



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

DIPARTIMENTO DI SCIENZE AZIENDALI MANAGEMENT & INNOVATION
SYSTEMS

Corso di Dottorato di Ricerca in
BIG DATA MANAGEMENT
XXXV CICLO

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

INDICE

INTRODUZIONE.....	4
Capitolo 1 IL PARADIGMA INDUSTRIA 4.0 E SISTEMI CYBER-FISICI.....	7
1.1 La quarta rivoluzione industriale.....	9
1.2 Genesi ed evoluzione.....	11
1.3 Leve tecnologiche.....	12
1.3.1 Advanced Manufacturing Solution.....	14
1.3.2 Additive Manufacturing.....	15
1.3.3 Augmented Reality.....	16
1.3.4 Simulation.....	16
1.3.5 Horizontal and Vertical System Integration.....	17
1.3.6 Industrial Internet of Things.....	18
1.3.7 Cloud computing.....	19
1.3.8 Cybersecurity.....	20
1.3.9 Big Data and Analytics.....	20
1.4 I sistemi cyber-fisici.....	21
1.4.1 Sistemi e tecnologie intelligenti.....	23
1.4.2 Agenti software e sistemi multiagente.....	30
1.4.3 Data analysis.....	32
1.4.4 Piattaforme di integrazione digitale.....	32
1.5 Business model 4.0.....	32
Capitolo 2 IL MANAGEMENT ACCOUNTING NELL’EVOLUZIONE DELLE TECNOLOGIE.....	39
2.1 Rassegna dei principali metodi di stima, analisi e gestione dei costi.....	39
2.1.1 Metodi di stima e modellazione dei costi.....	40
2.1.2 Metodi di analisi e gestione dei costi.....	45
2.2 Limiti dei modelli di management accounting tradizionali.....	57
2.3 Evoluzione del management accounting e dei sistemi di controllo.....	58
2.4 Predictive accounting.....	61
2.5 Network accounting.....	62
Capitolo 3 SISTEMI DI MONITORAGGIO E MISURAZIONE DELLE PERFORMANCE.....	67
3.1 Performance management system.....	67
3.2 La misurazione delle performance.....	71
3.3 Obiettivi e criticità della misurazione delle performance.....	72
3.3.1 Il sistema di misure.....	74
3.3.2 Approccio multidimensionale alla misurazione della performance.....	77
3.3.3 Distorsione dei comportamenti.....	79
3.4 Indicatori di performance.....	80
3.4.1 Funzione degli indicatori di performance.....	81
3.4.2 Obiettivi e uso degli indicatori di performance.....	81
3.4.3 Classificazione degli indicatori di performance.....	82
3.4.4 Caratteristiche degli indicatori di performance.....	86
3.4.5 Quadro di riferimento teorico sugli indicatori di performance.....	87
3.5 La misurazione delle performance negli smart manufacturing system.....	96

3.6 Business intelligence, business analytics e performance management systems	100
3.7 Business performance analysis.....	103
3.8 Predictive business analysis	107
3.8.1 Principi guida della predictive business analysis	109
3.8.2 Processo di predictive business analysis integrato.....	112
Capitolo 4 VALUTAZIONE INTEGRATA: IL BILANCIO TECNOLOGICO	118
4.1 Sistemi informativi complessi tra cyber-physical systems e performance business analysis	118
4.2 Analisi dei framework e dei modelli di misurazione delle performance	119
4.3 Sistemi informativi complessi e valutazione integrata	126
4.3.1 Portafoglio tecnologico e finanziario	127
4.3.2 Bilancio tecnologico	129
4.3.3 Processo di sviluppo del bilancio tecnologico	131
4.3.4 Analisi del bilancio tecnologico	133
4.3.5 Rating tecnologico e valutazione complessiva	136
4.4 Conclusioni.....	136
BIBLIOGRAFIA.....	141

INTRODUZIONE

Il paradigma “Industria 4.0” trae origine dalle attività di un gruppo di lavoro presieduto da Siegfried Dais della “Robert Bosch GmbH” e da Henning 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.

L’approccio è rivoluzionario poiché fa leva su sistemi cyber-fisici caratterizzati da un’intelligenza decentralizzata che li rende in grado di valutare specifiche situazioni e assumere autonome decisioni, anche mediante l’interazione con altri sistemi cyber-fisici. Tale approccio determina il superamento del processo decisionale verticale, di tipo gerarchico, a beneficio di sistemi organizzativi orizzontali, di tipo reticolare.

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.

La trattazione che verrà di seguito esposta intende richiamare alcune significative questioni che il cambiamento tecnologico in atto pone all’attenzione degli studiosi di management e del mondo delle imprese riguardo ai *performance management system*, soprattutto in relazione alla enorme disponibilità di dati che le nuove tecnologie assicurano e ai più avanzati strumenti di analisi, ai quali, di conseguenza, può farsi ricorso per potenziare i sistemi di supporto alle decisioni. A tali questioni si tenta di dare risposte sia approfondendo il patrimonio di conoscenze teoriche disponibili, sia percorrendo nuovi sentieri di ricerca atti a meglio precisare il senso delle potenzialità delle innovazioni tecnologiche di tipo strategico riconducibili al paradigma “Industria 4.0”. Tanto, con riferimento all’evoluzione dei *performance management system* in seno ai mutamenti strategici e operativi che l’innovazione tecnologica determina, non prescindendo da una ricognizione delle tecnologie che sono alla base della transizione

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

digitale e delle loro implicazioni di carattere strategico che investono i connotati strutturali dei sistemi produttivi e altre specificità legate all’ambiente competitivo.

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, nel primo capitolo 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.

Il secondo capitolo affronta l’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.

Nel terzo capitolo si tratta il tema dei *performance measurement and management system* sia da un punto di vista strutturale che di processo. Il testo 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.

Nel quarto capitolo si propone la 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.

CAPITOLO 1

Capitolo 1 IL PARADIGMA INDUSTRIA 4.0 E SISTEMI CYBER-FISICI

Il paradigma “Industria 4.0” origina dal modello dello smart manufacturing e si è ormai esteso a diversi settori economici e all’intera catena del valore. Esemplificando, si pensi, per il primo aspetto, all’Agricoltura 4.0, per il secondo alla Supply Chain 4.0.

Negli ultimi decenni, la produzione industriale ha avuto una straordinaria evoluzione, grazie allo sviluppo di nuove conoscenze e nuove tecnologie nei diversi campi dei materiali, della meccanica, della chimica, delle nanotecnologie, delle biotecnologie, delle tecnologie di simulazione al computer mediante reti, dispositivi di controllo e sensori.

Da un punto di vista geo-economico, la distribuzione internazionale delle risorse produttive nell’era della globalizzazione proietta a livello planetario la cooperazione tra le imprese, anche grazie a strumenti e sistemi collaborativi di rete sempre più potenti. In questo scenario, l’*intelligent manufacturing* (o *smart manufacturing*) consente la sistematizzazione delle tecnologie digitali legate alla produzione industriale e rappresenta la concretizzazione dell’economia della conoscenza (Luo, 2013). Grazie all’impiego di tecnologie che guardano all’informazione e ai dati come nuovi fattori della produzione, il modello *smart manufacturing* costituisce un sistema integrato e interconnesso, i cui componenti sono rappresentati dalle risorse aziendali (materie, macchinari, attrezzature e lavoratori), dalle relazioni e dai prodotti, sistemicamente considerati lungo tutta la catena del valore, fino al consumatore finale.

La “fabbrica intelligente” si contraddistingue per modalità di lavoro che superano la connotazione di pura manualità, espressa dal concetto di forza lavoro, per acquisire le caratteristiche del c.d. “lavoro intelligente”, caratterizzato dalla combinazione tra capacità manuali, capacità tecniche di analisi o diagnosi e, in alcuni casi, di ragionamento scientifico basato sull’applicazione di conoscenze complesse. Con l’ausilio delle tecnologie digitali e del web, si ripensa il ruolo dell’uomo nella fabbrica e si realizzano nuove modalità di interazione tra l’uomo e la macchina, si mettono in rete le macchine, ma soprattutto le fasi della produzione sono viste in una logica non più di tipo verticale, ma profondamente integrate e simultanee. Con l’approccio *smart manufacturing*, le nuove tecnologie digitali permeano l’intera organizzazione aziendale, dalle funzioni di acquisto/vendita, logistica, produzione industriale, alle fasi di ricerca e sviluppo e prototipazione.

Fatta salva, dunque, l’assoluta preminenza dell’uomo in questo modello e il ripensamento del suo ruolo nel contesto organizzativo della fabbrica, le tecnologie avanzate rimangono un potente strumento

che questo può utilizzare per raggiungere l’obiettivo di una trasformazione dei processi aziendali nel senso di una più elevata efficienza e una maggiore sostenibilità, rendendo, più in generale, l’azienda maggiormente snella, flessibile e in grado di adattarsi rapidamente alle sollecitazioni e ai problemi che possono provenire dall’ambiente esterno come dal proprio interno.

Il modello della fabbrica intelligente determina una significativa riduzione degli effetti delle economie di scala per le imprese poiché il posizionamento strategico all’interno del loro *value (eco)system* assume preminente rilevanza rispetto alle dimensioni delle loro organizzazioni.

La trasformazione digitale introduce soluzioni avanzate che consentono alle imprese di riprogettare la loro catena del valore e reinterpretare il loro ruolo nell’ambito dell’ecosistema del valore. Ciò riverbera i propri effetti nella progettazione del prodotto per renderlo più intelligente e gestirne l’intero ciclo di vita, nei rapporti di fornitura e sub-fornitura per realizzare lavorazioni in *real time*, nei processi produttivi, gestiti come spazi cyber-fisici, nella logistica e gestione delle scorte, fino al contatto fisico e digitale con il cliente finale. Inoltre, essa permette il ripensamento dei prodotti, l’introduzione di nuovi servizi pre e post-vendita, nonché il miglioramento della capacità di reagire rapidamente alle esigenze del mercato. Nel contempo, migliora la tracciabilità del flusso delle materie prime, oltre a stimolare la creazione di nuovi materiali e l’ottimizzazione nell’impiego delle risorse, con una riduzione degli scarti e

Il controllo dei processi e delle performance è di tipo digitale, grazie alla disponibilità di una grande quantità di dati, avviene mediante l’utilizzo di *analytics* avanzati ed è realizzabile anche da remoto. Gli *analytics* consentono di svolgere in modo mirato i processi di controllo qualità, con significativa riduzione dei costi, e di definire benchmark e best practice. I processi produttivi si organizzano e si adattano in modo automatico grazie a unità di produzione intelligenti in grado di programmare autonomamente per massimizzare i profitti, di monitorare il proprio stato e prendere decisioni autonome.

Il sistema di relazioni con i clienti prevede l’utilizzo di canali di comunicazione e distribuzione digitali che consentono il *manufacturing on-demand*, una costante tracciabilità dei prodotti, una profonda conoscenza del cliente e il suo coinvolgimento nei processi.

I prodotti dell’Industria 4.0 sono di tipo *smart*, dotati di caratteristiche e funzionalità tali da permettergli di auto-gestirsi durante tutto il ciclo di vita, di auto-adattarsi e di scambiare informazioni sull’ambiente, e sull’uso tramite una comunicazione di tipo *machine-to-machine*.

Nel mondo industriale, l’implementazione di questi modelli porta al superamento della visione “stratificata” della gestione dei dati, registrati manualmente dagli operatori di fabbrica su applicativi di tipo *shop floor* a seguito di eventi reali e successivamente trasferite agli ERP (Enterprise Resource Planning) in funzione di processi *batch* schedulati. Le nuove tecnologie digitali, invece, consentono una gestione “*real time*” dell’informazione: questa nasce e si trasferisce in tempo reale, senza la necessità di *data*

entry da parte degli operatori. Ciò consente di potenziare la capacità di analisi delle aziende, di raffinare la qualità dei processi decisionali e, infine, di aumentare la tempestività di intervento sui problemi.

1.1 La quarta rivoluzione industriale

Il paradigma “Industria 4.0” rappresenta l’ultimo stadio evolutivo dell’industria moderna, la quale ha raggiunto il suo assetto attuale attraverso progressivi cambiamenti che si sono sedimentati nel corso degli anni. Il processo evolutivo che ha condotto all’odierno assetto industriale si è stratificato nel corso dei secoli ed è avvenuto mediante c.d. “rivoluzioni industriali”, ciascuna caratterizzata da innovazioni tecnologiche di tipo *disruptive*.

Come si evince dalla figura 1.1, la rivoluzione industriale determinata dall’avvento del paradigma “Industria 4.0”, segue a quella avutasi nel 1970, caratterizzata dalla nascita dell’informatica con le sue applicazioni all’automazione industriale, a sua volta preceduta dalla rivoluzione del 1879, che ha segnato l’avvio della produzione di massa, e, prima ancora, quella del 1784, innescata dall’invenzione della macchina a vapore.

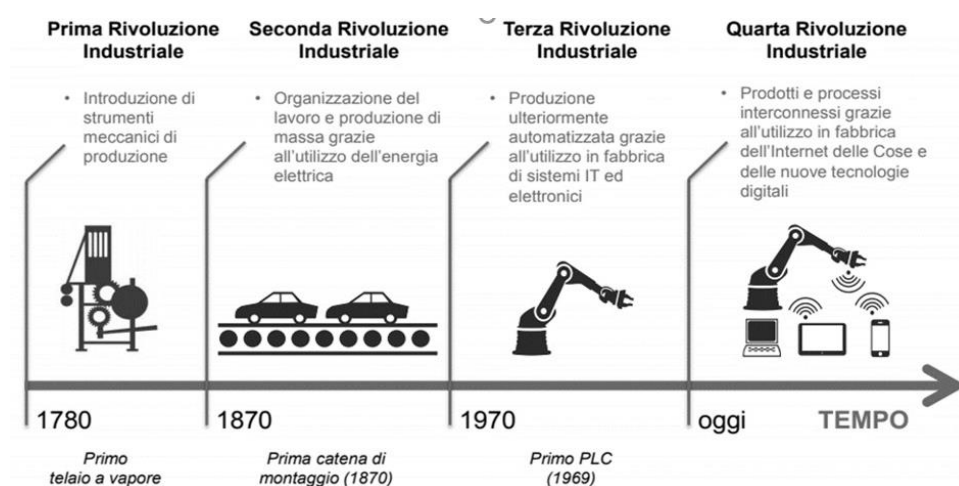


Fig. 1.1 – Rivoluzioni industriali.

Il processo di innovazione tecnologica, che ha determinato la prima rivoluzione industriale, ha preso le mosse sul finire del XVIII secolo e ha condotto all’introduzione nei processi produttivi di impianti di produzione meccanica basati su acqua e vapore². Ciò grazie all’invenzione del motore a vapore di Watt, alimentato a carbone che azionava singole macchine per la produzione e movimentazione, si pensi al telaio meccanico di Cartwright e alla locomotiva a vapore di Thomson. Questa rivoluzione ha interessato

² Si veda per un approfondimento sul tema: Deane, P. M. (1979). *The first industrial revolution*. Cambridge University Press.

principalmente i settori tessile, metallurgico ed estrattivo, ma ha determinato un radicale cambiamento del contesto socioeconomico che da sistema agricolo-artigianale-commerciale è divenuto di tipo industriale. Infatti, al fine di sfruttare le innovazioni tecnologiche del tempo, sono nate le prime fabbriche integrate verticalmente secondo le fasi produttive e l'organizzazione burocratica, capace di aumentarne la produttività. L'innovazione dei modelli di business conseguente alla prima rivoluzione industriale è riconducibile alla produzione centralizzata, la quale ha comportato un rilevante impatto sui processi di produzione, sulle risorse tangibili (nuovi materiali e macchinari), sulle risorse strutturali e sulle risorse umane (nuove procedure organizzative, nuove mansioni e nuove competenze).

La seconda rivoluzione industriale si è avviata nel 1870, quando ha preso vita la c.d. produzione di massa, realizzata grazie all'impiego dell'energia elettrica³. Oltre al settore elettrico, in questo periodo, le innovazioni hanno interessato anche il settore chimico-petroliero. La seconda rivoluzione industriale ha visto uno sviluppo tecnologico senza precedenti, risultato non di invenzioni casuali, ma di ricerche scientifiche svolte in laboratori universitari e aziendali, finanziati sia da governi che da imprenditori privati. Questa fase ha portato all'invenzione del motore a scoppio alimentato a petrolio e dell'elettricità che ha permesso la creazione della lampadina da parte di Edison. L'efficace sfruttamento di tali innovazioni tecnologiche ha portato a un nuovo modello di business, caratterizzato dalla parcellizzazione delle attività nonché dalla standardizzazione dei processi e dei prodotti. La produzione di massa che ne è derivata ha comportato un forte impatto sulle risorse e sui processi di produzione e di R&D.

La terza rivoluzione industriale ha avuto inizio negli anni '70 del Novecento e si è caratterizzata per l'automazione, basata sull'elettronica e sull'utilizzo di internet⁴. Essa ha interessato tutti i settori manifatturieri, in conseguenza della nascita dell'*Information & Communication Technology* che riunisce i settori dell'elettronica, informatica e telecomunicazioni. L'introduzione dei semiconduttori, dei personal computer e della rete Internet ha radicalmente cambiato i sistemi di produzione rendendoli automatizzati. Lo sviluppo dell'automazione e la riduzione dell'incidenza della mano d'opera hanno comportato la terziarizzazione dell'economia e l'avvento della società post-industriale. L'innovazione del modello di business ha riguardato la flessibilizzazione della produzione, che ha determinato rilevanti cambiamenti a livello di risorse, di processi, di prodotti e di *supply chain*. Infatti, si è registrato un elevato livello di integrazione orizzontale con fornitori e clienti, i quali sono stati coinvolti anche nei processi di R&D per elevare il livello di “customizzazione” della produzione al fine di massimizzare l'utilizzo della differenziazione come leva strategica.

³ Si veda per un approfondimento sul tema: Mokyr, Joel. "The second industrial revolution, 1870-1914." *Storia dell'economia Mondiale* (1998): 219-45.

