



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

DIPARTIMENTO DI SCIENZE AZIENDALI MANAGEMENT & INNOVATION
SYSTEMS

Corso di Dottorato di Ricerca in
BIG DATA MANAGEMENT
XXXV CICLO

Abstract tesi di dottorato

***Scenari innovativi nel management accounting e nei performance
management system, basati sull'applicazione di business analytics
nell'ambito del paradigma "Industria 4.0"***

Docente Tutor

Ch.mo prof. Giuseppe Nicolò

Candidato

dott. Antonello Saccomanno

Coordinatore

Ch.mo prof. Valerio Antonelli

ANNO ACCADEMICO 2022/2023

Il paradigma “Industria 4.0” trae origine dalle attività di un gruppo di lavoro presieduto da Siegfried Dais della “Robert Bosch GmbH” e da Hemming Kagermann, della “Acatech”¹ (German Academy of Science and Engineering), conclusosi nel 2013 con il c.d. Manifesto Industry 4.0. Esso nasce con l’obiettivo di aumentare significativamente la flessibilità dei sistemi produttivi e dotarli di un’elevata capacità di adattamento ai repentini mutamenti dei mercati che caratterizzano la moderna competizione globale. Allo stesso tempo il modello industriale che ne deriva consente un altrettanto elevata efficienza per sostenere la competizione anche con Paesi caratterizzati da un basso costo del lavoro.

Il paradigma “Industria 4.0” ha comportato innovazioni radicali nelle tecnologie per la produzione di beni e l’erogazione dei servizi, innescando la c.d. trasformazione digitale, che coincide con la quarta rivoluzione industriale. Lo sviluppo delle tecnologie legate all’*industrial internet* e ai *cyber-physical system* permette di integrare le *value chain* aziendali in nuovi e complessi *value (eco)system*, nei quali si realizzano, con nuove modalità, *network* relazionali tra le imprese e con i loro *stakeholder*.

Un ruolo centrale nel processo di trasformazione digitale viene giocato dalla stretta interconnessione tra i soggetti e gli oggetti del sistema fabbrica tra di loro e con gli *stakeholder*. Ciò rappresenta la base di un’innovazione strategica che assume una valenza sistemica e riverbera i propri effetti tanto sui processi aziendali quanto sui *business model* delle imprese. Le tecnologie “Industria 4.0” consentono di massimizzare l’agilità dei processi e rispondere alle veloci sollecitazioni del business e dell’ambiente competitivo; migliorare la qualità della programmazione, minimizzando i *delay*, migliorando l’attendibilità delle attività, nonché riducendo i margini di rischio e le relative *contingency*; massimizzare il controllo sulle fasi esecutive, al fine di garantire il buon esito della programmazione; evolvere verso approcci finalizzati all’anticipazione dei problemi, piuttosto che alla loro risoluzione, attraverso l’applicazione di modelli predittivi.

Il dibattito più recente sulla cosiddetta “trasformazione digitale”, di cui il paradigma “Industria 4.0” è protagonista, offre utili spunti di riflessione per gli studiosi di scienze manageriali in ordine all’impatto dell’incessante e rapida innovazione tecnologica sul governo delle imprese e, in particolare, sui sistemi di analisi, misurazione, valutazione e monitoraggio delle performance aziendali, in contesti ambientali all’interno dei quali i sistemi di interazione tra le imprese e i loro *stakeholder* presentano una crescente complessità.

Dal punto di vista strategico, gli effetti sulla competitività delle imprese passano attraverso l’adozione di nuovi modelli di business, identificati come *business model 4.0*, che raccolgono l’impatto delle nuove tecnologie sui fattori critici di successo delle imprese. Infatti, l’adozione del paradigma

¹ Henning, Kagermann. "Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0." (2013).

