produttivi di prossima generazione** sono:

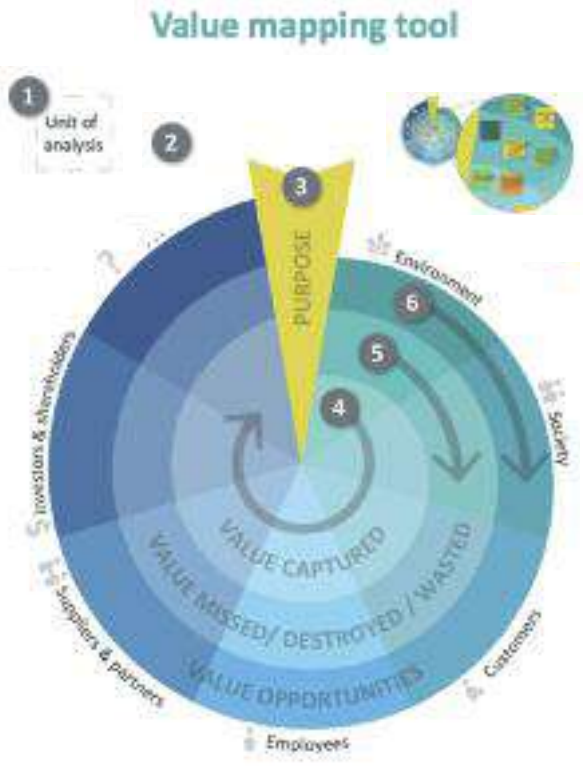
PRI7.1 - Strumenti e metodi per la valutazione strategica di prodotto-processo-sistema in ottica di Life Cycle Engineering
Grazie alla disponibilità crescente di dati e informazioni basate sul paradigma Internet of Things (IoT), è possibile integrare informazioni provenienti da diverse fonti e da diversi livelli decisionali per migliorare la capacità di gestire il ciclo di vita non solo del prodotto ma anche dei processi. Il monitoraggio di ogni fase del ciclo di vita (progettazione, produzione, uso, manutenzione, dismissione/riciclo) deve essere supportato da un nuovo modello organizzativo che permetta di ottimizzare l'uso delle risorse.

PRI7.2 - Modelli di business innovativi basati sull'offerta integrata di prodotto-servizio
I nuovi modelli di business sono basati sull'efficace integrazione tra lo sviluppo tecnologico e la ridefinizione

tive dimension. The priority research themes in this area are: the management of complex industrial networks and the relative dynamic "supply chain", thanks to the current and future ICT enabling technologies in the area of forecasting, planning, monitoring and measurement; methods and techniques for the strategic product-process assessment, with a view to Life Cycle Engineering, thanks also to the growing availability of data and information based on the Internet of Things (IoT) paradigm; and modelling and simulation at individual business and network levels, capable of grasping the collaborative and dynamic dimension.

*The research and innovation priorities identified for **LI7 - Strategies and management of next-generation production systems** are:*

PRI7.1 - Methods and tools for the strategic product-process assessment in the Life Cycle Engineering perspective
Thanks to the growing availability of data and information based on the Internet of Things (IoT) paradigm, it is possible to integrate information from a variety of sources and from different decision-taking levels to improve the capacity to manage the life cycle, not only of the products but also of processes and plants. The monitoring of each phase of the life cycle (design, production, use, maintenance, disposal/recycling) must be sup-



degli elementi manageriali, contrattuali ed organizzativi per migliorare la condivisione e la ripartizione del rischio imprenditoriale tra gli attori in gioco. E' necessario quindi in ottica di prodotto-servizio (per esempio noleggio e servizio di turbine aeronautiche in luogo della vendita) definire un buon livello di coordinamento e la corretta redistribuzione del potere di mercato tra diversi attori coinvolti fornendo un valore aggiunto al consumatore ma anche ad ogni stakeholder coinvolto.