⁴ Greenwood, J. (1997). *The third industrial revolution: technology, productivity, and income inequality* (No. 435). American Enterprise Institute.

La quarta rivoluzione industriale interessa tutti i settori manifatturieri e ha innescato la c.d. “trasformazione digitale”, che si è fusa con la c.d. “trasformazione ambientale” per dar vita alla “*Twin transformation*”, è alla base dell’evoluzione del paradigma “Industria 4.0” in quello “Industria 5.0”.

Rispetto alle rivoluzioni precedenti, quella in corso si caratterizza non tanto per il miglioramento dei macchinari e degli impianti di produzione, quanto per la realizzazione della fabbrica intelligente. Ciò avviene grazie all’integrazione dei sistemi “fisico” e “virtuale” a livello di: *value chain*, *value system* e, più in generale, di *value ecosystem*, prendendo in considerazione l’intero ciclo di vita del prodotto, dalla progettazione e sviluppo fino alla sua eliminazione e riciclo. La fabbrica intelligente è posta al centro di un ecosistema di *business data-driven*: l’essenza di Industria 4.0 è sfruttare i dati per generare nuovo valore.

1.2 Genesi ed evoluzione

Il paradigma “Industria 4.0” nasce per opera di un gruppo di lavoro presieduto da Siegfried Dais della “Robert Bosch GmbH” e da Hemming Kagermann, della “Acatech”⁵ (German Academy of Science and Engineering), il cui report finale fu presentato nel 2013 alla fiera di Hannover per rappresentare il manifesto “*Industry 4.0*”.

Questo modello industriale è stato inizialmente proposto con riferimento allo sviluppo dell’economia tedesca nel 2011⁶. Successivamente, esso si è esteso dalla Germania al resto del mondo industrializzato con il fine di migliorare la produttività e garantire un elevato livello di efficienza operativa per il tramite di una più sofisticata automatizzazione dei processi⁷.

Negli ultimi anni i governi e le industrie in tutto il mondo hanno avvertito questa nuova tendenza e hanno agito per promuovere al proprio interno questa nuova rivoluzione industriale⁸, in particolare:

- dal 2011 il governo degli Stati Uniti (USA) ha avviato una serie di discussioni, azioni e raccomandazioni a livello nazionale, intitolato “*Advanced Manufacturing Partnership (AMP)*”, per assicurare che gli Stati Uniti siano pronti a fronteggiare e guidare queste nuove modalità di produzione;
- nel 2012, il governo tedesco ha approvato il piano d’azione “*Strategia High-Tech 2020*”, che ogni anno stanZIA miliardi di euro per lo sviluppo di tecnologie all’avanguardia;

⁵ Henning, Kagermann. “Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0.” (2013).

⁶ Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. D. F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal. *International journal of production research*, 55(12), 3609-3629.

⁷ Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1-10.

⁸ Ridgway, K., Clegg, C. W., Williams, D. J., Hourd, P., Robinson, M., Bolton, L., ... & Baldwin, J. (2013). The factory of the future. *Government Office for Science, Evidence Paper*, 29.

- il governo francese ha avviato una revisione strategica nel 2013, denominata “*La Nouvelle France Industrielle*”, nell’ambito della quale 34 iniziative settoriali sono definite come priorità per la politica industriale francese;
- nel 2013, il governo del Regno Unito ha presentato un quadro a lungo termine per il suo settore manifatturiero che si estende fino all’anno 2050, chiamato “*Future of Manufacturing*”. Esso ha lo scopo di fornire una politica riorientata e ribilanciata per sostenere la crescita e la resilienza della produzione britannica nei prossimi decenni;
- la Commissione Europea ha stabilito la necessità di un nuovo partenariato pubblico-privato (PPP) in merito alle “*Fabbriche del Futuro*”. In particolare, il programma Horizon 2020 ha stanziato quasi 80 miliardi di euro di finanziamento in 7 anni (dal 2014 al 2020);
- nel 2014, il governo della Corea del Sud ha annunciato il programma “Innovazione nella produzione 4.0” che ha definito quattro strategie di propulsione per un nuovo passo avanti della produzione coreana;
- il governo cinese ha pubblicato la strategia “*Made in China 2025*” insieme al piano “*Internet Plus*” nel 2015, mettendo in ordine di priorità dieci settori nell’ambito del settore manifatturiero per accelerare l’informatizzazione e l’industrializzazione in Cina;
- nel 2015, il governo giapponese ha adottato il quinto piano di base per la scienza e la tecnologia, in cui si presta particolare attenzione al settore manifatturiero per realizzare la sua “*Super Smart Society*” leader nel mondo;
- il governo di Singapore ha impegnato 19 miliardi di dollari per il suo piano RIE 2020 (Ricerca, innovazione e impresa) nel 2016.

Dalle prospettive dei piani industriali, AT & T, Cisco, General Electric, IBM e Intel hanno fondato l’*Industry Internet Consortium* (IIC) nel 2014 per catalizzare e coordinare le priorità e le tecnologie abilitanti dell’*Industrial Internet*. Nel frattempo, altre grandi aziende come Siemens, Hitachi, Bosch, Panasonic, Honeywell, Mitsubishi Electric, ABB, Schneider Electric ed Emerson Electric hanno già investito molto in progetti correlati alle tecnologie IoT e CPS.

Un numero in rapida crescita di centri di ricerca, università e aziende hanno partecipato e contribuito a questa nuova sfida mediante esperimenti di laboratorio (ad es. *Smart Factory OWL1*) o applicazioni industriali (ad esempio *Digital Enterprise Software Suit*, di Siemens).

1.3 Leve tecnologiche

Il paradigma “Industria 4.0” si basa sull’integrazione lungo tutta la catena del valore, dei sistemi fisici con le tecnologie della comunicazione digitale e dell’elettronica, nonché sull’integrazione tra diversi

settori dell’economia e dell’industria. Al fine di garantire l’ottimizzazione dei processi nella produzione e nella gestione dei servizi, esso si focalizza sulla costituzione di sistemi basati sull’interazione *machine to machine* e quella *human to machine*⁹, mettendo a sistema nove tecnologie,¹⁰ che costituiscono le leve di base per l’*Industry 4.0*. Tali tecnologie sono utilizzate concretamente nelle attività di produzione e grazie al loro utilizzo si sta realizzando una trasformazione delle modalità di produzione. Sono in atto, infatti, sistemi che consentono di realizzare processi di produzione completamente integrati, automatizzati e ottimizzati, determinando una maggiore efficienza e un cambiamento nelle relazioni tra fornitori, produttori e clienti¹¹.

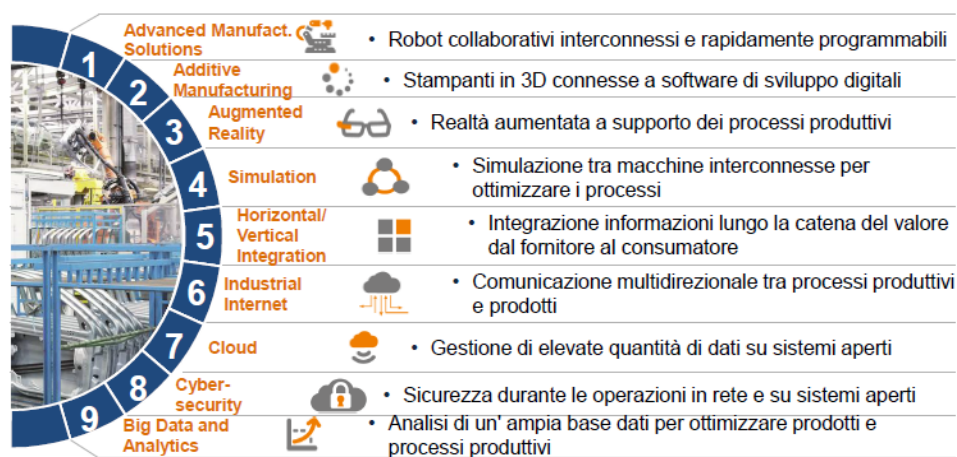


Fig. 1.2 – Leve tecnologiche del paradigma Industria 4.0.

La figura 1.2 mostra le leve tecnologiche, anche dette “tecnologie abilitanti” o “KET” (*Key Enabling Technologies*), ritenute fondamentali nella trasformazione digitale dell’economia e sul cui uso combinato si basa il paradigma Industria 4.0. Tali leve possono essere raggruppate nella maniera seguente.

1. *tecnologie software abilitanti* per raccogliere, trasmettere e immagazzinare, in modo automatico, in tempo reale e in sicurezza grandi quantità di dati:
 - *Industrial Internet of Things*
 - *Cloud computing*
 - *Cybersecurity*

⁹ Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1-10.

¹⁰ Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. D. F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal. *International journal of production research*, 55(12), 3609-3629.

¹¹ Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston Consulting Group*, 9.

2. *tecnologie software fondamentali* per l’elaborazione di grandi quantità di dati al fine di trasformare in informazioni atte a permettere l’automazione dei processi *knowledge-based*, il supporto avanzato alle decisioni e l’apprendimento:
 - *Big Data and Analytics*
 - *Simulation*
3. *tecnologie hardware integrative* volte a favorire, in tempo reale, l’interazione *human-to-machine* e *machine-to-machine*, nonché la conversione dal digitale al fisico:
 - *Advanced Manufacturing Solution*
 - *Additive Manufacturing*
 - *Augmented Reality*
 - *Horizontal and Vertical System Integration*

Di seguito si descrivono le nove leve tecnologiche del paradigma “Industria 4.0”.

1.3.1 *Advanced Manufacturing Solution*

L’*Advanced Manufacturing Solution* (AMS) è un ambito della c.d. “robotica collaborativa” che indica l’integrazione di tecniche e tecnologie per l’ottimizzazione dei processi produttivi.

La robotica collaborativa prevede l’utilizzo di robot autonomi, flessibili e cooperativi, generalmente interconnessi e programmabili, pensati per apportare vantaggi ergonomici, di semplificazione e di sicurezza del processo produttivo. Essi sono in grado di interagire tra loro per integrare fisicamente il lavoro dell’uomo nei diversi spazi operativi.

L’AMS rende più flessibili ed efficaci i sistemi di produzione, i quali possono essere reingegnerizzati superando la tradizionale divisione tra sistemi automatici e sistemi manuali, i quali vengono fusi in un sistema unico che integra il lavoro umano e quello robotico.

La capacità collaborativa è basata sul *machine learning*, mediante il quale i robot riescono ad apprendere dai dati, applicando il principio della generalizzazione di un problema. In tal modo è possibile lavorare su situazioni nuove individuando similitudini rispetto a esperienze precedenti. In altre parole, ci si riferisce a tecniche di apprendimento automatico che, utilizzando opportuni algoritmi, elaborano i dati storici su un determinato fenomeno, nell’ambito di uno specifico dominio applicativo per inferire modelli probabilistici che interpretano il fenomeno stesso.

Le tecniche di *machine learning* si suddividono in due grandi famiglie:

- *unsupervised learning* (apprendimento non supervisionato). Si tratta di un insieme di tecniche di apprendimento automatico che consiste nel fornire al sistema informatico una serie di input (esperienza del fenomeno in osservazione) che verranno classificati e organizzati sulla base di

caratteristiche comuni per generare ragionamenti e previsioni su input successivi. Al contrario dell'apprendimento supervisionato, durante l'apprendimento vengono forniti al sistema informatico solo esempi non classificati, in quanto le classi non sono note a priori ma vengono calcolate. Queste tecniche confrontano i dati e ricercano similarità o differenze. Sono molto efficienti con elementi di tipo numerico, dato che possono utilizzare tutte le tecniche derivate dalla statistica, ma risultano essere meno efficienti con dati non numerici. Esempi di queste tecniche sono il *clustering*, le regole di associazione, l'*anomaly detection*;

- *supervised learning* (apprendimento supervisionato). È riferibile a un insieme di tecniche di apprendimento automatico che mirano a istruire un sistema informatico in modo da consentirgli di elaborare automaticamente previsioni sui valori di *output* rispetto a un *input* sulla base di una serie di esempi ideali, costituiti da coppie di *input* e di *output*, che gli vengono inizialmente forniti. L'obiettivo di un sistema basato su queste tecniche è quello di costruire un modello probabilistico, che, alimentandosi dagli esempi forniti, è in grado di avvicinarsi ai risultati reali del fenomeno. La casistica degli *output* si differenzia in valori quantitativi (comunemente chiamata “regressione”) da valori qualitativi (chiamata “classificazione”).

Un ulteriore paradigma di *learning*, intermedio tra *supervised* e *unsupervised* è il cosiddetto *reinforcement learning* (apprendimento per rinforzo). Esso riguarda l'apprendimento sulla massimizzazione di un punteggio numerico (detto *reward* o ricompensa). Sono essenzialmente problemi a ciclo chiuso perché le azioni del sistema di apprendimento influenzano gli *input* successivi. L'idea di base è quella di catturare gli aspetti più importanti di un problema reale e interagire con l'ambiente per raggiungere un obiettivo. Il sistema deve essere capace di rilevare lo stato dell'ambiente, intraprendere le azioni più corrette per raggiungere l'obiettivo e modificarne lo stato. L'apprendimento attraverso le interazioni è una idea fondamentale che sta alla base delle teorie dell'apprendimento automatico e dell'intelligenza artificiale.

1.3.2 Additive Manufacturing

La manifattura additiva si riferisce alla produzione di oggetti in tre dimensioni a partire da modelli virtuali. Questa, a differenza delle lavorazioni meccaniche, che prevedono l'asporto di materiale da un blocco solido oppure la modifica della forma a parità di volume, realizza un oggetto sovrapponendo strati di materiale (polimerico o metallico, in forma di polveri, liquidi o combinazioni dei precedenti).

Il modello *Industry 4.0*, adotta sistemi di produzione additivi decentralizzati ad alte prestazioni, utilizzati per produrre piccoli lotti di prodotti personalizzati, con costi di trasporto e delle scorte di magazzino ridotti. La manifattura additiva rappresenta la concretizzazione del concetto di produzione digitale.

Combinata con la manifattura tradizionale, attraverso l’assemblaggio di diverse componenti (sensori, parti elettriche, batterie), essa permette di ottenere prodotti unici e sofisticati. Ciò determina un vantaggio competitivo basato sul valore aggiunto, che risulta aumentato dalla valorizzazione dell’ingegno, della creatività e del design.

Nella fase di sviluppo dei prodotti viene consentita una maggiore libertà di progettazione, sia dal punto di vista estetico che strutturale, una più rapida prototipazione e la realizzazione di una prima serie di prodotti da immettere nel mercato con finalità di *testing*.

1.3.3 Augmented Reality

La realtà aumentata identifica le tecnologie che consentono di introdurre, in modo intelligente, nel campo visivo reale elementi virtuali utili per il processo considerato, quali ad esempio elementi grafici e/o testuali. La realtà aumentata è una delle due dimensioni della realtà digitale; l’altro elemento è rappresentato dalla realtà virtuale. Mentre la prima permette di sovrapporre elementi digitali a parti fisiche, la seconda prevede l’immersione in una realtà digitale che costituisce un ambiente isolato dal reale. L’introduzione della realtà digitale innova il rapporto tra i lavoratori e gli impianti di produzione dando ai primi strumenti che gli consentono di gestire virtualmente la produzione a partire da prodotti e impianti virtuali.

I sistemi basati sulla realtà aumentata supportano una varietà di servizi, come la selezione di parti in un magazzino e l’invio di istruzioni di riparazione su dispositivi mobili. Mediante l’uso della realtà aumentata è possibile fornire ai lavoratori informazioni in tempo reale e migliorare le procedure decisionali e di lavoro. Si pensi alle istruzioni per la sostituzione di un componente mentre si osserva il sistema reale che necessita di riparazione.¹² Un’altra applicazione è la formazione in ambiente virtuale di tipo 3D. In tale ambiente gli operatori possono imparare a interagire con le macchine, modificare i parametri, recuperare i dati operativi e seguire le istruzioni di manutenzione. L’industrializzazione virtuale permetterà, inoltre, di progettare e testare nuovi impianti o fabbriche nel mondo digitale prima che siano effettivamente installati.

1.3.4 Simulation

La simulazione consiste nell’impiego di sistemi di modellizzazione in grado di rielaborare i dati raccolti in tempo reale dai processi produttivi per analizzarli e migliorarli, valutando le possibili problematiche che si possono presentare nella realtà. La finalità delle simulazioni mediante l’utilizzo dei dati in *real-time* è quella di riprodurre il mondo reale in un modello virtuale che include macchine, prodotti ed esseri

¹² Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(4), 355-385.

umani. Ciò consente agli operatori di testare e ottimizzare le impostazioni della macchina per la realizzazione del prodotto, riducendo i tempi di programmazione della macchina stessa e aumentando la qualità del prodotto. Tali modelli permettono di simulare nel mondo virtuale le azioni da svolgere nella realtà, così da rendere il processo più efficiente, ottimizzare la produttività, assicurare la qualità del prodotto e ridurre gli scarti di produzione, i tempi di attesa e la quantità di lavoro da svolgere.

Con la simulazione, ai processi fisici può essere sovrapposto un *digital twin*, che rappresenta una copia digitale del sistema produttivo, da utilizzare per l’ausilio all’ottimizzazione e alla riconfigurazione del processo. L’utilizzo di questa tecnologia richiede risorse umane esperte nella *data-analysis* e nell’uso degli strumenti di simulazione.

La simulazione viene impiegata, prevalentemente nelle fasi di progettazione e configurazione, per migliorare costantemente i prodotti, anche con approccio predittivo rispetto alle performance future. Pertanto, la simulazione rappresenta, in sé, un sistema di supporto alle decisioni strategiche, contraddistinto da tempi e costi di gran lunga inferiori rispetto ai metodi basati su approcci *trial-and-error*. Inoltre, grazie a modelli di simulazione, che prendono in considerazione l’intero ciclo di vita dei prodotti, è possibile gestire tutta la rete di attori coinvolti nelle diverse fasi dalla progettazione, alla produzione, fino allo smaltimento sostenibile.