“Industria 4.0”, determina la necessità di modificare e, talvolta, sostituire fattori critici di successo che risultavano validi secondo gli approcci strategici adottati in precedenza. I business model 4.0 fanno leva sull’impiego delle tecnologie avanzate di comunicazione e sull’integrazione dei sistemi fisici con i sistemi virtuali per realizzare più efficaci network di relazioni. In tal modo è possibile superare i tradizionali *trade-off* tra produzione di serie e personalizzazione, centralizzazione e decentralizzazione della produzione, sfruttamento interno dei dati e loro valorizzazione mediante la vendita, approccio transazionale e collaborativo nelle relazioni, competizione e coopetizione, superamento dei rigidi confini tra prodotto e servizio. La combinazione dei diversi *business model 4.0* consente l’individuazione di nuovi spazi di creazione e appropriazione del valore, superando il tradizionale confronto nelle arene competitive.

Nella prospettiva secondo cui le imprese evolvono verso i nuovi assetti tecnologici indotti dall’ondata di innovazioni che connotano il paradigma “Industria 4.0”, il presente lavoro svolge, una disamina di tale paradigma, approfondendone gli aspetti tecnologico-strutturali, costituiti dalle leve tecnologiche e dai sistemi cyber-fisici, il cui sviluppo presenta riflessi di tipo strategico nella misura in cui prevede l’integrazione delle *value chain* aziendali all’interno di nuovi e complessi *value (eco)system*. Le implicazioni strategiche vengono esaminate con riferimento alla nascita di nuovi modelli di business che inevitabilmente conseguono ai nuovi assetti tecnologici e competitivi. L’impatto delle nuove tecnologie sui fattori critici di successo delle imprese porta all’individuazione dei c.d. *business model 4.0*, i quali, grazie a nuove configurazioni di tali fattori critici di successo, permettono l’identificazione di nuovi spazi di creazione e appropriazione del valore, basati sul superamento dei tradizionali *trade-off* tra produzione di serie e personalizzazione, centralizzazione e decentralizzazione della produzione, sfruttamento interno dei dati e delle informazioni e loro valorizzazione esterna, approccio transazionale e collaborativo nelle relazioni, competizione e coopetizione, superamento dei rigidi confini tra prodotto e servizio.

Nello scenario descritto, assume particolare rilevanza il tema dell’evoluzione del *management accounting* alla luce dei cambiamenti dell’(eco)sistema del valore conseguenti alle innovazioni tecnologiche e strategiche, nonché dei riflessi che tali cambiamenti determinano sulle strutture produttive e organizzative delle aziende. Infatti, il *management accounting*, è passato dall’essere un sistema di informazioni di carattere eminentemente contabile, finalizzato alla guida dell’azione manageriale nell’ambito di strutture organizzative di tipo gerarchico in sistemi produttivi di tipo industriale, all’assumere approcci multidimensionali avanzati di tipo strategico ed eminentemente focalizzati sulle *performance* con approcci di tipo orizzontale o reticolare, dando luogo ai c.d. sistemi *performance management system*. Con una visione evolutiva, si descrivono, inoltre, i sistemi di c.d.

predictive accounting e *network accounting*, il cui sviluppo applicativo è reso possibile dall’impiego di strumenti di analisi avanzata basati sull’elaborazione, anche in *real-time*, di una grande mole di dati e sulle elevate capacità di calcolo che caratterizzano le tecnologie Industria 4.0.

Le considerazioni svolte sulle direttrici evolutive del *management accounting*, alla luce delle nuove tecnologie e delle complesse architetture informative che caratterizzano lo *smart manufacturing* e più in generale Industria 4.0, evidenziano l’importanza di *performance measurement and management system* compatibili sia da un punto di vista strutturale che di processo con i rinnovati sistemi di gestione tanto della produzione, quanto, in senso più ampio, dell’intera catena del valore. Il lavoro affronta la teoria della misurazione e degli indicatori, con riferimento alla creazione del valore. In particolare, si approfondisce l’integrazione dei *performance management system* con *business analytics*, cui consegue la costruzione di complessi apparati informativi di tipo multidimensionale in grado di sistematizzare la misurazione di parametri di tipo sia economico-finanziario sia fisico-tecnico, nell’ambito di una rete causale che mette in relazione variabili competitive, obiettivi, risorse, processi, azioni e risultati, afferenti ai *business model 4.0*. I *performance management system* si pongono come raccordo tra la controllo strategico e operativo, e, grazie alle tecnologie dell’Industria 4.0 e all’impiego di *business analytics*, assumono capacità di *predictive business analysis*, particolarmente efficace nell’esplorazione, comprensione e sfruttamento delle nuove dinamiche e opportunità di business.