PRI7.3 - Strumenti per la gestione di imprese collaborative e Supply Chain dinamiche

Necessità di sviluppare soluzioni ICT innovative che permettano di supportare la collaborazione a tutti i livelli nelle reti di fabbriche e supply chain dinamiche. Ad esempio, soluzioni e tecnologie per la gestione di network collaborativi, agili, sostenibili, facilmente implementabili anche nei contesti di piccola e media impresa, ecc. Applicazioni distribuite e collaborative implementate attraverso l'integrazione di servizi forniti da molteplici fornitori manifatturieri e ICT. Inoltre è necessario sviluppare modelli analitici e di simulazione per analizzare il comportamento integrato di processi, risorse, sistemi di imprese collaborative durante tutte le fasi del loro ciclo di vita al fine di compiere le scelte migliori in fase progettuale e in tutte le fasi di utilizzo e riconfigurazione fino al fine vita. Questi servizi saranno resi disponibili in un ambiente di tipo Cloud per massimizzare la loro adozione e l'impatto sulle aziende, riducendo la complessità nell'utilizzo e i costi.

PRI7.4 - Pianificazione robusta per la gestione del rischio nella produzione MTO ed ETO

Nella gestione dei sistemi produttivi, un numero significativo di decisioni devono essere prese basandosi su informazioni incerte. In particolare nei sistemi Make-to-Order (MTO) ed Engineer-to-Order (ETO), la previsione

ported by a new organisational model to enable optimisation of resources.

PRI7.2 - Innovative business models for integrated product-service solutions

The new business models are based on efficient integration between technological development and the redefinition of managerial, contractual and organisational elements to improve the sharing of the entrepreneurial risk among the players on the one hand, and on the other to take full advantage of new opportunities. Therefore, in a product-service perspective (e.g. renting and services of aeronautical turbines instead of sale) it is necessary to define a higher level of coordination and the correct redistribution of risk among the various players involved, providing added value to the consumer and to each stakeholder involved.

PRI7.3 - Tools for the management of collaborative businesses and dynamic supply chains

The need to develop innovative ICT solutions to support collaboration at all levels of the dynamic networks of factories and supply chains: for example, solutions and technologies for the management of collaborative, agile, sustainable networks that are easily implemented in the context of small and medium enterprises, etc. Collaborative and distributed applications implemented through the integration of services provided by multiple manufacturers and ICT suppliers. It is also necessary to develop analytical and simulation models to analyse the integrated behaviour of processes, resources, systems and factories of collaborative companies throughout all phases of their life cycle in order to make the best choices in the design phase and in all phases of use and reconfiguration until the end of life. These services will be made available in a Cloud environment to maximise adoption and impact, reducing deployment complexity and costs.

PRI7.4 - Robust planning for risk management in MTO and ETO production

In the management of production systems, a large number of decisions must be taken based on uncertain information. Particularly in Make-to-Order (MTO) and Engineer-to-Order (ETO) systems, the forecasting of orders, the optimisation of production resources and the execution of the processes must inevitably be based on incomplete or uncertain data. Moreover, the complexity of the networks of suppliers of manufacturers of MTO and

degli ordini, la ottimizzazione delle risorse produttive o l'esecuzione dei processi deve inevitabilmente basarsi su dati incompleti o incerti. Inoltre, la complessità delle reti di fornitori dei produttori di prodotti MTO ed ETO rende la stima dell'impatto di ritardi di fornitura complesso e difficilmente preventivabile. Gli approcci robusti alla pianificazione ed allo scheduling si propongono di proteggere i piani di produzione o gli schedule in relazione all'accadere di eventi inattesi. Nuovi approcci per la pianificazione e lo scheduling robusti devono essere in grado di prendere decisioni bilanciando l'ottimizzazione delle performance e l'esposizione al rischio attraverso appropriati indicatori di rischio. I principali ambiti di applicazione sono la definizione delle date di consegna, l'allocazione delle attività e delle commesse alle risorse produttive, la gestione congiunta delle scorte e della pianificazione della produzione.