1.3.5 Horizontal and Vertical System Integration

L’integrazione orizzontale prevede l’utilizzo di reti interconnesse di sistemi cyber-fisici e strutture aziendali, che introducono livelli di automazione, flessibilità ed efficienza operativa nei processi di produzione. L’integrazione verticale collega i diversi livelli della struttura organizzativa, dal livello sul campo (ovvero il reparto di produzione) fino alla ricerca e sviluppo, al controllo qualità, alla gestione del prodotto, all’IT, alle vendite e al marketing e così via.

Sul piano orizzontale, l’integrazione può avvenire a livello di singolo impianto di produzione oppure prendendo in considerazione più impianti di produzione o, ancora, attraverso l’intera catena del valore. Nell’impianto di produzione, macchine e unità operative sempre connesse diventano ciascuna un oggetto con proprietà ben definite all’interno di una rete. Ciascuna di esse comunica costantemente il proprio stato e, insieme, rispondono autonomamente alle dinamiche della produzione. L’obiettivo finale è che i piani di produzione intelligenti siano in grado di produrre in modo economicamente vantaggioso, riducendo i costosi tempi di inattività anche mediante la manutenzione predittiva. Se un’impresa dispone di impianti di produzione distribuiti, Industria 4.0 promuove l’integrazione orizzontale tra i *Manufacturing Execution Systems* (MES) a livello di stabilimento. In questo scenario, i dati dell’impianto di produzione (livelli di inventario, ritardi imprevisti e così via) vengono condivisi senza soluzione di

continuità in tutta l'azienda e, ove possibile, le attività di produzione vengono spostate automaticamente tra le strutture per rispondere in modo rapido ed efficiente alle variabili di produzione. Nell'ambito della catena del valore il modello Industria 4.0 propone trasparenza dei dati ed elevati livelli di collaborazione automatizzata lungo tutta la catena logistica e di fornitura a monte che fornisce i processi di produzione stessi, nonché la catena a valle che porta i prodotti finiti sul mercato.

Sul piano verticale, i dati fluiscono liberamente e in modo trasparente attraverso i livelli organizzativi in modo che sia le decisioni strategiche sia quelle tattiche possano essere guidate dai dati. Ciò consente di essere in grado di rispondere in modo appropriato e con agilità ai mutevoli segnali del mercato e alle nuove opportunità.

1.3.6 Industrial Internet of Things

Una prima definizione di IoT è riconducibile a Kevin Ashton (2009), come “un network che connette tra di loro non soltanto persone, ma anche oggetti”. Più in particolare, nelle applicazioni industriali si fa riferimento a dispositivi intelligenti che vengono incorporati negli oggetti in modo che questi possano costituire componenti di sistemi cyber-fisici (CPS). Si realizza, in tal modo, un sistema composto da oggetti intelligenti e autonomi che comunicano tra loro nell'ambito di una rete, con l'ausilio di tecnologie informative associate a piattaforme di *cloud computing* o *edge computing*, che consentono l'accesso, la raccolta e l'analisi dei dati, le comunicazioni e lo scambio in tempo reale di informazioni sui processi, prodotti e/o servizi, in modo da incrementare il valore complessivo della produzione. Tale incremento può riguardare il miglioramento della fornitura di prodotti o servizi, l'aumento della produttività, la riduzione dei costi di manodopera, la riduzione del consumo di energia, la riduzione del ciclo di produzione su commessa, ecc. (Boyes et al., 2018)

Da un punto di vista pratico, le tecnologie *industrial internet of things* (IIoT) permettono di migliorare il controllo dell'avanzamento di produzione, la sicurezza sul lavoro, la manutenzione, la movimentazione dei materiali, il controllo qualità e la gestione dei rifiuti. Analogamente, per quanto concerne la gestione della catena logistica, tali tecnologie consentono una migliore tracciabilità e un monitoraggio più accurato della *supply chain*. Inoltre, nell'ambito dello *Smart Lifecycle* l'IIoT consente l'ottimizzazione dei processi di sviluppo di nuovi prodotti e delle attività di *end-of-life management*, oltre a tutte le diverse fasi di realizzazione di un manufatto nella logica dei principi di *Industry 4.0*.

Dal punto di vista strutturale l'IIoT, si compone dei seguenti elementi: (1) protocolli informativi e *middleware*, i quali forniscono l'interfaccia software per la realizzazione dei sistemi cyber-fisici; (2) sensori, i quali generano i dati sullo stato delle attrezzature e macchinari e agiscono come interfaccia tra i *device* fisici e la rete Internet; (3) attuatori, che traducono le istruzioni del software in effetti fisici,

determinando le attività svolte in modo autonomo dal sistema di produzione; (4) servizi basati sulle tecnologie IT, consentiti dal possibile accesso esterno al sistema produttivo, che possono arricchire l’offerta dell’impresa in termini di servizi basati sull’intelligenza artificiale e i *big data analytics*.

1.3.7 Cloud computing

Il modello Industry 4.0, prevede che la condivisione dei dati travalichi i confini aziendali. Il *cloud computing* si avvale di un’aggregazione di infrastrutture informatiche remote e geograficamente distribuite, in genere virtualizzata su di una piattaforma, su cui i dati possono essere raccolti, elaborati e, successivamente, immagazzinati su supporti di memorizzazione scalabili orizzontalmente per archiviazioni e successive elaborazioni, senza il rischio di sovraccarico. Ciò richiede elevate prestazioni delle tecnologie di *cloud computing*, le quali devono avere tempi di reazione molto rapidi, dell’ordine di millisecondi.

Il *cloud computing* è una tecnologia che prevede l’utilizzo di una infrastruttura informatica, una piattaforma o una applicazione che viene erogata da un *provider* come servizio. Tipicamente i servizi *cloud* riguardano tre livelli:

- *IaaS (Infrastructure as a Service)*: riguarda la possibilità di ottenere potenza elaborativa, storage e connettività per i propri scopi di calcolo senza la necessità di comprare fisicamente hardware e software di base.
- *PaaS (Platform as a Service)*: riguarda la possibilità di utilizzare una piattaforma *software* standard per costruire proprie applicazioni senza preoccuparsi della potenza di calcolo e di *storage*.
- *SaaS (Software as a Service)*: riguarda la possibilità di utilizzare servizi *software* standard disponibili a catalogo (es. Office 365 di Microsoft).

Questi servizi sono caratterizzati da una metrica di misurazione e di tariffazione e dalla possibilità di sfruttare le risorse in modo dinamico senza la necessità di richiedere adeguamenti di capacità in aumento o in diminuzione.

L’adozione di tecnologie del *cloud*, dei *virtual desktop* e dei *thin client* hanno mostrato come lavorare su credenziali e controllo accessi, sul traffico dati in entrata e in uscita, sulla possibilità di eseguire *backup* temporizzati e ravvicinati sia una strada molto più sicura rispetto alla creazione di “perimetri invalicabili” come si tendeva a fare negli anni addietro.

Giova evidenziare che gli stessi fattori che costituiscono una “preoccupazione” per gli utenti in ambito business rappresentano, paradossalmente, i punti di forza delle soluzioni in *cloud* dell’*industrial internet*. Infatti, l’eliminazione o la minimizzazione della parte fisica di un’architettura di sistema contribuisce a eliminare il contributo dell’errore umano agli attacchi ai dati, spesso rinvenibile nell’uso di chiavette infette o navigazioni non controllate sul web. Inoltre, la possibilità di creare un elevato numero di

immagini dei server *on-line* consente di programmare i *back-up* del sistema anche a distanza molto ravvicinata, permettendo di recuperare dati e rimettere in piedi il sistema in tempi rapidissimi.

Le architetture basate sull'utilizzo di macchine virtuali aumentano la disponibilità e le prestazioni in caso di *disaster recovery*: una macchina sempre attiva o “dormiente” si riavvierà comunque più in fretta di un server tradizionale.

1.3.8 Cybersecurity

Con l'aumento della connettività e l'uso di protocolli di comunicazione standard, la necessità di proteggere i sistemi industriali e le linee di produzione dalle minacce alla cybersicurezza è drasticamente aumentata. Di conseguenza, assumono particolare importanza la sicurezza e l'affidabilità delle comunicazioni, così come la protezione dell'identità e la gestione degli accessi alle macchine.

La sicurezza dei nuovi impianti industriali richiede il superamento dell'approccio impiegato nelle soluzioni “business” poiché se nell'IT tradizionale i principi base della *cybersecurity* ritengono sicuro un dato che rispetti i criteri RID (Riservatezza, Integrità, Disponibilità), in ambiente *manufacturing* distribuito, l'ordine di questi tre fattori va letto al contrario. Le caratteristiche irrinunciabili sono infatti “disponibilità” ed “integrità”, mentre la “riservatezza” è quasi un parametro accessorio. Un sistema, infatti, deve essere innanzitutto “*always on*” e dunque, a seconda dell'utilizzo più o meno critico, la disponibilità del sistema deve prevedere anche un'adeguata tolleranza ai guasti, che implica la necessità di sistemi c.d. ridondanti a caldo¹³ (almeno due attivi in parallelo) e tempi di ripartenza ridotti al minimo.

L'Integrità del dato, invece, si può ottenere solo adottando soluzioni software pensate e sviluppate per garantire l'affidabilità nella catena di gestione del dato (dal sensore allo schermo del computer), una completa tracciabilità degli accessi e una precisa registrazione (eventualmente anche con sistemi di doppia firma elettronica o similari) in caso di variazioni o correzione di dati o valori.

Con il diffondersi dell'IoT ogni dispositivo, sensore, *server*, *client* di visualizzazione o periferica è un potenziale punto di accesso. Soprattutto nelle architetture non presidiate (tipiche delle vaste reti di distribuzione) è necessario azzerare il rischio che un “*single point of failure*” (c.d. anello debole della catena) comprometta la sicurezza dell'intero sistema.

1.3.9 Big Data and Analytics

La tecnologia *big data and analytics* si riferisce al processo di raccolta, organizzazione e analisi di grandi quantità di dati (*big data*) provenienti da una varietà di fonti diverse. Queste tecnologie si applicano al trattamento di dati la cui dimensione e varietà non consente l'utilizzo di sistemi *hardware* e

¹³ La ridondanza a caldo è intesa come la moltiplicazione di risorse che svolgono una funzione con canali diversi sempre operativi.

software comunemente usati per catturare, gestire ed elaborare i dati in un lasso di tempo ragionevole per una comunità/popolazione di utenti anche massiva. I *big data* fanno riferimento a dati che superano i limiti dei database tradizionali, ma con questo termine si fa riferimento anche alla capacità computazionale di modelli per l’elaborazione dei dati in tempo reale e alle tecnologie finalizzate ad estrarre da essi conoscenze e valore. In pratica con *big data analysis* si può fare riferimento alla combinazione di innovazioni tecnologiche nel campo degli algoritmi e dei modelli previsionali. L’adozione di tecnologie del tipo *big data and analytics* richiede la risoluzione di problematiche legate a quattro dimensioni fondamentali: il volume, dovuto anche alla capacità delle nuove tecnologie di raccogliere dati da diverse fonti; la velocità con cui questi vengono raccolti; la varietà intesa come eterogeneità dei dati stessi; e infine la veridicità, che riguarda l’attendibilità dei dati.

In considerazione della loro enorme estensione in termini di volume, ma anche delle loro intrinseche caratteristiche, velocità e varietà, i *big data* richiedono tecnologie e metodi analitici specifici che possano portare all’estrazione di valori di interesse. L’analisi corretta dei *big data* ha l’obiettivo principale di estrarre informazioni aggiuntive rispetto a quelle che sarebbero ottenibili da piccole serie di dati.

L’analisi di grandi *set* di dati consente di ottimizzare la qualità della produzione, garantire il risparmio di energia e migliorare l’impiego delle attrezzature¹⁴. In un contesto caratterizzato dall’attuazione del modello Industria 4.0, la raccolta e la valutazione dei dati provenienti da fonti eterogenee, come apparecchiature, sistemi di produzione, sistemi di gestione aziendale e sistemi di gestione delle relazioni con i clienti, sono indispensabili per offrire un adeguato supporto ai processi decisionali in tempo reale¹⁵.

Come meglio si specificherà di seguito, l’adozione del paradigma “Industria 4.0” e lo smart manufacturing possono tradursi in un reale riposizionamento competitivo soltanto se le opportunità offerte dalle tecnologie abilitanti innanzi descritte vengono sfruttate per disegnare nuovi modelli di business funzionali a intercettare al meglio la domanda dei mercati.

1.4 I sistemi cyber-fisici

Il termine “*cyber-physical system*” si riferisce all’integrazione tra la computazione e i processi fisici. In questo tipo di sistemi i computer e le reti monitorano e controllano i processi fisici con cicli di *feed-back* in cui questi ultimi influenzano le computazioni e viceversa.

¹⁴ Lee, J., Kao, H. A., & Yang, S. (2014). Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. *Procedia Cirp*, 16, 3-8.

¹⁵ Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston Consulting Group*, 9.

I CPS prevedono l'integrazione del lavoro umano con macchine intelligenti e interconnesse realizzando un network che consente, da un lato, di aumentare e migliorare la produzione, dall'altro di gestire, in modo autonomo, schemi di produzione variabili secondo input esterni, mantenendo, nel frattempo, un'alta efficienza. Tutto ciò permette di aumentare la competitività agendo contemporaneamente sull'efficienza e sulla flessibilità della produzione, attraverso la gestione dinamica di tutti gli elementi della catena del valore.

In letteratura esistono diverse definizioni dei c.d. *cyber-physical system*. Nel 2008, Lee ha definito i CPS come: “[...] *Integrations of computation with physical processes. Embedded computers and networks monitor and control the physical processes, usually with feedback loops where physical processes affect computations and vice versa*”. Il comitato tedesco degli esperti sull'Industria 4.0 ha definito i CPS come: “*Systems, that directly links real (physical) objects and processes with information processing (virtual) objects and processes via open, partially global and always interconnected information networks*”. Una terza definizione è proposta da Kagermann et al. (2013), secondo i quali i CPS “[...] *include embedded systems, production, logistics, engineering, coordination and management processes as well as internet services, which by courtesy of sensors directly collect physical data and by means of actuators influence physical procedures. These systems are interconnected via digital networks, use worldwide available data and services and are equipped with human-machine interfaces. Cyber-Physical-Systems are open socio-technical systems, which enable several novel functions, services and capabilities*”.

Il principale aspetto innovativo dei CPS è l'interconnessione di oggetti e processi attraverso reti di informazione aperte e globali. Più schematicamente, questi sistemi comprendono cinque dimensioni essenziali (Geisberger, Broy, 2015) che si fondono l'una con l'altra:

- unione dei mondi fisico e virtuale;
- sistemi di sistemi con confini adattativi dinamici;
- sistemi adattativi al contesto con sistemi autonomi e controllo attivo in tempo reale;
- sistemi cooperativi con controllo distribuito e variabile;
- ampia cooperazione tra sistemi umani.

In ciascuna di queste dimensioni, è possibile sviluppare specifiche funzioni applicative che consentono di creare nuove tecnologie.

I CPS hanno una componente di tipo hardware, costituita da un'infrastruttura tecnologica ad alte prestazioni, che comprende sistemi embedded, sensori, attuatori e interfacce di comunicazione, e una di tipo software che prevede l'utilizzo del web aziendale, dei sistemi multi-agente, delle piattaforme di integrazione, dei *data analytics* e dei servizi basati su soluzioni *cloud*.

1.4.1 Sistemi e tecnologie intelligenti

I CPS costituiscono un framework tecnologico che ha precorso il concetto di Industria 4.0 e, al contempo, ne costituisce la base. Tale framework trova concretizzazione nell’evoluzione dei c.d. oggetti intelligenti, grazie alla loro possibilità di realizzare l’integrazione digitale *end-to-end*.

Nel suo studio sull’implementazione di Industria 4.0, Acatech¹⁶ considera gli oggetti intelligenti come componenti del sistema Industria 4.0, il quale è visto, a sua volta, come una specifica applicazione dei CPS. In questa accezione il termine “componente” è un termine generale che dà centralità agli oggetti sia fisici sia virtuali, che occupano una loro posizione all’interno del sistema. La centralità degli oggetti – e segnatamente degli oggetti intelligenti – è strettamente collegata al concetto di *embedded intelligence*, secondo il quale l’evoluzione indipendente dell’intelligenza richiede l’esistenza di un corpo (oggetto) in grado di interagire con il suo ambiente e, di conseguenza, apprendere mediante esperienza. Da questo punto di vista, quindi, l’intelligenza è vista come l’espressione di una coordinazione tra sensori (organi sensoriali) e attuatori (motori, muscoli) mediante processi di elaborazione delle informazioni. Sotto l’aspetto strutturale, un oggetto intelligente è basato su una serie di tecnologie, definite “abilitanti”, che rappresentano gli elementi in grado di declinare l’applicazione degli oggetti intelligenti a specifiche situazioni.

Attraverso la loro capacità computazionale, gli oggetti intelligenti interagiscono con il mondo fisico, comunicando e connettendosi sia con l’ambiente sia con altri oggetti intelligenti. Questa capacità di interconnessione rappresenta la vera forza innovativa degli oggetti intelligenti e dà luogo a reti interconnesse di sistemi tecnologici, chiamate sistemi intelligenti.

I sistemi intelligenti hanno origine nella cibernetica e nella teoria dei sistemi, che fanno riferimento al controllo e alla regolazione di sistemi ibridi complessi. In particolare, la cibernetica prende in considerazione la struttura, le relazioni e il comportamento dei sistemi dinamici nei quali ogni elemento è connesso a tutto il resto. Attraverso questa connessione olistica si concretizza un intreccio di azioni e di retroazioni (*feed-back*) a causalità circolare, con il quale i sistemi complessi e organizzati, siano essi animali o macchine, possono autoregolarsi e sopravvivere in un ambiente che cambia. L’idea innovativa della cibernetica è stata il rifiuto dell’impostazione aprioristica di qualsiasi requisito sul tipo di sistema (persone, macchine, organizzazione, ecc.), da controllare. Essa ha rappresentato il primo approccio per il trasferimento delle conoscenze dalla tecnologia classica del controllo e regolazione ai sistemi (tecnici) eterogenei.