Le riflessioni svolte trovano la sintesi della struttura di un meta-modello di sistema informativo per la *business performance analysis*, basato su sistemi cyber-fisici, il quale mostra l’integrazione tra i dati provenienti dal sistema informativo e quelli provenienti dal sistema operativo e l’applicazione dei *business analytics* per l’ottenimento di *performance management system* avanzati che si pongono in relazioni con i diversi elementi dell’ecosistema del valore. All’esito dell’analisi della letteratura, si passano in rassegna i *framework* e i modelli di misurazione delle performance da quest’ultima proposti, che dimostrano una varietà di approcci applicativi sull’argomento. Infine, si è analizzato il caso del bilancio tecnologico, il quale rappresenta un modello multidimensionale in grado di valutare le performance dell’impresa mettendo in relazione dati economico-finanziari con elementi valutativi delle tecnologie, dimostrando come le nuove tecnologie dell’informazione influiscano in modo pervasivo sulle decisioni, anticipando gli effetti con conseguenze di tutto rilievo sulla creazione del valore e sulla competitività delle imprese.

Dagli studi condotti emerge come il tema dell’integrazione tra i sistemi cyber-fisici, i *business analytics* e la *business performance analysis*, nel contesto del paradigma Industria 4.0, offra interessanti prospettive di ricerca in merito all’evoluzione sia dei sistemi di supporto alle decisioni sia dei modelli di valutazione delle performance.

Per quanto concerne la valutazione della performance, si è potuto evidenziare come i *cyber-physical system* favoriscono l'applicazione dei *business analytics* per la creazione di strumenti avanzati di supporto alle decisioni, l'approccio di tipo *multilayer*, la definizione di più sofisticati indicatori di performance e un più rapido ed efficace passaggio dalla *reception* delle informazioni all'attuazione delle azioni manageriali.

Da un punto di vista teorico, emerge come le tecnologie di tipo cyber-fisico rendono disponibili enormi quantità di dati, eterogenei dal punto di vista qualitativo, che possono essere finalizzati all'applicazione di *business analytics* avanzati per realizzare nuovi *business model* per la creazione del valore. Tale scenario trova il suo naturale alveo all'interno del paradigma Industria 4.0, il quale mette a sistema una serie di tecnologie abilitanti e consente la creazione di sistemi informativi complessi, che travalicano la dimensione puramente informativa per contestualizzarsi in un sistema di relazioni collaborative sia di tipo M2M che di tipo M2H. Ciò consente di automatizzare l'assunzione di alcune decisioni operative lungo tutta la catena del valore. Lo sviluppo delle nuove tecnologie dell'informazione e l'utilizzo di *business analytics* hanno, inoltre, effetti importanti nell'ambito della teoria dei costi di transazione poiché incidono sulle asimmetrie informative; inoltre possono supportare la gestione dei costi di transazione mediante l'ottenimento, l'elaborazione e la condivisione di informazioni rilevanti, influenzando positivamente la creazione di vantaggi collaborativi all'interno della catena del valore (Milhomem et al., 2021). Nonostante in letteratura si registri un corpus in espansione sull'argomento (Di Maio et al., 2022), esistono, significativi vuoti di conoscenza riguardo all'uso pratico dei *business analytics* per la previsione in *accounting* poiché i risultati dei modelli predittivi possono essere difficili da interpretare a causa della loro intrinseca complessità (Adebiyi et al., 2023).