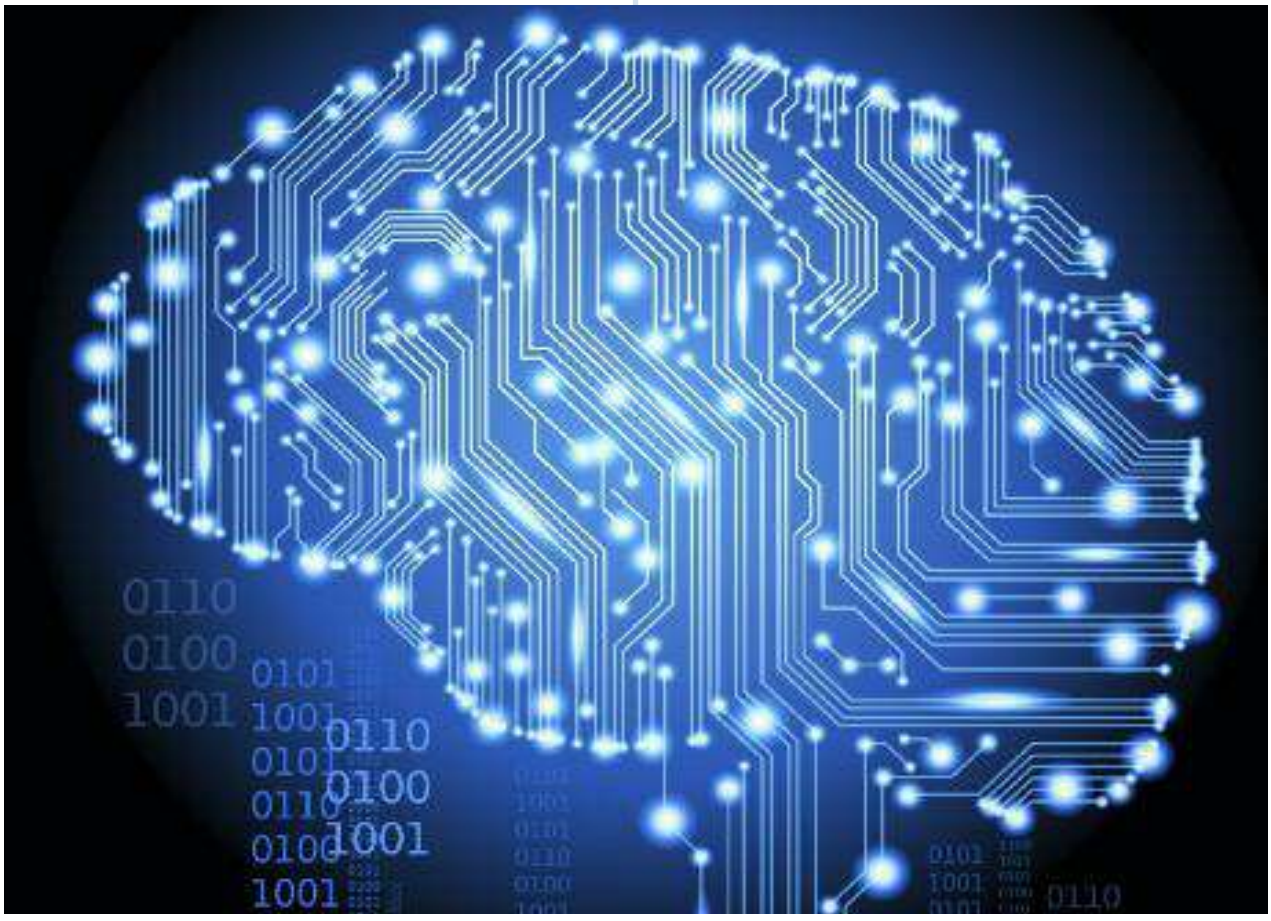
PRI7.5 - Sviluppo di ambienti operativi su base semantica per gli utenti