¹⁶ Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

I sistemi intelligenti integrano più oggetti intelligenti, che realizzano, attraverso la loro interazione, una sorta di comportamento intelligente (Deindl, 2013). Questi sistemi possono elaborare dati e informazioni in modo centralizzato, mediante un computer centrale, o decentralizzato, all'interno degli oggetti intelligenti stessi.

Tecnologie di identificazione e localizzazione

Nell'ambito dei sistemi descritti, l'identificabilità univoca e la capacità di comunicare in modo attivo la propria posizione all'interno del sistema sono i requisiti minimali affinché un oggetto possa classificarsi come “intelligente”.

Secondo lo standard DIN 6763 la “Identificazione” rappresenta un *“riconoscimento [...] unico e inconfondibile di un oggetto basato su caratteristiche essenziali (caratteristiche di identificazione) con un'accuratezza predefinita rispetto a uno scopo mirato”*. Con l'identificazione si realizza il collegamento tra il flusso fisico e il flusso di informazioni nonché il momento di connessione tra i mondi fisico e virtuale.

L'identificazione di un oggetto può avvenire con diverse tecnologie secondo la sua applicazione a specifici contesti. Nell'industria manifatturiera l'identificazione avviene in modo automatico mediante tecnologie di tipo AIDC (*Automatic Identification and Data Capture*). Le tecnologie AIDC sono principalmente di tipo ottico e radio, sebbene siano utilizzati anche sistemi GPS, WSN, Mems, sensori ambientali e soluzioni di riconoscimento vocale.

L'identificazione ottica prevede principalmente l'uso di codici a barre, i quali possono essere stampati in una (tratti) o due (matrice) dimensioni e sono letti con un raggio laser emesso da uno scanner. I codici a barre rappresentano il metodo di identificazione automatica più diffuso e seguono uno standard, in genere, legato a determinati settori. I due standard più diffusi sono il “Universal Product Code (UPC)” e il “European Article Number (EAN)”. L'identificazione ottica presenta alcune limitazioni, come il non essere riprogrammabile e la lentezza di processo dovuta alla tecnologia line-of-sight, che consente di leggere un elemento per volta.

La tecnologia *Radio Frequency Identification* (RFID) supera queste limitazioni ed è la base per la realizzazione di dispositivi IoT. Essa è in grado di memorizzare in maniera autonoma dati e informazioni su persone e oggetti reali. La tecnologia RFID funziona senza contatto e si compone di un transponder (detto anche tag), dotato di una capacità di memoria e di un apparato ricetrasmittente mediante il quale stabilisce un dialogo via radio con un controller. Quest'ultimo, da un verso legge l'identificativo del tag e scrive nella sua memoria, dall'altro dialoga con il sistema informatico per trasmettere il segnale all'host (PC).

I transponder possono essere applicati quasi a tutti gli oggetti poiché hanno dimensioni estremamente ridotte e costo molto contenuto.

L'utilizzo diffuso dell'RFID richiede una standardizzazione delle architetture di *storage* e di scambio dei dati. Attualmente il Codice di prodotto elettronico (EPC) e lo standard EPCglobal Tag Data, rappresentano lo standard internazionale di riferimento.

La tecnologia RFID può, inoltre, essere usata per realizzare il decentramento dell'intelligenza poiché attualmente la maggior parte della capacità di calcolo e dello storage delle informazioni è concentrata nei sistemi centrali. Infatti, accanto alla trasmissione di un numero identificativo univoco, il tag è in grado di salvare e scambiare con altri sistemi una serie di altre informazioni. Inoltre le tecnologie RFID possono essere utilizzate per determinare la posizione di un oggetto fisico all'interno di una fabbrica (localizzazione).

La localizzazione degli oggetti intelligenti può essere ottenuta anche attraverso il c.d. GPS interno (*Global Positioning System*), che hanno le stesse funzionalità del GPS comune, utilizzato in quasi tutte le applicazioni installate all'esterno (es. smartphone).

Tecnologie di comunicazione

Nell'ambito dei sistemi intelligenti interconnessi, la capacità di comunicazione tra i componenti riveste un ruolo fondamentale. Nei sistemi Industria 4.0 la comunicazione avviene all'interno di una rete coerente con un'architettura di riferimento c.d. RAMI4.0 (Reference Architectural Model for Industrie 4.0) (Dorst e Scheibe, 2015). Si tratta di un modello tridimensionale che descrive lo spazio nel quale Industria 4.0 prende forma. Tale modello si caratterizza per sei piani orizzontali che intersecano l'asse verticale e rappresentano altrettante prospettive, quali: i processi aziendali (Business), le descrizioni funzionali (Function), le mappe dei dati (Information), i meccanismi di comunicazione (Communication) e di integrazione (Integration), e l'hardware (Asset). La seconda dimensione dello spazio RAMI4.0 è descritta attraverso lo standard IEC 62890, che rappresenta il ciclo di vita del prodotto, la durata delle istanze del prodotto stesso e dei relativi sistemi di produzione, nonché dei flussi di valore che questi esprimono. Il terzo asse descrive la gerarchia delle funzioni e delle responsabilità all'interno degli stabilimenti e degli impianti, esso ha origine dagli standard IEC 62264 e IEC 61512.

Secondo Dorst e Scheibe (2015), in riferimento alla c.d. comunicazione machine-to-machine (M2M), la capacità degli oggetti intelligenti di comunicare passivamente (CP2Y) costituisce il requisito minimo che un componente Industria 4.0 deve avere all'interno della rete. In questo contesto la comunicazione passiva presuppone che un altro sistema IT superiore assuma la comunicazione in forma “deputy”, mentre il componente sia dotato esclusivamente della capacità minimale di identificazione univoca. Capacità

di comunicazione più avanzate sono la c.d. comunicazione attiva (CP3Y) e la comunicazione degli oggetti intelligenti conforme a Industria 4.0 (CP4Y).

L'integrazione digitale completa end-to-end in una Smart Factory richiede il superamento della comunicazione M2M intesa esclusivamente tra i diversi dispositivi di campo in fabbrica, per interessare anche i diversi sistemi IT a vari livelli. Ciò richiede la presenza di uno standard di comunicazione unico tra le diverse dimensioni del modello architetturale di riferimento e tra i diversi settori industriali. Attualmente, il protocollo di comunicazione OPC-UA (Open Platform Communication – Unified Architecture), creato congiuntamente da 470 produttori della OPC Foundation, è il riferimento per la tecnologia CPS. Tuttavia, il protocollo OPC-UA è in grado di garantire comunicazioni orizzontali e verticali all'interno di una fabbrica soltanto se non vi sono requisiti critici in tempo reale. Per questi cosiddetti requisiti in tempo reale, i bus di campo basati su soluzioni Ethernet sono più adatti e affidabili. Pertanto, la famiglia di protocolli OPC-UA può essere utilizzata in combinazione con i sistemi *field-bus* come connessione essenziale tra MES, ERP e livello di produzione. Un grande vantaggio di questa famiglia di protocolli è la sua scalabilità e interoperabilità.

Per quanto riguarda il protocollo di trasmissione per la comunicazione M2M, Vasseur e Dunkels (2010) ritengono vantaggioso l'uso dell'architettura TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) rispetto ai gateway tradizionali. Infatti, l'architettura basata su IP è interoperabile tra dispositivi e tecnologie di comunicazione, è in continua evoluzione, versatile, stabile, scalabile e sufficientemente semplice da poter essere facilmente gestita da un oggetto intelligente con risorse limitate, mentre i gateway presentano una complessità e una mancanza intrinseche di flessibilità e scalabilità.

Sensori e attuatori

I sensori rappresentano la riproduzione tecnica degli organi sensoriali che consentono agli organismi biologici di interagire con l'ambiente. Infatti, ogni essere vivente è naturalmente dotato di recettori per raccogliere stimoli esterni. I nervi trasformano gli stimoli esterni in segnali elettrici, che poi sono trasferiti al sistema nervoso centrale (cervello), dove si verifica un'impressione sensoriale (percezione, sensazione).

Allo stesso modo gli oggetti intelligenti raccolgono i dati dall'ambiente utilizzando sensori. Sulla base di tali dati è possibile ricreare in tempo reale il mondo fisico e garantire un controllo accurato dell'azione. Il risultato è una fusione tra il mondo digitale e il mondo fisico.

I sensori e i relativi sistemi di misurazione raccolgono le informazioni essenziali e direttamente misurabili, di tipo meccanico, termico, elettrico, chimico o fisico e le convertono in un segnale elettrico.

Nell’ambito del processo di rilevamento, i sensori sono il primo elemento di un’intera catena di misurazione, che include la definizione delle variabili da misurare, la preelaborazione e l’elaborazione dei segnali, l’amplificazione dei segnali e la loro conversione da analogico in digitale.

I sensori classici si limitano a misurare le variabili e a convertire il valore in un segnale elettrico, mentre le nuove generazioni di sensori basati sui semiconduttori – c.d. sensori intelligenti – uniscono la capacità di trasformare i segnali raccolti in dati digitali alla capacità di elaborarli in informazioni. In altre parole, essi possono coprire l’intera catena di misurazione. I sensori intelligenti possono anche disporre di un’interfaccia di comunicazione che gli permette di interagire con altri sensori intelligenti. In combinazione con un microprocessore incorporato questi sistemi sono chiamati MEMS (Micro Electromechanical Systems).

Il progresso delle tecnologie di rilevamento ha reso possibile una nuova forma di raccolta dei dati, costituita dalle reti di sensori wireless, nell’ambito delle quali, attraverso l’uso di un dispositivo di comunicazione, i sensori intelligenti possono scambiare tra loro i dati elaborati.

Le reti di sensori wireless sono composte da piccoli nodi che si auto-configurano all’interno di esse e trasmettono le informazioni. Utilizzando le reti di sensori è possibile fare osservazioni accurate sugli scenari del mondo reale come non è mai stato possibile prima. I principali criteri per l’implementazione di reti di sensori wireless sono la velocità, la capacità di operare in tempo reale, l’affidabilità della trasmissione e un basso livello di costo per la connessione.

Le reti di sensori wireless aprono nuove possibilità di raccolta di informazioni specifiche sul contesto in cui operano gli oggetti intelligenti. Il contesto è definito acquisendo le informazioni necessarie per la caratterizzazione di situazioni, persone e oggetti, in modo da consentire l’interazione tra l’utente e l’applicazione IT. I sistemi sensibili al contesto consentono l’adattamento del comportamento alla situazione identificata.

Gli attuatori costituiscono gli elementi di controllo finale che, mediante determinati parametri di processo, sono in grado di agire nel mondo fisico. Si tratta di convertitori di energia ovvero dispositivi che convertono un segnale elettrico o di altro tipo in movimento. Il tipo di attuatore dipende fortemente dallo scopo della sua implementazione. La modalità di funzionamento dei sistemi di azionamento è sempre la stessa: l’attuatore riceve un segnale elettrico (informazioni) da un’unità di controllo e lo trasferisce ad un elemento di regolazione dell’energia.

Elaborazione dei dati e delle informazioni

La capacità di elaborazione dei dati e delle informazioni è di importanza fondamentale per la decentralizzazione dell’elaborazione stessa e per il grado di autonomia degli oggetti intelligenti. La

decentralizzazione della capacità di elaborazione richiesto dal sistema può essere, infatti, più o meno spinta a seconda che l’elaborazione sia:

1. centralizzata, all’esterno di un oggetto intelligente;
2. decentralizzata, all’interno di in un oggetto intelligente;
3. combinata, in entrambe le alternative.

L’obiettivo dell’elaborazione di dati e informazioni, indipendentemente dall’ubicazione della procedura di elaborazione, è di preparare le informazioni in modo tale che i processi decisionali siano supportati in modo ottimale. A quale livello l’informazione è elaborata dipende esclusivamente dal contesto in cui il sistema opera.

L’elaborazione di dati e informazioni in modo centralizzato richiede interfacce di comunicazione operanti in real-time incorporate nell’oggetto fisico. I sensori raccolgono i dati e li trasferiscono a un sistema IT centrale, dove sono elaborati. In alcuni casi i dati provenienti da diverse fonti possono essere aggregati, trasformati in informazioni e trasferiti a un oggetto intelligente.

L’elaborazione decentralizzata delle informazioni richiede che l’intelligenza sia direttamente incorporata nell’oggetto intelligente. L’implementazione tecnologica dei dati locali e l’elaborazione delle informazioni sono realizzate da microprocessori o piuttosto microcontrollori¹⁷, noti anche come sistemi embedded.

Interfaccia Uomo-Macchina

I sistemi intelligenti coinvolgono anche gli esseri umani, ai quali, in ultima analisi, sono demandate le decisioni. L’interazione tra gli oggetti intelligenti e gli utenti avviene tramite le c.d. *Human-Machine Interface* (HMI). Tali interfacce sono costituite da dispositivi di input, che raccolgono i comandi dell’utente convertendoli in linguaggio digitale, e dispositivi di output, che fanno l’operazione opposta convertendo il linguaggio della macchina in una forma comprensibile per l’utente. Le HMI sono costituite dall’integrazione di componenti hardware e software che rendono disponibili informazioni ed elementi di controllo a supporto dell’utente nell’esecuzione delle sue mansioni.

Le tecnologie di interfaccia possono dare un valore aggiunto alla produzione quando vengono utilizzate come sistemi di assistenza personalizzati in grado di fornire agli utenti informazioni sul contesto e suggerimenti per le decisioni basate su dati precedentemente aggregati. Per ottenere maggiori performance da parte dell’interfaccia sarà necessario che gli oggetti intelligenti siano in grado di riconoscere

¹⁷ Un microcontrollore è un microprocessore con memoria integrata, timer e hardware per il collegamento di dispositivi esterni come sensori, attuatori e dispositivi di comunicazione. I microcontrollori hanno due tipi di memoria: memoria di sola lettura (ROM) e memoria ad accesso casuale (RAM). La ROM viene utilizzata per memorizzare il codice del programma che codifica il comportamento del dispositivo e la RAM viene utilizzata per i calcoli temporanei che il software deve svolgere.

le intenzioni degli utenti (es. sentimenti) per riuscire ad anticipare il comportamento umano ed esprimere una consapevolezza umana. A tal fine, l'utilizzo di metodologie come lo *human modeling* consentono la diagnosi, la simulazione, la previsione e il supporto del comportamento umano nelle interazioni con oggetti intelligenti. La ricerca si concentra, in particolare, su due applicazioni: il “test drive virtuale” e il “passeggero virtuale empatico”. Altri approcci tecnologici includono sistemi di produzione basati su regole, reti bayesiane, teoria del controllo matematico, processi decisionali di Markov e varie combinazioni di questi metodi. Atzori et al. (2014), in analogia con l'evoluzione umana, disegnano un percorso evolutivo degli oggetti intelligenti (*res sapiens*) a oggetti agenti (*res agens*), fino a oggetti sociali (*res socialis*). Un oggetto sociale avrebbe una coscienza sociale, che sarebbe parte di una comunità sociale di oggetti e dispositivi.

Software e funzioni degli oggetti intelligenti

Oltre che di tecnologie hardware, gli oggetti intelligenti contengono parti software che abilitano le loro funzioni. Nel campo delle tecnologie autonome, la ricerca scientifica si sta concentrando soprattutto sulla trasposizione dell'intelligenza in sistemi tecnici basati sull'ICT. L'obiettivo è di trasferire aspetti del comportamento umano, in particolare dei processi decisionali, in artefatti tecnici come gli oggetti intelligenti. Il termine intelligenza artificiale (AI) fa riferimento a questo sforzo.

Lo sviluppo dell'intelligenza artificiale è basato sulla conduzione di ricerche nelle scienze cognitive e nei metodi e tecnologie che permettano alle macchine di pensare e agire come esseri umani. In sostanza, essa comprende cinque aspetti:

- agire razionale
- ragionamento logico
- comportamento cognitivo
- interazione
- capacità decisionale

Nell'intelligenza artificiale, la combinazione di questi aspetti, che sono alla base della capacità di apprendimento e di *problem solving* degli esseri umani, viene trasposta in un software che consente alle macchine di apprendere, interpretare la realtà, prevedere i risultati e imparare dai successi e dai fallimenti utilizzando algoritmi.

Le reti neurali sono un prerequisito essenziale e allo stesso tempo il fondamento dell'apprendimento automatico. Esse apprendono dagli esempi, riconoscono i modelli, sono in grado di fare previsioni sulla base dei dati provenienti dalle misurazioni passate e determinare il comportamento dei sistemi complessi.

Nei Sistemi Intelligenti l'intelligenza artificiale è applicata in modo distribuito, focalizzandola sulla cooperazione tra dispositivi intelligenti distribuiti nello spazio, in modo che questo tipo di sistemi risultino dalla combinazione del software con funzioni di IA e dell'hardware dotato di *embedded intelligence*.

1.4.2 Agenti software e sistemi multiagente

Gli agenti software sono una tecnologia particolarmente adatta all'implementazione di oggetti intelligenti poiché il concetto di agente è molto vicino a quello di oggetto. Wong et al. (2002) definiscono un agente software come “[...] *distinct software process, which can reason independently, and can react to change, induced upon it by other agents and its environment, and is able to cooperate with other agents*”.

Ci sono sei elementi, che contraddistinguono un agente software:

- Situato: esistere in un ambiente;
- Reattivo: saper adattare il comportamento agli stimoli dell'ambiente on-line e in real time;
- Autonomo: possedere un certo grado di autonomia di azione;
- Sociale: saper cooperare con altri agenti (sistema multi-agente);
- Razionale: saper eseguire azioni per raggiungere un obiettivo;
- Antropomorfo: riuscire a rappresentare concetti mentali propri degli esseri umani.