Dal punto di vista pratico il lavoro offre spunti interessanti, in quanto fornisce alle aziende e ai *controller* un quadro d'insieme sui principali cambiamenti determinati dall'uso delle nuove tecnologie dell'informazione per il supporto alle decisioni, per il *management accounting* e per la gestione e la valutazione delle performance. Attraverso i *performance management system* avanzati le organizzazioni possono analizzare in tempo reale e/o in modo predittivo sia le prestazioni finanziarie (la soddisfazione del cliente e i risultati dei processi aziendali) sia il miglioramento dei processi (motivare ed educare i dipendenti e migliorare i sistemi informativi) ovvero la loro capacità di apprendere e migliorare. Sfruttando i dati storici e le tendenze del mercato, mediante l'analisi predittiva per la previsione delle prestazioni finanziarie future, è possibile formulare strategie finanziarie più efficaci (Adebiyi et al., 2023). I progressi nell'analisi predittiva forniscono ai manager e ai professionisti, nuovi e robusti strumenti per migliorare la gestione del rischio e il processo decisionale. Sotto il profilo strategico, l'integrazione di tali strumenti nella gestione dei processi aziendali può rappresentare un vantaggio competitivo in virtù di

una maggiore velocità nel prendere decisioni (Goul et al., 2018) e una più spiccata flessibilità nella risposta ai mercati. Si è dimostrato che l'utilizzo dei *business analytics* nella pianificazione strategica è positivamente correlato al miglioramento delle performance (Klatt et al., 2011); infatti, sebbene il reporting formale e/o le valutazioni intuitive nel processo di pianificazione strategica non differiscano nelle aziende con le migliori performance, si hanno differenze significative nella capacità di condurre analisi complete e razionali. Ciò rileva, in modo particolare, in ambienti turbolenti, che richiedono un continuo supporto analitico nel processo di pianificazione strategica.

Infine, gli studi e i modelli analizzati mostrano come l'impiego in azienda delle tecnologie di tipo cyber-fisco produca importanti ripercussioni nella relazione tra *measurement* e *management*, segnando il superamento del concetto di misura a vantaggio del concetto di analisi delle performance, anche di tipo prospettico, grazie all'analisi predittiva. Il caso del bilancio tecnologico evidenzia, in particolare, come l'analisi multidimensionale abbia consentito di definire un modello in grado di valutare le performance dell'impresa mettendo in relazione dati economico-finanziari con elementi tecnologici. Nell'ambito della suddetta relazione, il modello formato sullo schema del bilancio d'esercizio, realizzando una similitudine che rende agevole una valutazione integrata. In relazione alle strategie di innovazione, il modello dimostra come le nuove tecnologie dell'informazione influiscano in modo pervasivo nel supporto alle decisioni, anticipandole rispetto agli effetti con effetti molto rilevanti sulla creazione del valore e sulla competitività delle imprese.

The “Industry 4.0” paradigm originates from the activities of a working group chaired by Siegfried Dais of “Robert Bosch GmbH” and Hemming Kagermann of “Acatech” (German Academy of Science and Engineering), concluded in 2013 with the so-called Industry 4.0 Manifesto. It aimed to significantly increase the flexibility of production systems and provide them with a high capacity to adapt to the sudden changes in markets that characterize modern global competition. At the same time, the resulting industrial model allows for an equally high level of efficiency to sustain competition even with countries characterized by low labor costs.

The “Industry 4.0” paradigm has brought about radical innovations in technologies for the production of goods and the provision of services, triggering the so-called digital transformation, which coincides with the fourth industrial revolution. The development of technologies related to the industrial internet and cyber-physical systems allows the integration of corporate value chains into new and complex value (eco)systems, in which relational networks between companies and their stakeholders are created in new ways.

A central role in the digital transformation process is played by the close interconnection between the subjects and objects of the factory system among themselves and with the stakeholders. This represents the basis of a strategic innovation that takes on a systemic value and reverberates its effects both on business processes and on the business models of companies. “Industry 4.0” technologies allow to maximize the agility of processes and respond to the rapid demands of business and the competitive environment; improve the quality of programming, minimizing delays, improving the reliability of activities, as well as reducing risk margins and related contingencies; maximize control over the executive phases, in order to guarantee the success of the programming; evolve towards approaches aimed at anticipating problems, rather than solving them, through the application of predictive models.