Uno dei problemi principali che gli utenti incontrano nella gestione dei processi produttivi è dettata dalla rigidità dei sistemi informativi a supporto. L'ambiente operativo dell'utente (Operational Workspace) è strettamente de-

ETO products makes it hard to estimate the impact and the extent of delays or unplanned events in supply. Robust approaches to planning and scheduling are proposed to protect production plans or schedules in relation to the occurrence of unexpected events. New robust approaches to planning and scheduling must make decisions by weighing up the optimisation of performance and exposure to risk using appropriate risk ratios. The main spheres of application are the definition of delivery dates, the assignment of activities and job orders to production resources, the joint management of waste and production planning.

PRI7.5 - Development of semantic-based operational environments for users

One of the main problems that users encounter in the management of production processes is dictated by the rigidity of the supporting informative systems. The user's operational workspace is strictly defined by specific applications that often do not communicate with each other. The flexibilisation of the production processes requires that the processes/business owners see their workspace as being quickly configurable to the needs of the dominion for which they are responsible. The oper-



finito da specifiche applicazioni che molte volte non sono in comunicazione tra di loro. La flessibilizzazione dei processi produttivi richiede che i Process/Business Owner vedano il loro ambiente velocemente configurabile alle esigenze del dominio di cui sono responsabili. Il cambiamento del processo, del ruolo e degli obiettivi deve vedere immediatamente allineato lo spazio operativo.

Le linee di ricerca all'interno di questa priorità riguardano lo sviluppo di ambienti che semanticamente consentano di descrivere le caratteristiche del processo e degli obiettivi, oltre che la profilatura dell'utente. Sono altresì necessarie piattaforme di reasoning per la riconfigurazione/adattività dell'ambiente applicativo dell'utente sulla base delle cambiate condizioni operative e di business.

PRI7.6 - Strumenti per il supporto alle decisioni in ambienti complessi

Lo sviluppo e la pervasività delle tecnologie ICT (principalmente la connettività estesa e la sensoristica diffusa che hanno dato vita a 'Internet of Things') rendono disponibili masse di dati che possono portare a problemi di interpretazione e di gestione. Se il loro immagazzinamento e trasmissione sono una problematica di tipo prevalentemente infrastrutturale, la loro catalogazione, indagine e selezione di eventi significativi e legati a specifici obiettivi di business/indicatori di performance del processo sono un tema prevalentemente legato alla capacità di immagazzinare e selezionare le informazioni significative e recuperarle in modo efficiente e veloce. Sono quindi necessari strumenti di analisi e presentazione dei dati più significativi per ciascun profilo di utenza atti a fornire in tempi utili e contestualizzati le informazioni necessarie a prendere decisioni informate.

ational space must be immediately aligned to any change in the process, role or objectives.

The lines of research within this priority regard the development of environments that semantically allow the description of the characteristics of the process and objectives, as well as the profiling of the user. There is also a need for platforms of reasoning for the reconfiguration/adaptation of the user's applicative workspace based on the changing operational and business conditions.

PRI7.6 - Tools to support decisions in complex environments

The development and pervasiveness of ICT technologies (mainly the extended connectivity and widespread sensor applications that generated Internet of Things) make available huge amount of data, possibly leading to problems in interpretation and management.

If their storage and transmission is mainly an infrastructural problem, the cataloguing, investigation and selection of significant events linked to specific business goals/process performance indicators is something that is mainly linked to the capacity to store and select significant information and recover it efficiently and quickly. Therefore this research priority is based on the development of tools, architectures and infrastructures to analyse and present the most significant data for each user profile able to provide in real time, and contextualized, all the required information.