Sulla base di questi elementi, è possibile definire quattro tipi di agenti, caratterizzati da intelligenza crescente:

- *Agenti con riflessi semplici*: agiscono in base alle percezioni correnti (nessuna considerazione delle precedenti percezioni), secondo regole condizione-azione.
- *Agenti con riflessi basati su modelli*: agiscono in corrispondenza a una modellizzazione dell'ambiente tenendo conto anche di percezioni passate (stato interiore). Gli agenti con riflessi basati su modelli possono reagire a situazioni impreviste basandosi su esperienze.
- *Agenti basati su obiettivi*: agiscono in conformità a situazioni desiderabili. L'agente sceglie tra varie possibilità selezionando quella che gli permette di raggiungere il proprio obiettivo.
- *Agenti basati sul valore*: agiscono in conformità a soluzioni ottimali per soddisfare uno stato desiderabile.

L'incorporazione di agenti software nelle macchine permette di conferire loro funzioni di autocontrollo e, quindi, dare agli oggetti intelligenti autonomia di comportamento e capacità decisionale decentralizzata nell'ambito di strutture eterarchiche. In questo tipo di sistemi non deterministici gli oggetti intelligenti devono prendere decisioni autonome in conformità a obiettivi prestabiliti.

Gli elementi essenziali che qualificano la capacità di autocontrollo degli oggetti intelligenti (Windt, 2006), sono descritte come segue:

- comportamento autonomo e orientato agli obiettivi;
- capacità di prendere decisioni autonome;
- capacità di misurazione e valutazione degli eventi;
- capacità di interazione;
- eterarchia;
- non-determinismo.

Schulz-Schäfer (2008) individua tre dimensioni dell'autonomia, sulla base delle quali è possibile realizzare una crescente forma di autocontrollo:

- autonomia di comportamento: la capacità di eseguire programmi di comportamento predefiniti;
- autonomia decisionale: la possibilità di scegliere tra diverse modalità di comportamento;
- autonomia dell'informazione: la capacità di modificare il comportamento in base a nuove informazioni.

Queste tre dimensioni, considerate insieme, formano la capacità di agire in autonomia.

Negli oggetti intelligenti dotati di autocontrollo possono essere integrati diversi tipi di agenti software, secondo il grado di autonomia di azione e il livello di intelligenza artificiale da decentralizzare rispetto agli obiettivi di un'applicazione.

È possibile implementare i c.d. sistemi multi-agente (MAS), i quali sono composti da diversi agenti software che collaborano e negoziano tra di loro. L'idea alla base dei MAS proviene dal mondo animale. Osservando il volo degli uccelli migratori, sembra che il comportamento degli sciame sia stato in precedenza “negoziato” e avvenga in conformità a un piano, che ciascuna unità dello sciame segue autonomamente. Alle influenze esterne, lo sciame reagisce in formazione nel suo complesso e le singole unità agiscono in modo coordinato a vantaggio dell'intero gruppo. Questo fenomeno è chiamato *swarm intelligence*.

Nei MAS la cooperazione tra agenti è un aspetto decisivo che genera ulteriori benefici derivanti dall'interazione degli agenti. Nella teoria organizzativa, il coordinamento descrive l'accordo reciproco tra individui funzionale al raggiungimento degli obiettivi del sistema. L'auto-organizzazione di un sistema è caratterizzata dalla sua capacità di risolvere problemi complessi mediante una procedura collettiva. Gli agenti armonizzano le azioni tra di loro in modo che un problema sia affrontato con una strategia e risolto congiuntamente, in modo coordinato.

1.4.3 Data analysis

I sistemi intelligenti e i loro componenti (sensori, reti di sensori, videocamere, web ecc.) generano una gran mole di dati la cui trasformazione in “dati intelligenti” consente di aumentare l’efficienza dei processi. Il riconoscimento automatico di relazioni, significati e modelli, utilizzando tecnologie avanzate di *data analysis*, può generare ulteriori vantaggi. I metodi analitici avanzati consentono l’ottimizzazione automatica dei sistemi intelligenti e l’implementazione di abilità cognitive. Infatti, mediante tecnologie di apprendimento automatico, i dati storici possono essere utilizzati per prendere decisioni basate sulle esperienze. In tal modo è possibile dare agli oggetti intelligenti la capacità di ottimizzare il loro comportamento.

1.4.4 Piattaforme di integrazione digitale

L’integrazione digitale end-to-end nei sistemi intelligenti è facilitata dall’uso dei cosiddetti servizi intelligenti sulle piattaforme di integrazione digitale. L’integrazione di oggetti intelligenti tramite IoT consente di accedere ai dati sul campo da qualsiasi posizione. Una piattaforma di integrazione include hardware, software e sistemi di comunicazione. Kagermann et al. (2013) definiscono le piattaforme di integrazione digitale come unità federate, poiché permettono la contemporanea cooperazione tra i vari elementi dei CPS mediante l’utilizzo dei servizi e delle applicazioni in esse contenute. Le piattaforme di integrazione digitale possono essere viste come mercati virtuali di dati tecnologici sui quali gli oggetti intelligenti possono offrire e usufruire di servizi in base alle necessità dei processi. In questa visione tali piattaforme svolgono un ruolo di intermediazione tra una sorta di domanda e offerta di dati digitali (ad esempio i parametri di processo) e garantisce la trasparenza necessaria per la sicurezza.

Dal punto di vista dell’hardware su cui basare questo tipo di piattaforma, si fa ricorso al cloud computing, il quale rappresenta una tecnologia consolidata che ha ampiamente dimostrato la sua efficacia. Il cloud computing è caratterizzato da scalabilità, alta disponibilità ed elevata velocità di connessione, quindi, rappresenta un’interfaccia ideale nell’implementazione di Industria 4.0.

I servizi cloud possono essere impiegati su diversi livelli hardware e software come soluzioni *Software-as-a-Service* (SaaS), *Platform-as-a-Service* (PaaS) e *Infrastructure-as-a-Service* (IaaS). Nei sistemi cloud, i dati di processo sono eseguiti insieme su un server, sono analizzati e tornano alla loro destinazione.

1.5 Business model 4.0

Il paradigma “Industria 4.0” trasforma l’ecosistema di business rendendolo smart, distribuito, adattivo e aperto, scalabile, sostenibile e caratterizzato da relazioni tipiche degli ecosistemi naturali. Le leve tecnologiche e i *cyber-physical system* su cui si basa consentono di ottenere benefici operativi che si

riflettono sui fattori critici di successo su cui si fonda la *value proposition* e, quindi, sulle dimensioni strategiche della gestione d’impresa. In particolare, tali tecnologie permettono di progettare nuove proposte di valore nell’ambito di nuovi modelli di business. Con riferimento al rapporto tra i benefici operativi apportati dalla tecnologia e i fattori critici di successo delle imprese la letteratura ha definito dodici potenziali “*business model 4.0*” raggruppabili in quattro *meta business model 4.0.*, come di seguito descritto.

- *smart factory business model.* È riconducibile alla dimensione strategica dell’eccellenza operativa. Infatti, la fabbrica ‘intelligente’ si caratterizza per l’integrazione dei sistemi fisici e virtuali nelle *value chain*, *value system* e *value ecosystem*, considerando l’intero ciclo di vita del prodotto. Essa prevede un approccio dinamico e *on demand*, con più elevate performance a livello di produttività, qualità, tempo e sostenibilità. Questo *meta business model* è adottabile prevalentemente da imprese che operano nel *business-to-business*, al fine di far leva sulla realizzazione di prodotti con elevato livello di differenziazione nell’ambito di processi produttivi industriali di tipo standardizzato. Esso si articola nei seguenti *business model 4.0*:

1. *smart manufacturing.* Prevede l’integrazione del mondo fisico con quello digitale attraverso *cyber-physical production system* dotati della capacità di automonitoraggio, autoapprendimento, autogestione e autoadattamento. Si tratta di un ecosistema in grado di rispondere velocemente alle richieste del mercato, di mantenere sotto controllo l’intero ciclo di vita del prodotto, generare efficienza e sinergie, grazie anche al coinvolgimento del cliente.
2. *mass customization.* Prevede l’utilizzo delle tecnologie digitali per la produzione di beni e servizi personalizzati, preservando allo stesso tempo l’efficienza operativa tipica della produzione di massa. Con la *mass customization* si riesce a differenziare l’offerta per soddisfare bisogni eterogenei attraverso modelli organizzativi ‘dinamici’, dotati di elevata flessibilità. La personalizzazione può avvenire in diverse fasi del ciclo produttivo: *engineer-to-order* (progettazione personalizzata); *made-to-order* (produzione personalizzata); *assemble-to-order* (assemblaggio personalizzato con componenti standardizzati); *match-to-order* (vendita personalizzata selezionando i prodotti standardizzati che meglio soddisfano i bisogni del cliente); *adaptable product* (funzionamento personalizzato rilevando le modalità di utilizzo del prodotto da parte del cliente).
3. *hub and spoke produttivi.* Prevede l’utilizzo delle tecnologie digitali per la creazione di siti produttivi locali, configurabili come ‘mini-fabbriche’ decentralizzate, localizzate in prossimità dei mercati secondo un modello reticolare. L’impresa funge da *hub* e mantiene la

governance a livello centrale, creando standard operativi da condividere con le ‘mini-fabbriche’, le quali fungono da *spoke* e svolgono le fasi di produzione e distribuzione. La prossimità ai mercati finali permette lo sfruttamento di risorse locali, un maggior allineamento culturale con i clienti e una più agevole osservanza della normativa locale.

Il modello *hub and spoke* rappresenta una nuova modalità di *outsourcing* che combina i vantaggi del modello *near-shore* (governo centralizzato) con quelli del modello *off-shore* (servizio decentralizzato). I siti produttivi locali saranno solo parzialmente automatizzati, mentre viene sviluppata una piattaforma tecnologica centrale che assicuri l’efficace ed efficiente condivisione degli standard operativi. ciò permette di svolgere la produzione all’ultimo miglio, nel luogo stesso di consegna finale.

- *servitization business model*: è riconducibile alla dimensione strategica della leadership di prodotto. Esso è adottabile soprattutto da imprese che operano nel *business-to-consumer*, con la finalità di far leva sulle qualità intangibili dei beni materiali e sulle qualità tangibili dei servizi immateriali. La *servitization* ‘intelligente’ utilizza le tecnologie digitali per integrare l’offerta di beni con uno o più servizi. Essa si fonda sul fatto che il valore economico di un prodotto dipende più che da quest’ultimo in sé, dall’utilizzo che ne viene fatto. Attraverso la *servitization* si tende a trasformare i beni in servizi al fine di rispondere meglio ai *customer jobs to-be-done*, ponendo attenzione non solo al prodotto offerto, ma anche alle finalità che il cliente intende realizzare con il suo acquisto. In questo *business model* rientra anche la *productization*, fondata sul presupposto che l’erogazione di servizi può prevedere l’utilizzo di beni ‘intelligenti’. Questo *meta business model* si articola nei seguenti *business model 4.0*:

1. servizi *add-on hardware*. Prevede l’utilizzo delle tecnologie digitali per integrare la vendita del bene con servizi complementari che ottimizzino le funzioni e le performance ricercate, con effetti sulla fidelizzazione del cliente.
2. servizi *add-on software*. Prevede l’utilizzo delle tecnologie digitali per affiancare alle normali funzioni di un bene servizi indipendenti sfruttando la possibilità offerta dai *platform product* di permettere l’esecuzione di applicazioni software sviluppate da programmatori anche indipendenti. In questo caso la vendita del bene rappresenta il presupposto della vendita dei servizi addizionali, di solito realizzata da imprese diverse dal produttore del medesimo. Con la diffusione degli *smart product*, il software sta diventando sempre più importante per la creazione di valore anche per le imprese che non fanno tradizionalmente parte del settore ICT. La differenziazione del prodotto, quindi, deriva non solo

dall’inserimento di sensori, memorie, apparati di connessione, processori e attuatori, ma soprattutto dall’impiego di software per migliorare la *user experience* del prodotto.

3. servizi *everything as-a-service*. Prevede l’utilizzo delle tecnologie digitali per sostituire alla ‘vendita della proprietà del bene’, la ‘vendita dell’uso del bene’. In questo caso si adotta un *revenue model* di tipo *pay-per-use*, secondo il quale il pagamento del prodotto non avviene in una unica soluzione all’atto dell’acquisto, ma viene distribuito nel tempo di utilizzo del bene da parte del cliente. Il modello *everything as-a-service* si caratterizza per i seguenti passaggi concettuali: dalla vendita di prodotti a quella di servizi; da *output* ad *outcome*; da transazioni a relazioni con i clienti; da transazioni a partnership con i fornitori. Ne risulta una trasformazione concettuale che vede il passaggio dai singoli agli ecosistemi. Il passaggio dal prodotto al servizio consente una maggiore diversificazione dell’offerta rispetto ai competitor.
- *data-driven business model*: è riconducibile alla dimensione strategica della fidelizzazione del Cliente. Questo *meta business model 4.0* è adottabile soprattutto da imprese che operano nel *customer-to-business*, laddove i nuovi prodotti vengano sviluppati sulla base dei dati generati dalle esperienze di uso dei clienti, facendo leva sull’utilizzo delle informazioni acquisite per realizzare nuove modalità di sfruttamento della conoscenza dei clienti. La *datafication* è caratterizzata dallo sfruttamento dei dati a disposizione delle imprese per scopi diversi da quelli per cui sono stati generati. Tale ulteriore utilizzo dei dati consente la generazione di flussi di ricavo addizionali derivanti dalla loro vendita tal quale ovvero di elaborazioni basate su di essi che permettano il miglioramento dei processi, dei prodotti o della *customer experience*. Il *data-driven business model* si articola nei seguenti *business model 4.0*:
 1. *smart customer experience*. Prevede l’utilizzo delle tecnologie digitali per migliorare l’esperienza sensoriale, emozionale, intellettuale, sociale e spirituale del cliente nelle interazioni, dirette o indirette con l’impresa. Il modello sposta il focus dell’offerta dalla combinazione bene/servizio, a quello dell’esperienza o del *life-style*. I momenti di contatto che definiscono il ciclo esperienziale del cliente si ritrovano nelle fasi della pre-vendita, della vendita e del post-vendita. I canali di contatto che guidano il *customer journey* sono molteplici: fisici (es.: negozi), digitali (es.: sito web, social network), fisici e digitali (es.: negozi fisici con camerini virtuali). I diversi canali spesso vengono utilizzati contemporaneamente (*off-line* e *on-line*), per cui si ricorre all’*omni-channel*, che prevede l’integrazione dei diversi *touch-point* aziendali.

2. *data monetization* diretta. Prevede l'utilizzo delle tecnologie digitali per generare flussi di ricavo aggiuntivi attraverso la vendita dei dati aziendali. Questi possono essere trasferiti in forma grezza ovvero elaborati sulla base della conoscenza dell'impresa sulla loro genesi aumentandone il contenuto informativo. La vendita di elaborazioni basate sui dati aziendali genera sia ritorni che investimenti nelle competenze specifiche sull'analisi dei dati e nell'organizzazione di servizi connessi alla loro vendita. Un *data provider* può adottare diversi modelli di business tra i quali:
 - *contributory database*: si ricevono dati su di un determinato fenomeno da diversi contributori, i quali vengono elaborati aumentandone il valore, per poi metterli gratuitamente a disposizione dei contributori e venderli a terzi in abbonamento (es. report periodici);
 - *data processing platform*: l'impresa analizza, attraverso algoritmi proprietari, dati proveniente da molteplici fonti e offre ai clienti elaborazioni personalizzate attraverso applicazioni software;
 - *data creation platform*: viene offerto un servizio gratis a molti utenti al fine di raccogliere un'enorme mole di dati circa le loro preferenze per poi venderli in forma aggregata ovvero sfruttarli per offrire servizi personalizzati a pagamento.
 3. *data monetization* indiretta. Prevede l'utilizzo delle tecnologie digitali per generare, raccogliere, integrare, visualizzare e quindi analizzare, attraverso algoritmi, il maggior numero di informazioni possibili. Ciò al fine di introdurre miglioramenti incrementali e/o radicali nei processi aziendali, nei prodotti e nella *customer experience*. In questo caso viene posta l'enfasi sul monitoraggio dei comportamenti dei clienti in termini di utilizzo dei prodotti e di abitudini d'acquisto. I dati raccolti rappresentano un asset strategico che può essere sfruttato per migliorare o riprogettare il modello di business.
- *platform business model*: è riconducibile alla dimensione strategica della leadership ecosistemica. Questo *meta business model 4.0* è adottabile soprattutto in ambiti *consumer-to-consumer*, nei quali il destinatario di beni e/o di servizi non si limiti al ruolo passivo di consumatore, ma partecipi attivamente alle diverse fasi del processo produttivo con il ruolo di “*prosumer*”. La *platformization* realizza una connessione tra persone e imprese attraverso un'infrastruttura aperta e partecipativa che, grazie alle tecnologie digitali, permette interazioni in termini di scambio tra produttori e consumatori, i quali co-creano valore. Questo modello prevede il passaggio da sistemi basati su *value chain* e *value system*, in cui produttori e consumatori sono sempre distinti lungo una successione lineare delle fasi di produzione, scambio, distribuzione e consumo, a un

sistema basato su un *value (eco)system*, in cui produttori e consumatori possono coincidere (*prosumer*). I *platform business model* permettono all'impresa di ottimizzare l'incontro tra domanda e offerta sostituendo l'intelligenza umana con quella artificiale e/o collettiva, e di superare i limiti di capacità produttiva sfruttando l'offerta che arriva dalla comunità degli utenti della piattaforma. Più in generale, si sposta il focus dalle risorse aziendali tangibili (es.: personale, macchinari e impianti, scorte) a quelle intangibili (es.: relazioni e software) ma, soprattutto, dalle risorse aziendali a quelle della comunità. Questo *meta business model* si articola nei seguenti *business model 4.0*:

1. *smart product*. Prevede l'utilizzo delle tecnologie digitali per integrare il mondo fisico con quello digitale attraverso la creazione di prodotti dotati di computerizzazione e connettività. Questo tipo di prodotto prevede l'esecuzione di applicazioni software sviluppate da programmatori esterni all'impresa accessibili a pagamento o meno. Essi offrono la possibilità di affiancare alle tradizionali funzioni del prodotto, servizi indipendenti erogati da terzi. Gli *smart product* spostano, quindi, l'enfasi dalla fase di vendita a quella del post-vendita, abilitando diversi *revenue model*.
2. *smart innovation*. Prevede l'utilizzo delle tecnologie digitali per estendere nel tempo e nello spazio il processo di innovazione. La *smart factory* è al centro di un *value system* (fornitori e clienti) *data-driven*. La *smart innovation* mira a condividere e integrare le informazioni e le conoscenze interne all'impresa con quelle possedute da soggetti esterni per renderle funzionali all'innovazione. L'estensione temporale avviene mediante l'analisi delle serie storiche di dati contenuti nei sistemi informativi, mentre l'estensione nello spazio si realizza mediante l'analisi dei dati contenuti nei report scientifici, nelle riviste, nei social network, nei blog, nei forum, ecc. L'estensione del processo di innovazione si realizza anche attuando strategie di *open innovation* mediante il ricorso a *community platform* con fornitori, clienti, startup, università, centri di ricerca, ecc.
3. *broker & technology platform*. Prevede l'utilizzo delle tecnologie digitali per connettere persone, imprese e risorse mettendo a loro disposizione un'infrastruttura con cui produttori e consumatori possono scambiarsi beni, servizi e informazioni, co-creando valore. Questo modello comporta profondi cambiamenti nella *value chain* e nel *value system*. È possibile distinguere due tipi di piattaforme: le piattaforme *broker* e le piattaforme *technology*. Le prime costituiscono un *digital marketplace* che riduce la distanza tra una molteplicità di venditori e compratori. In questo caso la piattaforma crea valore mediante la fornitura di informazioni e la garanzia della qualità dei prodotti e della loro distribuzione.