The most recent debate on the so-called “digital transformation”, of which the “Industry 4.0” paradigm is the protagonist, offers useful food for thought for scholars of management sciences regarding the impact of the incessant and rapid technological innovation on the governance of companies and, in particular, on the systems of analysis, measurement, evaluation and monitoring of company performance, in environmental contexts within which the systems of interaction between companies and their stakeholders present an increasing complexity.

From a strategic point of view, the effects on the competitiveness of companies pass through the adoption of new business models, identified as business models 4.0, which collect the impact of new technologies on the critical success factors of companies. In fact, the adoption of the “Industry 4.0” paradigm determines the need to modify and, sometimes, replace critical success factors that were valid according to the strategic approaches adopted previously. Business models 4.0 leverage the use

of advanced communication technologies and the integration of physical systems with virtual systems to create more effective networks of relationships. In this way it is possible to overcome the traditional trade-offs between mass production and customization, centralization and decentralization of production, internal exploitation of data and their valorization through sales, transactional and collaborative approach in relationships, competition and coopetition, overcoming the rigid boundaries between product and service. The combination of the different business models 4.0 allows the identification of new spaces for the creation and appropriation of value, overcoming the traditional comparison in competitive arenas.

In the perspective according to which companies evolve towards the new technological structures induced by the wave of innovations that characterize the "Industry 4.0" paradigm, this work carries out an examination of this paradigm, deepening its technological-structural aspects, constituted by technological levers and cyber-physical systems, whose development has strategic implications to the extent that it involves the integration of corporate value chains within new and complex value (eco)systems. The strategic implications are examined with reference to the birth of new business models that inevitably result from the new technological and competitive structures. The impact of new technologies on the critical success factors of companies leads to the identification of the so-called business model 4.0, which, thanks to new configurations of these critical success factors, allow the identification of new spaces for the creation and appropriation of value, based on overcoming the traditional trade-offs between mass production and customization, centralization and decentralization of production, internal exploitation of data and information and their external valorization, transactional and collaborative approach in relationships, competition and coopetition, overcoming the rigid boundaries between product and service.

In the scenario described, the issue of the evolution of management accounting takes on particular relevance in light of the changes in the value (eco)system resulting from technological and strategic innovations, as well as the effects that such changes have on the production and organizational structures of companies. In fact, management accounting has gone from being an information system of an eminently accounting nature, aimed at guiding managerial action within hierarchical organizational structures in industrial production systems, to assuming advanced multidimensional approaches of a strategic nature and eminently focused on performance with horizontal or network approaches, giving rise to the so-called performance management systems. With an evolutionary vision, the so-called predictive accounting and network accounting systems are also described, whose application development is made possible by the use of advanced analysis tools based on the

processing, even in real-time, of a large amount of data and on the high calculation capabilities that characterize Industry 4.0 technologies.

The considerations made on the evolutionary guidelines of management accounting, in the light of new technologies and complex information architectures that characterize smart manufacturing and more generally Industry 4.0, highlight the importance of performance management and management systems compatible both from a structural and process point of view with the renewed management systems of both production and, in a broader sense, of the entire value chain. The work addresses the theory of measurement and indicators, with reference to the creation of value. In particular, the integration of performance management systems with business analytics is explored, resulting in the construction of complex multidimensional information systems capable of systematizing the measurement of both economic-financial and physical-technical parameters, within a causal network that relates competitive variables, objectives, resources, processes, actions and results, pertaining to business models 4.0. Performance management systems act as a link between strategic and operational control and, thanks to Industry 4.0 technologies and the use of business analytics, they take on predictive business analysis capabilities, which are particularly effective in exploring, understanding and exploiting new business dynamics and opportunities.