Bibliografia
References

- *An Investment Plan for Europe.* Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Central Bank, the European Economic and Social Committee, the Committee of the Regions and the European Investment Bank. Brussels, 2014. http://ec.europa.eu/priorities/jobs-growth investment/plan/index_en.htm
- Cluster Tecnologico Nazionale "Fabbrica Intelligente" – *Piano strategico e progetti del Cluster Nazionale* "Fabbrica Intelligente"
- Database Eurostat: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database
- Database Unctad (ONU): http://unctadstat.unctad.org/wds/ReportFolders/reportFolders.aspx?sCS_ChosenLang=en
- *For a European Industrial Renaissance.* Communication From The Commission To The European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. European Commission. Brussels, January 2014. (Online document in: http://www.ipex.eu/IPEXL-WEB/dossier/document/COM20140014.do)
- *From exponential technologies to exponential innovation* - Report 2 in the 2013 Shift Index series, Deloitte University Press. 2013. (Online document in: http://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/es/Documents/sector-publico/Deloitte_ES_Sector-Publico_From-exponential-technologies-to-exponential-innovation.pdf)
- *Future State 2030: The global megatrends,* KPMG International, 2014. (Online report in http://www.kpmg.com/ID/en/IssuesAndInsights/ArticlesPublications/Documents/Future-State-2030.pdf)
- *H2020, Societal Challenges-Climate Action, Environment, Resource Efficiency and Raw Materials.* European Commission. Available from: http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/climate-action-environment-resource-efficiency-and-raw-materials (Dec. 2014)
- *II Indagine nazionale sulla condizione sociale degli anziani,* Auser 2012 (fonti ISTAT). Online document in: http://images.auser.it/f/condizioneanziani/co/condizioni_anziani.pdf
- *Innovazione nel manufacturing – Scenari tecnologici per l'Emilia Romagna,* Rete Alta Tecnologia Emilia Romagna, Marzo 2012. (online document in: www.aster.it/tiki-download_file.php?fileId=655)
- *Indagine internazionale 2012* – Unione Industriale di Torino
- Ilmarinen J., *Promuovere l'invecchiamento attivo sul luogo di lavoro,* Agenzia europea per la sicurezza e la salute sul lavoro, 2012. (Online document in: https://osha.europa.eu/it/publications/articles/promoting-active-ageing-in-the-workplace)
- *Manufacturing the future: the next era of global growth and innovation,* McKinsey&Company, November 2012. (Online document in: http://www.mckinsey.com/insights/manufacturing/the_future_of_manufacturing)
- *Progetto Bandiera "La Fabbrica del Futuro"* – Programma di ricerca nazionale sul manifatturiero avanzato. (online document in: http://www.fabbricadelfuturo-fdf.it)
- *Rapporto sulla competitività dei settori produttivi.* Istat, Roma, 2014. (online document in: http://www.istat.it/en/files/2014/02/Rapporto-Competitivit%C3%A0-2014.pdf
- *Report to the president on ensuring American leadership in advanced manufacturing,* Executive Office of the President, President's Council of Advisors on Science and Technology, June 2011. (Online document in: http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-advanced-manufacturing-june2011.pdf)
- *Review of the Catapult network.* Recommendations on the future shape, scope and ambition of the programme. Catapult network, 2014 (Online document: https://www.catapult.org.uk/documents/10582/167710/pdf/fc716f35-cdd5-45a6-89b7-8fadaec7652d)
- *Roadmap ActionPlanT* – ICT for Manufacturing
- *Roadmap EUMAT* (Materials for Life Cycle) – Materials. (Online document in: www.eumat.eu)
- *Roadmap Factories of the Future 2020:* Roadmap 2014-2020. EFFRA (European Factories of the Future Research Association) (Online document in: http://www.effra.eu)