Le seconde costituiscono dei *business ecosystem* che consentono l'accesso a risorse e soluzioni tecnologiche. Il modello crea valore facendo leva sulle risorse tecnologiche che possono essere adottate e condivise con gli altri membri dell'ecosistema.

I business model 4.0 innanzi descritti possono essere integrati per perseguire un vantaggio competitivo sostenibile nel tempo.

Capitolo 2 IL MANAGEMENT ACCOUNTING NELL'EVOLUZIONE DELLE TECNOLOGIE

Le tecnologie intelligenti che caratterizzano il paradigma Industria 4.0 intercettano il processo di evoluzione del management accounting poiché mettono a disposizione del management una gran mole di dati, tecnologie innovative per il trattamento dell'informazione e la possibilità di approcciare in modo olistico il tema dell'analisi delle performance. La rivoluzione tecnologica determina la necessità di individuare nuovi percorsi d'indagine che consentano di integrare e completare vicendevolmente le istanze provenienti dall'accademia con le mutate esigenze proposte dalla prassi (Mitchell, 2002).

I nuovi metodi di produzione e le nuove filosofie di business conseguenti richiedono approcci innovativi nella progettazione e nella gestione dei sistemi di management accounting (Bhimani, Caglio, Dittillo, Morelli; 2008) e, più in generale, di monitoraggio delle performance. Nei nuovi scenari, infatti, tali sistemi mantengono un ruolo fondamentale nel supportare i processi decisionali critici, ma devono essere in grado di adattarsi ad ambienti di produzione dinamici per poter costituire la piattaforma su cui costruire modelli predittivi e prescrittivi per la stima e il controllo dei costi, nonché per la pianificazione dei progetti (Roy et al., 1999).

La complessità strutturale e il dinamismo dei processi si riflette sulla struttura aziendale, rendendo maggiormente articolate le combinazioni di fattori produttivi che bisogna monitorare. In questa situazione, l'utilizzo di *business analytics* avanzati consente di generare informazioni coordinate sui fattori della produzione e sulle dinamiche finanziarie dell'azienda in tempo reale e nei momenti critici, quando la loro disponibilità è più importante. Gli sviluppi più avanzati consentono l'applicazione delle tecnologie di AI (*artificial intelligence*), di apprendimento automatico e *big data analytics* al management accounting rendendo obsoleti approcci più tradizionali (Burns, 2000).

Man mano che sempre più informazioni vengono digitalizzate, l'ecosistema dei dati si espande anche al di fuori dei confini dell'azienda. I dati esterni possono essere combinati con i dati interni per creare strumenti di analisi prescrittive idonei a fronteggiare le incertezze. Si pensi a modelli di ottimizzazione che consentano di scegliere le soluzioni che minimizzano i costi o massimizzano le entrate e/o i margini di contribuzione (Taleizadeh et al., 2015) o all'utilizzo integrato di dati contabili ed extra contabili per risolvere problemi pratici (Birnberg, 2009).

2.1 Rassegna dei principali metodi di stima, analisi e gestione dei costi

Tradizionalmente il management accounting mira a costituire un sistema di informazioni che guidi e motivi i manager a convergere verso gli obiettivi aziendali, individuando la direzione verso la quale

rivolgere gli sforzi (Vettor, 2008). Una delle più delicate scelte da compiere nella progettazione di un sistema di calcolo dei costi a supporto dell'attività di direzione è quella relativa al metodo da utilizzare nel calcolo dei costi. Si tratta di scegliere la “filosofia” in base alla quale impostare la rilevazione dei singoli elementi di costo, i quali saranno riferibili a determinate configurazioni di costo poste in relazione a tutta una strumentazione costituita da modelli di analisi, programmazione e controllo. Una volta scelta una configurazione di costo, è opportuno mantenerla a preventivo e a consuntivo, sia quando si calcola il costo di prodotto, sia quando si determinano i costi dei centri di responsabilità, in ossequio ai criteri di chiarezza e coerenza dell'impostazione.

Di seguito si enucleano e si classificano i principali metodi di analisi dei costi.

2.1.1 Metodi di stima e modellazione dei costi

La stima dei costi è il processo di raccolta e analisi di dati storici e di applicazione di modelli quantitativi, tecniche, strumenti e *dataset* al fine di prevedere il costo futuro di un articolo, prodotto, progetto o attività. Tale processo prevede l'uso di metodi e tecnologie per determinare il probabile valore (o costo), la portata o il carattere futuro di un determinato oggetto sulla base delle informazioni disponibili in un dato momento. (Mislick, Nussbaum, 2015)

Il concetto di stima dei costi rappresenta un elemento critico nel processo di analisi; tuttavia, questo non comprende l'ottimizzazione dei costi. La locuzione “modellazione dei costi” è spesso utilizzata in modo intercambiabile con la stima dei costi; tuttavia, questo fa riferimento a un'analisi più approfondita in quanto mira a riprodurre i costi con una certa esattezza sulla base delle informazioni finanziarie e operative storiche (profitto e perdita o conto economico). Nonostante la modellazione sia in parte basata sulla formulazione di ipotesi, se queste vengono definite in modo corretto, la creazione del modello di costo dovrebbe portare a una maggiore precisione e più efficace prevedibilità poiché il modello mira a riprodurre la realtà economica della specifica azienda. Per contro, errori nella rilevazione dei dati, nella scelta dei fattori di costo o nella formulazione delle ipotesi, porteranno a risultati del tutto fuorvianti. (Domanski, 2020)

Un altro importante elemento di differenziazione della modellazione dei costi si rinviene nella sua capacità di prevedere l'impatto dei cambiamenti sulla struttura dei costi. Mentre la stima dei costi utilizza in modo statico le informazioni sui costi disponibili in quel momento, il modello di costo consente di adeguare la struttura dei costi in base ai cambiamenti nel business (si pensi a un miglioramento dell'utilizzo dello stabilimento dal 65% all'80%, che determina un migliore assorbimento dei costi fissi, il quale verrà preso in considerazione in un modello di costo, mentre una stima dei costi potrebbe continuare a

presupporre un utilizzo della capacità del 65% in base alle informazioni del momento in cui si conduce la stima. (Domanski, 2020)

I principali metodi analitici o tecniche di stima dei costi sono: metodi statistici o parametrici, metodi neurali, metodi Fuzzy, metodi analogici, metodi analitici, metodi basati sui costi effettivi.

Metodi statistici o parametrici

I metodi statistici o parametrici adottano criteri statistici per individuare nessi causali e correlare le caratteristiche di costo a quelle di prodotto per ottenere una funzione con una o più variabili. Questo tipo di modelli generalmente definiscono relazioni di stima dei costi basate su algoritmi matematici o logici. Essi sono basati sulla cattura dei dati e l'individuazione della loro fonte. La maggior parte dei dati necessari sono ottenuti dalla contabilità e dai responsabili di processo.

I modelli di costo parametrici generalmente definiscono relazioni di stima dei costi (CER) basate su algoritmi matematici o logici (DoD 1999).

I modelli di costo parametrici sono basati sulla cattura dei dati. Ciò richiede lo sviluppo di specifici *template* e l'identificazione della fonte dei dati. La maggior parte dei dati necessari alla modellazione parametrica sono ottenuti dalla contabilità, dagli ingegneri e dai manager di processo.

Dopo aver raccolto i dati, è necessario individuare le variabili (*cost driver*) da collegare ai rispettivi dati. Attraverso un'analisi di regressione statistica, viene individuata una correlazione tra il *cost driver* e il costo. Questa relazione viene validata e salvata in un database delle relazioni (CER) il quale fornisce gli input necessari al modello di costo. Al fine di validare il database il ciclo di modellazione viene invertito.

Le principale limitazione dei modelli di costo parametrici è la disponibilità di dati di adeguata qualità (Beltramo 1988, Hughes 1996, Briand et al. 1998, Shepperd and Cartwright 2001), circostanza che rende spesso necessaria l'integrazione del parere degli esperti. Inoltre, i modelli parametrici non sono in grado di prevedere i costi al di fuori dell'ambito del database delle relazioni (Beltramo 1988).

Il Parametric Handbook (DoD 1999) dà una serie di indicazioni per un uso corretto dei modelli parametrici:

- non dovrebbero essere usati al di fuori dei range previsti dai database;
- dovrebbero essere usati soltanto dopo essere verificati e validati;
- dovrebbero essere costantemente adattati ai cambiamenti dei requisiti;
- non dovrebbero essere usati a meno che non si abbia una corrispondenza realistica dei dati con i *cost drivers*.

Modelli neurali

I metodi basati su reti neurali costituiscono una forma di intelligenza artificiale mediante la quale il costo viene ottenuto come effetto di determinati fattori (Zhang et al. 1996). Questo tipo di metodi captano una serie di attributi dei costi che si riferiscono al prodotto o sistema in considerazione.

Le reti neurali sono basate su modelli automatici in grado di apprendere dai dati ed eseguire attività complesse come classificazione, regressione, clustering e generazione. Esse si compongono di strati di neuroni artificiali in grado di elaborare e trasmettere informazioni in modo non lineare e adattivo. Queste vengono applicate alla stima dei costi mediante un addestramento specifico per tale attività. Possono imparare dai dati storici e stimare il costo di nuovi progetti, prodotti, servizi o attività in base agli input e ai vincoli forniti.

Le reti neurali per la stima dei costi possono offrire numerosi vantaggi rispetto ai metodi tradizionali di stima dei costi, tra cui:

1. *precisione*: possono catturare relazioni non lineari e complesse tra gli input e gli output e adattarsi ai cambiamenti e alle tendenze dei dati. Possono anche gestire l'incertezza e la variabilità dei dati fornendo stime probabilistiche o intervallari, anziché stime puntuali, migliorando l'accuratezza e l'affidabilità delle stime dei costi e ridurre gli errori e i pregiudizi che possono derivare dal giudizio umano o dalle regole euristiche;
2. *efficienza*: le reti neurali per la stima dei costi possono automatizzare il processo di stima dei costi e ridurre il tempo e l'impegno necessari per la raccolta, l'analisi e la convalida dei dati. Possono inoltre fornire stime dei costi rapide e coerenti per problemi ampi e complessi e gestire con facilità più scenari e alternative. Ciò può migliorare l'efficienza e la produttività del processo di stima dei costi e consentire un processo decisionale più rapido e migliore.
3. *flessibilità*: le reti neurali per la stima dei costi possono adattarsi a diversi domini, contesti e obiettivi di stima dei costi. Possono gestire diversi tipi di dati, ad esempio dati numerici, categorici, testuali o di immagine, e diversi livelli di granularità, ad esempio a livello di unità, componente, sistema o progetto. Possono anche incorporare diversi criteri, vincoli e preferenze delle parti interessate e fornire stime di costo personalizzate e ottimali per situazioni e scopi diversi.

Infine, i modelli neurali possiedono il vantaggio di poter modellare i costi anche nei casi in cui il rapporto funzionale tra i dati del caso non può semplicemente essere espresso in forma polinomiale (Caputo e Pelagagge 2008).

Modelli Fuzzy.

La logica Fuzzy è caratterizzata da un forte background matematico e consente di prendere in considerazione i fattori dinamici che hanno un impatto sui costi (Journier 1999 Kishk e Al-Hajj 1999, Nachtmann e Needy 2001, Shehab e Abdalla 2002). Questo approccio ha contribuito a migliorare le pratiche di costo, in quanto gli strumenti tradizionali di modellazione dei costi sono deterministici e più adatti per l'analisi statica (Ting et al. 1999).

Shehab e Abdalla (2002) hanno individuato le fasi necessarie per sviluppare un modello di costi basato sulla teoria Fuzzy. Le tre fasi principali (Mamdani e Gaines 1981 Klir e Ruan 1996 Curran et al. 2004) sono le seguenti:

1. individuazione dell'oggetto dell'analisi e del controllo;
2. elaborazione degli input in base alle regole Fuzzy “if then”;
3. riconduzione degli output derivanti da ogni singola regola Fuzzy in un singolo output che rappresenta la soluzione per l'intero sistema.

In termini generali Kishk e Al-Hajj (1999) sono del parere che le condizioni ottimali per l'applicazione della logica Fuzzy sono le seguenti:

1. I processi o i prodotti sono molto complessi e vi è incertezza;
2. I processi dipendono fortemente da scelte umane.

Curran et al. (2004) hanno individuato i seguenti vantaggi principali dell'uso della logica Fuzzy:

1. I concetti matematici implementati sono trasparenti e tracciabili;
2. Possiede la capacità di abbinare insieme di dati input-output di tipo comportamentale;
3. Può essere integrato con tecniche tradizionali.

Metodi analogici

I modelli di costo analogici sono basati sulla comparazione con modelli di costo noti di prodotti, processi o progetti con caratteristiche e funzioni simili a quelli oggetto di indagine. Individuato un prodotto, un processo o un progetto simile a quello oggetto di indagine si utilizzano le informazioni di costo a questo associate per stimare i costi dell'entità sotto indagine. Nell'applicazione di tale metodo si tiene conto degli adattamenti resi necessari dalle differenze tra i due oggetti di analisi.

Il processo di applicazione del metodo di modellazione analogico è basato su sei fasi (Curran et al. 2004):

1. Definizione degli oggetti di costo. Ciò comporta l'individuazione delle caratteristiche dei progetti o dei prodotti, come parametri di progettazione, specifiche di produzione caratteristiche operative e manutenzione;

2. Individuazione della fonte dei dati. Questo richiede l'individuazione delle fonti di dati collegati alle due entità in esame. Il più delle volte i dati includeranno quantità, design e caratteristiche prestazionali;
3. La raccolta di dati reali. I dati sono raccolti tenendo conto dell'aspetto sia qualitativo sia quantitativo. Questo viene fatto per più casi storici possibile;
4. Generazione di una serie di fattori che caratterizzano il prodotto in termini di funzionalità. Questi fattori vengono utilizzati per definire i rapporti di costo sulla base del presupposto che performance e indicatori di progetto influenzino i rapporti di costo. Le tre famiglie di indicatori più frequenti sono: la complessità, la miniaturizzazione e la produttività;
5. Generare le stime dei costi effettivi. Questo si basa sul prodotto del costo storico del caso dei coefficienti complessità, miniaturizzazione e produttività;
6. La derivazione del costo totale del programma che prevede l'aggiunta di profitti e ogni aggiustamento che il management ritenga opportuno.

Metodi generativi o analitici

I metodi generativi o analitici si basano sulla scomposizione e la modellazione dei processi associati allo sviluppo del prodotto o progetto (Caputo and Pelagagge 2008, Agyapong-Kodua 2009). Le più recenti ricerche hanno determinato un'evoluzione della modellazione di costo generativa o analitica applicando tecniche di modellazione e decomposizione aziendali ai processi produttivi (Agyapong-Kodua et al., 2007, Agyapong-Kodua 2009). Si prevede un'analisi dettagliata dei processi di produzione basati su ben strutturati formalismi di scomposizione dei processi definito come parte di un approccio CIMOSA di modellazione aziendale (Weston 1999 Agyapong-Kodua 2009 CEN / ISO 19440). I processi sono ridotti a un 'livello elementare di attività' e i costi e valori vengono assegnati a ciascuna attività per determinare il costo elementare. Il costo sarà collegato al consumo di risorse per ogni attività dipende dalla risorsa consumata. Così l'impiego del lavoro e delle macchine, le quantità di materiali e i prezzi sono utilizzati per determinare il reale costo diretto l'attività di realizzazione.

Le caratteristiche comuni di modelli di costo generativo-analitici sono (Curran et al 2004, Caputo e Pelagagge 2008 Agyapong-Kodua 2009) le seguenti:

1. L'analisi viene eseguita a un livello dettagliato della WBS;
2. Viene stimato il costo per le attività di base come la progettazione di ingegneria, gli utensili, la fabbricazione di parti, ingegneria di produzione e controllo di qualità;
3. Il costo dei materiali è stimato o ottenuto dal fornitore;
4. L'approccio richiede dati dettagliati e precisi e deve essere effettuata da un tecnico esperto.

La modellazione dei costi generativa-analitica produce la stima dei costi più accurata perché la tecnica è in grado di descrivere gli effettivi processi produttivi (Caputo e Pelagagge 2008).