The reflections carried out find the synthesis of the structure of a meta-model of information system for business performance analysis, based on cyber-physical systems, which shows the integration between data coming from the information system and those coming from the operating system and the application of business analytics to obtain advanced performance management systems that are placed in relation with the different elements of the ecosystem of value. Following the analysis of the literature, the frameworks and models of performance measurement proposed by the latter are reviewed, which demonstrate a variety of application approaches on the subject. Finally, the case of the technological balance sheet was analyzed, which represents a multidimensional model capable of evaluating the performance of the company by relating economic-financial data with evaluation elements of technologies, demonstrating how new information technologies influence decisions in a pervasive way, anticipating the effects with significant consequences on the creation of value and on the competitiveness of companies.

The studies conducted show how the theme of integration between cyber-physical systems, business analytics and business performance analysis, in the context of the Industry 4.0 paradigm, offers interesting research perspectives regarding the evolution of both decision support systems and performance evaluation models.

As regards performance evaluation, it was possible to highlight how cyber-physical systems favor the application of business analytics for the creation of advanced decision support tools, the multilayer approach, the definition of more sophisticated performance indicators and a faster and more effective transition from the reception of information to the implementation of managerial actions.

From a theoretical point of view, it emerges that cyber-physical technologies make available huge amounts of qualitatively heterogeneous data, which can be finalized to the application of advanced business analytics to create new business models for the creation of value. This scenario finds its natural channel within the Industry 4.0 paradigm, which systematises a series of enabling technologies and allows the creation of complex information systems, which go beyond the purely informational dimension to be contextualised in a system of collaborative relationships of both the M2M and M2H type. This allows for the automation of the assumption of some operational decisions along the entire value chain. The development of new information technologies and the use of business analytics also have important effects in the context of transaction cost theory since they affect information asymmetries; they can also support the management of transaction costs by obtaining, processing and sharing relevant information, positively influencing the creation of collaborative advantages within the value chain (Milhomem et al., 2021). Although there is an expanding body of literature on the topic (Di Maio et al., 2022), there are significant knowledge gaps regarding the practical use of business analytics for forecasting in accounting since the results of predictive models can be difficult to interpret due to their intrinsic complexity (Adebisi et al., 2023).

From a practical point of view, the work offers interesting insights, as it provides companies and controllers with an overview of the main changes determined by the use of new information technologies for decision support, management accounting and performance management and evaluation. Through advanced performance management systems, organizations can analyze in real time and/or predictively both financial performance (customer satisfaction and business process results) and process improvement (motivating and educating employees and improving information systems) or their ability to learn and improve. By exploiting historical data and market trends, through predictive analysis for the forecasting of future financial performance, it is possible to formulate more effective financial strategies (Adebisi et al., 2023). Advances in predictive analysis provide managers and professionals with new and robust tools to improve risk management and decision-making. From a strategic perspective, the integration of such tools in the management of business processes can represent a competitive advantage by virtue of a greater speed in making decisions (Goul et al., 2018) and a greater flexibility in responding to markets. It has been shown that the use of business analytics in strategic planning is positively related to improved performance (Klatt et al., 2011); in fact, although

formal reporting and/or intuitive assessments in the strategic planning process do not differ in the best-performing companies, there are significant differences in the ability to conduct complete and rational analyses. This is particularly relevant in turbulent environments, which require continuous analytical support in the strategic planning process.

Finally, the studies and models analyzed show how the use of cyber-fiscal technologies in companies produces important repercussions in the relationship between measurement and management, marking the overcoming of the concept of measurement in favor of the concept of performance analysis, even of a prospective type, thanks to predictive analysis. The case of the technological balance sheet highlights, in particular, how multidimensional analysis has allowed the definition of a model capable of evaluating the performance of the company by relating economic-financial data with technological elements. In the context of the aforementioned relationship, the model formed on the scheme of the financial statement, creating a similarity that makes an integrated evaluation easier. In relation to innovation strategies, the model demonstrates how new information technologies influence in a pervasive way in supporting decisions, anticipating them with respect to the effects with very significant effects on the creation of value and on the competitiveness of companies.