- *Roadmap Nanofutures* (European Technology Integrating and Innovation Platform on Nanotechnology) – Micro- and Nano-Manufacturing. (Online document in: www.nanofutures.eu)
- *Roadmap on Global Sustainable Manufacturing - MS 2020.* Online document in: www.ims2020.net (January 2014)
- *Roadmap Photonics 21* (Online document in: http://www.photonics21.org)
- *Roadmap euRobotics AISBL* (Online document in: http://www.eu-robotics.net/cms/upload/PDF/SRA2020_0v42b_Printable_.pdf)
- *Roadmap SPIRE* (Sustainable Process Industry through Resource and Energy Efficiency) (Online document in: http://www.spire2030.eu)
- *Securing the future of German manufacturing industry* - Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0, Final report of the Industrie 4.0 Working Group. (Online document in: http://www.bmbf.de/en/19955.php)
- *Strategia Regionale di Specializzazione Intelligente per la Ricerca e L'innovazione* – Regione Lombardia, dicembre 2013
- *S3 - Strategia per la specializzazione intelligente del Piemonte.* Draft release at 22/07/2014. (Online document in: http://opens3.regione.piemonte.it/cms/dwd/S3_draft_piemonte.pdf)
- *S3 - Smart Specialization Strategy Regione Emilia Romagna: Le priorità Tecnologiche Regionali* (Meccatronica e Motoristica)", Bologna, Gennaio 2014
- *Smart Specialization Strategy* (Documento redatto in collaborazione con Liguria Ricerche S.p.A.) -Regione Liguria. Versione draft, Primavera 2013
- *Strategia per la ricerca e l'innovazione per la smart specialisation* - Regione Marche
- *Strategia regionale per la Specializzazione intelligente "SmartPuglia 2020" e dell'"Agenda Digitale Puglia2020"* – Regione Puglia, Agosto 2014
- *Strategia di ricerca e innovazione per la specializzazione intelligente* – Regione Veneto, Giugno 2014
- *The Europe 2020 Competitiveness Report: Building a More Competitive Europe.* World Economic Forum, 2012. (Online document in: http://www3.weforum.org/docs/CSI/2012/Europe2020_Competitiveness_Report_2012.pdf)
- *The Future of Manufacturing - Opportunities to drive economic growth,* A World Economic Forum Report in collaboration with Deloitte Touche Tohmatsu Limited, April 2012. (Online document: http://www3.weforum.org/docs/WEF_MOB_FutureManufacturing_Report_2012.pdf)
- T*rend Compendium 2030, Trend 1: Demographic dynamics.* Roland Berger Strategy Consultants GmbH. March 2014. (Online document in: http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_Trend_Compendium_Demographic_dynamics_20141107.pdf)
- *Trend Compendium 2030, Trend 2: Globalization & future markets.* Roland Berger Strategy Consultants GmbH. May 2014. (Online document in: http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_Trend_Compendium_Globalization_20141107.pdf)
- *Trend Compendium 2030, Trend 3: Scarcity of resources.* Roland Berger Strategy Consultants GmbH. August 2014 (online document in: http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_Trend_Compendium_Scarcity_of_resources_20141107.pdf).
- *Trend Compendium 2030, Trend 4: Climate change & ecosystem at risk.* Roland Berger Strategy Consultants GmbH. October 2014. (Online document in: http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_Trend_Compendium_Climate_change_and_ecosystem_at_risk_20141107.pdf)
- Zenezini M., *Invecchiamento della popolazione, crescita, occupazione,* in Studi e Note di Economia, Anno XIV, n. 3-2009, pag. 431-468, Gruppo Montepaschi. (Available from: https://www.mps.it/NR/rdonlyres/73C90C0E-51E2-4E3D-A47A-E412FBBC9832/40188/431468Zenezini.pdf)

fabbrica intelligente

Cluster Fabbrica Intelligente
Associazione non riconosciuta (art. 36 C.C.)
Via Piero Gobetti 101, 40129 Bologna
c/o ASTER S.Cons.p.A
CNR Area della Ricerca di Bologna
tel.+39 051 6398099 - fax +39 051 6398131
info@fabbricaintelligente.it
www.fabbricaintelligente.it

ISBN 978-88-941014-0-9