Metodi basati sui costi effettivi

I metodi basati sui costi effettivi prevedono un collegamento tra il costo del prodotto e le sue caratteristiche progettuali.

La stima in base ai costi effettivi è, essenzialmente, un'estrapolazione del costo attuale del programma. In altre parole, le tendenze attuali dei costi contrattuali vengono utilizzate per stimare il costo finale del sistema. I dati sui costi sono interni all'attuale sistema in costruzione, che non è la stessa cosa dei dati storici "effettivi".

La tecnica di utilizzo dei dati sui costi effettivi (o di estrapolazione dei costi futuri dai costi effettivi) si basa su dati provenienti da unità, prototipi o lotti di produzione precedenti/precedenti dello stesso sistema (non un sistema simile, come nel metodo dell'analogia). Il metodo del costo effettivo è probabilmente il metodo di stima dei costi più accurato quando i dati sono disponibili.

Sulla base di tali caratteristiche è possibile individuare dei driver collegati alle funzionalità dei prodotti e utilizzarli come base per la stima del costo del prodotto.

2.1.2 Metodi di analisi e gestione dei costi

"Contabilità gestionale" è una locuzione che si riferisce all'utilizzo delle informazioni contabili per fornire al management capacità decisionali. Invece di una visione puramente storica della contabilità in cui solo la spesa passata è classificata in intervalli definiti dai GAAP (principi contabili generalmente accettati), l'obiettivo della contabilità gestionale è anche quello di fornire maggiori informazioni su dove il denaro è stato e sarà speso e dove potrebbe ha senso apportare modifiche in futuro.

Come suggerisce il nome, la contabilità dei costi è una pratica contabile che prevede la creazione di un sistema per tenere traccia dei costi nel momento in cui si verificano. Tuttavia, questa pratica è più complessa della semplice gestione del registro di un'azienda, poiché indaga i costi in modo più accurato e li collega a determinate aree o dipartimenti all'interno di un'azienda. Anche se alcuni sostengono che questo strumento aiuta a ridurre i costi perché offre una migliore visibilità su dove si verificano i costi, non si tratta di uno strumento di modellazione dei costi, perché potrebbe non essere necessario progettare prodotti con obiettivi di costo specifici. È più uno strumento contabile che consente di monitorare e indirizzare le spese.

I principali metodi di analisi e di configurazione dei costi riferiti a oggetti di calcolo prescelti, viene tradizionalmente scelto fra le seguenti alternative:

- Full costing
- Centri di costo
- Activity Based Costing
- Time driven ABC
- Throughput accounting
- Target costing
- Throughput Time based costing
- Lead time based costing
- Life Cycle costing
- Total Cost of Ownership
- Overhead Value Analysis
- Kaizen Costing
- Balanced Scorecard
- Supply Chain Management Accounting
- Strategic Management Accounting
- Customer Accounting Profitability
- Responsibility accounting

Appare evidente come l’ampiezza dello spettro di applicazione renda critica la scelta del metodo di analisi dei costi, non dovendosi ricercare il metodo migliore in assoluto, ma il metodo più adatto alla situazione e agli obiettivi da perseguire. Infatti, ciascun metodo risponde in modo più efficace rispetto agli altri a differenti fabbisogni informativi, soprattutto in relazione:

1. alla coerenza con la strategia competitiva dell’impresa, poiché attraverso la configurazione prescelta si può influenzare il comportamento direzionale (decisioni e conseguenti azioni);
2. alla coerenza con lo stile di gestione. Si pensi a modelli gestionali basati sulla “trasparenza” e la “chiarezza” vs modelli gestionali che privilegiano la “riservatezza”, nascondendo aspetti gestionali ritenuti critici;
3. alla coerenza con l’impostazione generale della contabilità direzionale (management accounting) in tutti i suoi strumenti caratterizzanti, dal budget al sistema di reporting e all’analisi degli scostamenti. La “filosofia” prescelta condiziona il reddito di esercizio evidenziato nei budget e nei consuntivi (si pensi al problema della valutazione delle rimanenze quando questa avvenga al costo) e le possibili cause evidenziate dall’analisi degli scostamenti.

Peraltro, l’affermarsi di modelli decentrati di governo delle imprese ha reso ulteriormente critica la rilevazione e l’analisi dei valori derivanti dalla gestione, nella misura in cui alla valenza semantica di questi si è aggiunta una loro rilevante valenza pragmatica (Mason e Swanson, 1979). In sostanza, alla rappresentazione e all’analisi dei fenomeni aziendali nei loro aspetti monetari (valenza semantica) si affianca la finalità di orientamento dei comportamenti manageriali e del governo delle condizioni di impiego dei fattori produttivi (valenza pragmatica) (Beretta, 1996).

Di seguito si descrivono brevemente i modelli di analisi e gestione dei costi più diffusi in letteratura.

Full costing

Il full costing è il metodo tradizionalmente utilizzato in contabilità analitica per la determinazione del costo di specifici “oggetti di calcolo”, definibili come unità (es. un reparto, una divisione, un prodotto ecc.) delle quali si desidera misurare il costo (Horngren, Foster e Datar, 2009).

Tale metodo consente di pervenire al c.d. “costo pieno” dell’oggetto posto a base delle determinazioni, mediante la progressiva aggregazione di tutti i costi, diretti e indiretti a esso riferibili. Esso si ispira al c.d. principio dell’assorbimento integrale dei costi, secondo il quale il costo di tutti i fattori impiegati deve concorrere alla determinazione del costo totale dell’oggetto di calcolo (Cinquini, 2008). In altri termini, il costo di un determinato oggetto deve esprimere la globalità dei fattori impiegati per il suo ottenimento.

Il principio dell’assorbimento integrale dei costi pone il problema dell’allocazione dei costi, più precisamente dei costi comuni e dei costi speciali non economicamente attribuibili in modo diretto, e quindi dell’individuazione di idonee basi di riparto.

Esistono due grandi categorie di sistemi di calcolo *full costing*: a base unica e a base multipla.

Nel *full costing* a base unica viene individuata un’unica base di riparto per l’imputazione di tutti i costi indiretti, sia di produzione che di struttura, ossia i costi generali. La scelta di una base unica si giustifica con la necessità di limitare la proliferazione dei coefficienti di imputazione e con l’impossibilità di individuare tutte le basi di ripartizione necessarie al calcolo. Questo metodo può trovare applicazione in realtà aziendali con processi produttivi semplici, dove la quota di costi indiretti sul totale non è elevata.

Il metodo di imputazione dei costi indiretti su base multipla prevede l’utilizzo di basi di imputazione diverse a seconda delle categorie di costi indiretti da attribuire al relativo oggetto di costo. L’utilizzo di questo metodo richiede un’accurata analisi dei costi indiretti volta a identificare dei raggruppamenti omogenei di costi (*cost pool*) da porre in relazione con i determinanti più idonei. Ciascun *cost pool* avrà un proprio coefficiente di imputazione, in grado di rifletterne il livello di assorbimento di utilità.

L’adozione di una pluralità di basi di imputazione si giustifica considerando che nelle imprese diversificate le varie produzioni utilizzano le risorse in modo differenziato.

Le finalità fondamentali della logica del *full costing* sono le seguenti (Agliati, 2004):

1. la determinazione dei costi di prodotto, che può rispondere a esigenze conoscitive diverse sia in relazione ai rapporti con il mercato (si pensi alle decisioni circa il prezzo di vendita) sia riguardo a dinamiche gestionali interne o di *reporting* verso terzi (come la valutazione delle rimanenze di prodotti finiti o semilavorati);
2. il controllo dei costi, teso a monitorare l’impiego delle risorse nei processi produttivi e focalizzato sull’articolazione della struttura aziendale in unità operative o attività, rispetto alle quali si individuano specifiche responsabilità organizzative e che rappresentano comunque dimensioni intermedie rispetto al calcolo dei costi di prodotto;
3. il supporto ai processi decisionali, che sconta l’imprevedibilità delle esigenze decisionali, spesso dovute alla varietà delle possibili fattispecie su cui le decisioni stesse devono essere prese. Tale finalità può essere perseguita mediante la predisposizione di una base di informazioni sufficientemente analitica a disposizione del management.

La contabilità dei costi tradizionale predilige basi di imputazioni volumetriche correlate, cioè, al volume di *output* (per esempio, le ore di manodopera diretta e/o le ore macchina). La variabilità di queste basi è a sua volta correlata alle unità di *output* realizzate in un determinato periodo. Questa logica presuppone che i costi indiretti siano originati dai prodotti allestiti in grandi quantità o che richiedono un elevato numero di ore di manodopera diretta.

Centri di costo

Il modello della contabilità per centri di costo esprime uno stretto legame con le unità organizzative aziendali e, pertanto, costituisce un sistema di calcolo dei costi ispirato al c.d. criterio funzionale. Quando coincidono con unità organizzative, i centri di costo sono annoverabili tra i centri di responsabilità e quindi si prestano a essere impiegati, oltre che per il calcolo del costo dei prodotti, anche come strumenti di valutazione dei risultati del management.

La preventiva attribuzione dei costi ai centri prima di giungere al calcolo del costo di prodotto consente di dare corretto rilievo all’impiego di risorse e capacità produttive così come si configurano nei processi di produzione. Di fatto, le singole fasi del processo possono avere un costo differente in funzione del tipo di risorse impegnate e delle modalità del loro utilizzo e prodotti diversi possono impegnare in vario modo la struttura e quindi assorbire differentemente le risorse (Agliati, 2004).

In termini generali, l’adozione di una contabilità per centri di costo persegue tre finalità preminenti:

- a) il controllo dei costi e dell'efficienza;
- b) una più corretta imputazione dei costi ai prodotti;
- c) un efficace supporto alle decisioni.

Activity Based Costing

Il metodo dell'ABC consente di fronteggiare le problematiche gestionali legate da un lato all'introduzione di nuove tecnologie che hanno comportato un'incidenza crescente dei costi indiretti di produzione (Askarany, Smith, Yazdifar, 2007), dall'altro dalla crescente enfasi sulla differenziazione dei prodotti che genera una notevole quantità di attività non strettamente produttive che sono fonti di complessità e di costi.

Il principio fondamentale che è alla base del sistema ABC rispecchia, in effetti, i processi aziendali, nei quali le risorse vanno primariamente considerate come consumate nello svolgimento delle attività; sono pertanto queste ultime i fondamentali oggetti di costo da considerare. A loro volta queste forniscono i servizi per la realizzazione dei prodotti e di altri output misurabili.

I costi dei fattori produttivi generali (stipendi degli impiegati, assicurazioni, costi di amministrazione, fitti, manutenzioni, ecc.) sono assegnati alle attività sulla base di *resource driver* (driver delle risorse), ossia in funzione di elementi che esprimono l'assorbimento di risorse da parte delle attività svolte.

I costi attribuiti alle attività (*activity cost pool*) vengono assegnati agli oggetti di costo sulla base di *activity driver* (driver delle attività), ossia in funzione di elementi che esprimono il “consumo” di attività da parte degli oggetti di costo.

I principali fattori che hanno limitato la diffusione dell'ABC sono i costi di implementazione unitamente alla difficoltà di aggiornare il modello in presenza di processi produttivi e organizzativi che mutano nel tempo e che, quindi, determinano un elevato grado di complessità. Inoltre, la necessità di acquisire i dati mediante interviste presenta diversi inconvenienti, quali l'ottenimento di percentuali poco rappresentative del tempo effettivamente dedicato dal personale alle varie attività e la mancata evidenza della capacità produttiva inutilizzata del personale.

Time driven ABC

Il *Time-Driven Activity-Based Costing* (TDABC), assegna i costi delle risorse al proprio oggetto attraverso la stima di due parametri:

- la capacità produttiva di un dipartimento o di un processo;
- il tempo necessario per eseguire un'attività.

Ciò rende più efficiente il processo di valorizzazione dei costi, in quanto elimina la necessità di fare continue interviste ai lavoratori e di individuare *driver* specifici per imputare i costi delle risorse alle

attività. Inoltre, consente di gestire la complessità del sistema azienda più efficacemente rispetto ai modelli tradizionali.

Da un punto di vista operativo, dopo aver determinato il quoziente del costo di utilizzo totale, ottenuto dal rapporto tra il costo delle risorse preposte a un determinato impiego e il tempo effettivamente messo a disposizione da tali risorse (disponibilità netta), questo si utilizza per assegnare il costo delle risorse agli oggetti di costo, facendo riferimento alla domanda di capacità di risorse, in termini di tempo, di ciascun oggetto di analisi.

La scelta del tempo come principale *cost driver* è dettata dal fatto che la capacità della maggior parte delle risorse impiegate nei processi produttivi, dalla forza lavoro alle attrezzature, può essere agevolmente misurata in base alla quantità di tempo in cui sono impiegate nel processo.

Come fanno notare alcuni autori, però, benché la capacità della maggior parte delle risorse sia misurata in termini di tempo, un ulteriore vantaggio di questo approccio è rappresentato dal fatto che può riconoscere anche risorse la cui capacità è misurabile mediante unità differenti, come lo spazio o la capacità di archiviazione (Iuliano, 2012).

Throughput accounting

Il *throughput accounting* è un metodo di *accounting* ispirato dalla teoria dei vincoli (*theory of constraints*, d’ora in poi TOC) formulata da Goldratt nella metà degli anni ottanta, la quale si inserisce nell’ambito delle nuove coordinate concettuali definite dalla diffusione dei sistemi di produzione *just in time*, che costituiscono un paradigma di produzione incentrato sull’obiettivo della riduzione degli sprechi e focalizzato sull’ottimizzazione della gestione del fattore tempo, in modo da assicurare al sistema produttivo la velocità necessaria per sincronizzarlo con il mercato.

Nell’aspetto economico-finanziario la velocizzazione delle operazioni ha come obiettivo ultimo quello della riduzione del tempo di conversione delle risorse impiegate in ricavi di vendita, ovvero del ciclo di riconversione dei fattori produttivi.

Alla base della TOC vi è l’assunzione che l’obiettivo principale della gestione consiste nello sviluppo della capacità di generare margini dai ricavi, e per tale via, flussi monetari in entrata. Tuttavia, la presenza di vincoli legati ad aspetti interni o esterni all’azienda ostacola il perseguimento di tale obiettivo e quindi comprime le potenzialità espansive dell’*output* e dei ricavi.

Il *throughput accounting* costituisce lo sviluppo dell’analisi economica a partire dalla teoria dei vincoli (Vettor, 2008). Esso prende in considerazione tre grandezze:

- *Throughput* (T): il ritmo con cui l’azienda genera denaro attraverso le vendite; è definito come differenza tra ricavi di vendita e costo dei materiali diretti. Esso rappresenta un particolare margine di contribuzione:

$$\text{Throughput} = \text{ricavi di vendita} - \text{costo dei materiali diretti}$$

- *Operating Expense* (OE, spese operative): il denaro speso in un periodo per trasformare materiali diretti e componenti T; vi sono compresi tutti i costi a cui corrisponde un esborso monetario. La differenza tra le due grandezze descritte porta al *cash profit* definito come segue:

$$\text{cash profit} = T - OE$$

- *Inventory* (I, Investimenti in rimanenza). Il concetto di Inventory è qui inteso in senso esteso e comprende tutti gli investimenti aziendali; esso consente la misurazione della redditività degli investimenti secondo la seguente formula:

$$\text{redditività degli investimenti} = (T - OE)/I$$

L’indicazione risultante da tali parametri economico-finanziari è che a qualsiasi livello operativo una decisione che incrementa il *throughput* e riduce gli investimenti in rimanenza e/o la spesa operativa spingerà l’azienda verso l’obiettivo.

Throughput Time Based Costing

Il *throughput time-based costing* (TTBC) considera il tempo di attraversamento come un *driver* di costo che sintetizza in sé alcuni caratteri del processo produttivo che sono all’origine dell’assorbimento di costi da parte del prodotto; in questa logica esso può essere impiegato per determinare le quote di imputazione dei costi indiretti di produzione al prodotto.

Al tempo di attraversamento il TTBC associa il prezzo di vendita presunto del prodotto e il volume di produzione per determinare il valore totale del *throughput* (VTT) che impiega come base unica di riparto dei costi indiretti secondo la logica del *full costing*.

Il VTT è calcolato come sommatoria, relativa ai diversi beni realizzati, del prodotto dei tre elementi menzionati:

$$\text{VTT} = \Sigma (\text{volume di produzione} \times \text{prezzo} \times \text{tempo di attraversamento})$$

Il *throughput time-based costing*, inserendo tra le variabili il prezzo di cessione dei prodotti, incorpora una scelta di ponderazione tra la logica di riparto dei costi comuni “causale” e di “copertura”.

Target costing

Il *target costing* è un metodo di pianificazione del profitto e gestione dei costi guidato dal prezzo, che è utilizzato in fase di progettazione di nuovi prodotti. Il *target costing* gestisce i costi nelle fasi iniziali dello sviluppo del prodotto e si applica lungo il suo ciclo di vita, coinvolgendo attivamente l’intera catena

del valore (CAM-I *Target Cost Core Group*). In particolare, rappresenta il processo interfunzionale di pianificazione dei margini e di gestione dei costi, guidato dal prezzo definito con logiche di mercato e focalizzato sulla ricerca preventiva della soddisfazione delle aspettative del cliente.

Il fine ultimo del *target costing* consiste nella definizione e nel perseguimento di un determinato livello di costo obiettivo, (*target cost*), che misura l'importo massimo sostenibile per realizzare un prodotto. Questo obiettivo viene fissato in modo da consentire il raggiungimento di uno specifico risultato competitivo ed economico programmato dal management. Il *target cost*, quindi, viene a configurarsi come obiettivo di costo definito da molteplici variabili: dagli attributi del prodotto richiesti dal cliente, dal prezzo che il cliente è disposto a pagare, dal posizionamento competitivo che l'azienda desidera conseguire, dal livello di redditività che l'azienda desidera ottenere, dai recuperi di efficienza da attuare lungo tutto il ciclo di vita del prodotto.

- In queste situazioni, il valore che il consumatore attribuisce al prodotto/servizio, pari al prezzo che è disposto a pagare, diventa per l'impresa un vincolo. Stante la profittabilità minima richiesta dal soggetto economico, anche il costo totale diventa un vincolo.
- Le fasi di progettazione e ingegnerizzazione assumono un ruolo importante, in quanto impegnano e determinano la maggior parte dei costi futuri di produzione e distribuzione.

Il *target costing* prevede procedure che sistematicamente determinano figure di costo per il conseguimento di margini prefigurati. Esso presenta diversi vantaggi:

- contribuisce alla riduzione dei costi di prodotto e di processo in modo pervasivo, poiché si applica fin dalla progettazione del prodotto/processo;
- aiuta a superare i vincoli produttivi (*constraints*);
- ha valore strategico: è in grado di migliorare le performance in quanto gestisce strategicamente i costi di sviluppo, produzione e smantellamento del nuovo bene/servizio, sulla base delle specifiche di prodotto e processo;
- include aspetti di mercato (prestazioni richieste dai clienti e valore percepito del prodotto);
- aumenta la competitività;
- aumenta il livello di fiducia con i fornitori, i quali sono liberi di definire l'obiettivo di costo di ogni componente;
- i processi di sviluppo del nuovo prodotto rafforzano la rete inter-organizzativa tra la casa madre e i fornitori.

Lead time based costing

Il *Lead Time-Based Costing* (LTBC) utilizza come base unica esclusivamente *lead time* di produzione e impiega un coefficiente di allocazione computato come rapporto tra il totale dei costi indiretti di produzione ed il totale dei *lead time* di produzione dei diversi beni realizzati.

Il costo unitario risulta pertanto dalla seguente formula:

$$\text{costo unitario di produzione} = \text{costo dei materiali} + \text{costo di trasformazione}$$

$$\text{costo di trasformazione} = \text{lead time di produzione} \times \text{coefficiente di costo orario}$$

$$\text{Coefficiente di costo orario} = \text{Totale costi indiretti di produzione} / \Sigma \text{Lead time di produzione}$$

Il *Lead Time-Based Costing*, assumendo il fattore tempo come unica determinante significativa, impiega unicamente a logica causale.

Life Cycle Costing

Nella logica del *Life Cycle Costing*, il calcolo dei costi basato sul ciclo di vita consiste nella stima dei costi connessi alla ideazione, progettazione, industrializzazione e produzione di un nuovo prodotto e nell'analisi dell'andamento di tali costi lungo l'intero ciclo di vita (fino alla sua eliminazione). Le tipologie di costo da includere nel calcolo possono estendersi dai soli costi sostenuti dal produttore fino a considerare quelli del cliente finale del prodotto.

Il metodo del *Life Cycle Costing* può essere impiegato secondo due prospettive di analisi: una connessa allo sviluppo di nuovi prodotti, l'altra alla valutazione strategica degli investimenti. Secondo la prima prospettiva, il metodo si pone l'obiettivo di individuare le leve su cui agire per una minimizzazione dei costi durante l'intero ciclo di vita, leve che risultano differenziate a seconda della fase in cui il prodotto si trova. In relazione alla valutazione strategica degli investimenti il ciclo di vita è considerato nel seguire i benefici economici e i costi dei progetti alternativi a impatto pluriennale (Pitzalis, 2009). A tal proposito il metodo del *Life Cycle Costing* (LCC) consente di analizzare diverse alternative di investimento, al fine di individuare, a parità di ricavi potenziali, la soluzione a cui è associato il minor costo, ottenuto attualizzando tutti i costi legati alle diverse fasi del ciclo di vita.

L'analisi dei costi nella fase del possesso e impiego del prodotto può risultare importante per decisioni sulle azioni da intraprendere, soprattutto in sede progettuale, per la massimizzazione del profitto globale. Una contrazione dei costi nel consumo per il cliente può riflettersi in benefici tangibili e intangibili per l'azienda produttrice.

Una volta definita l'estensione del ciclo di vita del prodotto che interessa e identificati e misurati i costi delle varie fasi, una loro analisi è importante per definire le relazioni tra i costi di una fase e quelli delle fasi a monte e valle. Le decisioni in fase di pianificazione e progettazione tendono a ripercuotersi in maggiori o minori costi nelle fasi successive; pertanto, concentrando l'attenzione su queste prime fasi si è in grado di prevenire e orientare l'andamento dei costi nelle fasi successive.

Total Cost of Ownership

Il Total Cost o Ownership (TCO) è finalizzato alla determinazione del costo complessivo di acquisto, possesso e utilizzo di un particolare prodotto. Tale metodo, che riconosce che il prezzo di acquisto di un prodotto è solo una minima parte del costo complessivo di acquisto e possesso, può applicarsi sia nei processi di approvvigionamento riferiti a prodotti a fecondità semplice sia a investimenti in elementi patrimoniali durevoli.

Il TCO porta a una configurazione di costo più ampia rispetto al LCC, poiché comprende anche i costi che l'acquirente deve sostenere prima dell'acquisto. Inoltre, il LCC fa riferimento ai soli costi monetari mentre il TCO si estende ai costi associati alla scarsa qualità del prodotto, delle spedizioni, del rispetto degli ordinativi e a tutti i costi opportunità derivanti da tale ridotto livello qualitativo.

Il TCO può essere analizzato da due punti di vista:

- dal punto di vista del produttore o del venditore;
- dal punto di vista dell'acquirente.

Nel primo caso esso può essere utilizzato per confrontare il costo del proprio prodotto con quelli della concorrenza oppure come leva di marketing per attrarre i clienti.

Nel secondo caso il metodo ha tre livelli di applicazione: livello operativo, livello tattico e livello strategico. A livello operativo il metodo può essere applicato per monitorare, valutare e selezionare i fornitori. A livello tattico, agendo sui driver, che possono essere interni o esterni all'azienda, è possibile ridurre il costo totale di possesso di uno specifico prodotto e cercare di indirizzare le decisioni di acquisto sulla base delle proprie necessità. A livello strategico il TCO può essere utile nel supportare decisioni di outsourcing, nella gestione della supply chain e per guidare i principali processi di cambiamento.

Overhead Value Analysis

La Overhead Value Analysis (OVA) affronta il problema degli overhead rilevando e quantificando i flussi che si determinano nella fornitura dei prodotti o servizi finali ad altre componenti dell'organizzazione. Il processo di OVA si propone dunque di conseguire, per ciascuna attività esaminata, l'ottimizzazione del rapporto funzione/costo, attraverso il coinvolgimento diretto di fornitori e utenti nel processo di analisi (Peronace, 1979).

In altri termini, la OVA mira a ridurre i costi delle attività di supporto facendo lavorare insieme gli utenti e i fornitori per identificare economie, soppesare costi e benefici, e identificare opzioni e rischi.

Dal punto di vista operativo essa opera mediante interventi:

- di eliminazione di attività,
- di differimento di attività;
- di sostituzione con altre attività;
- di riduzione dei livelli quantitativi e qualitativi dei servizi erogati.

Kaizen Costing

Il Kaizen costing è un processo di riduzione continua dei costi, che viene applicato a valle della progettazione del prodotto, quando questo è in produzione. Esso opera mediante una serie di interventi marginali che singolarmente hanno un impatto limitato, ma che nel complesso possono produrre effetti notevoli: si pensi ad azioni sui fornitori volte alla riduzione dei costi nei loro processi, o all'implementazione di riprogettazioni del prodotto per renderlo meno costoso. Ulteriori leve da utilizzare per la riduzione dei costi possono essere le seguenti:

- eliminazione di ritardi e sprechi;
- eliminazione dei “colli di bottiglia”;
- eliminazione delle attività prive di valore aggiunto;
- incremento del rendimento degli impianti e macchinari;
- corsi di formazione del personale;
- incentivazione del personale alla ricerca di interventi che razionalizzino i costi e ottimizzino la qualità.

Queste azioni consentono di ridurre i prezzi dei prodotti per fronteggiare la crescita della concorrenza nel corso della vita del prodotto stesso.

Dal punto di vista organizzativo il Kaizen Costing consente un notevole coinvolgimento dei dipendenti e permette di ottenere miglioramenti di efficienza senza richiedere ingenti investimenti in immobilizzazioni, consentendo di contenere il rischio operativo aziendale.

Balanced Scorecard

La Balanced Scorecard è una metodologia che deve essere inquadrata all'interno della più ampia struttura del sistema di misurazione delle performance complessive. Simons (2000) spiega che la BSC deve essere considerata come complementare ad altri metodi e non come sostituto.

La BSC costituisce un approccio completo al tema delle performance organizzative, dal momento che considera, accanto agli azionisti anche un più vasto gruppo di stakeholder. Kaplan e Norton (2001) mettono in evidenza come spesso i manager focalizzino la loro attenzione su un singolo indicatore economico-finanziario, privilegiando un’ottica di breve periodo, fattore che potrebbe minare la capacità dell’azienda di investire in risorse essenziali per la crescita di lungo periodo. Pertanto, i manager hanno bisogno di sistemi di misurazione delle performance che mantengano un buon equilibrio tra la valutazione dei risultati passati e quella delle performance future. La BSC si basa sul presupposto che la performance deve essere analizzata da quattro diverse prospettive: economico-finanziaria; clienti; processi interni; apprendimento e crescita. (Bhimani et al., 2008)

Supply Chain Management Accounting

Uno degli aspetti fondamentali per la buona gestione della *supply chain* è legato ai flussi informativi scambiati tra gli attori della catena di fornitura. Lo scambio inter-organizzativo di informazioni, infatti, consente a ogni membro della *supply chain* di comprendere qual è l’influenza delle proprie azioni sugli altri membri e di coordinare così le proprie attività con quelle a esse correlate – che spesso si trovano sotto la responsabilità di altri attori – in modo da far scorrere più fluidamente il flusso di risorse (materie prime, semilavorati, prodotti finiti, capitale) lungo tutta la *supply chain*. (Bhimani et al., 2008)

La condivisione delle informazioni economico-finanziarie prevista dal Supply Chain Management Accounting hanno le seguenti finalità:

- *creazione di valore*: le imprese scambiano informazioni economico-finanziarie per pianificare e prendere decisioni e, in particolare, per esprimere un giudizio economico sulle strategie, gli investimenti e le operazioni correnti (Tomkins, 2001; Dekker, 2003; Amigoni et al., 2003);
- *appropriazione del valore*: le imprese coinvolte in una partnership vogliono salvaguardare i loro interessi contro gli eventuali comportamenti opportunistici degli altri attori e, a tal fine, hanno bisogno di informazioni economico-finanziarie relative ai costi e ai risultati delle attività svolte dagli altri attori della catena (Dekker, 2003).

Strategic Management Accounting

Lo Strategic Management Accounting (SMA) identifica i collegamenti, sempre più critici per le aziende, tra il concetto di cost management e le problematiche strategiche. Esso ha l’obiettivo di fornire informazioni a supporto dei processi decisionali, con un’enfasi sui fattori esterni all’impresa e una prospettiva temporale orientata al futuro. Il focus è rappresentato, quindi, dall’influenza sulla strategia di fattori quali i livelli e le tendenze di costi e prezzi, i volumi di vendita, le quote di mercato, il cash flow e le risorse richieste dall’azienda per operare in maniera efficiente ed efficace.

L'idea di base dello SMA è che le informazioni influiscono sulla strategia ma a sua volta questa influisce sulle modalità di produzione, comunicazione e utilizzo delle informazioni stesse. (Bhimani et al., 2008)

Customer Accounting Profitability

La Customer Accounting Profitability (CAP) fornisce informazioni sulla redditività dei clienti sia singolarmente che in raggruppamenti. La CAP può anche fornire informazioni sulla redditività di vari canali distributivi. (Bhimani et al., 2008)

Responsibility accounting

Il Responsibility Accounting ha lo scopo di misurare le performance dei centri di responsabilità, definibili come parti dell'organizzazione il cui manager abbia il controllo e sia responsabile, in termini di efficacia ed efficienza, di alcune leve decisionali quali costi, ricavi o investimenti, in grado di influenzare i risultati. Il controllo di tali leve attraverso strumenti di management accounting consente di valutare l'azione manageriale e a indirizzarla verso il perseguimento degli obiettivi strategici dell'impresa.

2.2 Limiti dei modelli di management accounting tradizionali

Le tecniche tradizionali di analisi dei costi, pur essendo largamente consolidate, hanno una portata limitata e sono particolarmente deboli dal punto di vista olistico e dell'integrazione. Essi vengono applicati spesso in modo isolato e considerano il costo in maniera frammentaria. Spesso, infatti, l'obiettivo è l'individuazione specifica del costo di un prodotto, sottoprodotto, dominio aziendale, fase del ciclo di vita o la valutazione di una decisione di investimento. Inoltre, il costo è normalmente considerato in modo isolato da altre metriche, al di fuori di un approccio integrato, facendo riferimento alle diverse funzioni aziendali, con particolare concentrazione sull'esposizione dei risultati al management, e trascurando campi di interesse trasversali, caratterizzati da maggiore ampiezza. Inoltre, i sistemi tradizionali spesso trascurano l'analisi del comportamento dei costi in termini di “causa-effetto”, anche in relazione alle decisioni di cambiamento.

La maggior parte dei metodi di analisi dei costi presuppongono sistemi di produzione con un flusso unico e sottovalutano le implicazioni di flussi multipli, la condivisione delle risorse, i mix di prodotto, le rielaborazioni e altri problemi che si verificano nel processo di produzione. La rilevazione di una molteplicità di attributi del processo è, invece, necessaria perché le imprese manifatturiere sono caratterizzate da complessi sistemi, che necessitano di adeguati sistemi di controllo delle risorse tecniche e umane, al fine di consentire la realizzazione di una sempre maggiore varietà di prodotti in periodi di tempo variabili e vieppiù ridotti.

Gli approcci tradizionali di cost accounting, si rivelano inadeguati perché la maggior parte delle tecniche di modellazione dei costi non codificano dipendenze temporali relative ai flussi di prodotto, controlli, istanti di processo ed effetti legati al tempo con un nesso di causalità. Questo implica che l'analisi dei flussi alternativi di prodotto (volume e mix) attraverso un processo condiviso non può essere accuratamente modellata.

L'enorme evoluzione subita dai metodi di produzione evidenzia i limiti dei metodi di cost accounting tradizionali, poco adatti agli ambienti di produzione dinamici. Tradizionalmente, infatti, i metodi di controllo hanno avuto uno sviluppo simbiotico con i modelli di coordinamento fondati sulla gerarchia. Tali metodi sono stati concepiti, infatti, per essere applicati a organizzazioni, anche molto complesse, ma caratterizzate da linee di comando verticali, esercitate nell'ambito di una precisa gerarchia nella quale i soggetti esercitano il loro potere decisionale. Inoltre, i metodi di controllo tradizionali si fondano sul presupposto di una “visione obiettivo”, secondo l'impostazione tipica dei meccanismi di coordinamento fondati sulla pianificazione. Tale approccio può essere efficace se, una volta affermatosi un orientamento strategico comune, il sistema degli obiettivi è definito con chiarezza, in termini di contenuti, tempi, articolazione spaziale e temporale, parametri di riferimento, come risultato di un processo negoziale accentrato, governato da un determinato soggetto economico.

2.3 Evoluzione del management accounting e dei sistemi di controllo

Il progressivo e continuo cambiamento degli scenari economici, la globalizzazione dei mercati, l'aumento della concorrenza, i progressi nelle tecnologie hanno determinato, già da tempi non recenti, una spinta verso l'innovazione della contabilità (Burns et al, 1999; Russell et al, 1999; Moores, Sharma, 1998). In particolare, come si è evidenziato nell'analisi dei limiti dei tradizionali metodi di cost accounting, l'evoluzione tecnologica dei processi richiede nuovi e diversi metodi per l'individuazione di parametri economico-finanziari e indicatori sui quali basare le decisioni del management.

Già nel 1987, Johnson e Kaplan, sulla spinta dei cambiamenti nei metodi di gestione che si erano verificati in quegli anni, evidenziarono il problema dell'inefficacia della contabilità di gestione così come era stata intesa fino ad allora. La presa di coscienza di tale problema ha portato alla creazione di più moderne metodologie di analisi dei costi come ABC, Target Costing, Quality costing, Kaizen costing, Total Cost of Ownership, Environmental costing, Target costing, Life Cycle costing, Total Cost of Ownership, Throughput Time Based Costing, Lead Time Based Costing, ecc., tuttora applicate e studiate dalla dottrina. Poco più tardi, nel 1989, Bromwich e Bhimani intravidero la necessità per le organizzazioni di una contabilità che potesse essere di supporto alle decisioni strategiche poiché, per il raggiungimento dei

loro obiettivi, le organizzazioni dovevano sviluppare strategie che armonizzassero le loro risorse interne con le opportunità da cogliere nell’ambiente competitivo.

In generale, la ricerca scientifica nel management accounting ha progressivamente ampliato lo spettro di osservazione (Zarowin, 1997) in una direzione inter-funzionale. In tal senso le misurazioni che riguardano la gestione della performance (es. lo sviluppo di indicatori chiave finanziari e non finanziari); la gestione delle risorse (es. gestione di un prodotto attraverso tutto il suo ciclo di vita); il controllo aziendale (es. governance aziendale); la gestione ambientale (es. contabilità per l’ambiente); la gestione finanziaria (es. gestione basata sulle attività); la gestione del capitale intellettuale (es. misurazione e gestione della soddisfazione dei lavoratori); la gestione delle informazioni (es. implementazione e generazione di valore dai *web analytics*); la gestione della qualità (es. implementazione del TQM all’interno di un’organizzazione e gestione dei miglioramenti della qualità); la gestione strategica (es. analisi della catena del valore per valutare il vantaggio competitivo). L’enfasi posta su ciascuna di queste aree dipende da fattori organizzativi individuali come dimensioni, settore industriale ed esigenze aziendali individuali.

Cokins (2013) evidenzia sette tendenze evolutive del management accounting:

1. espansione dall’analisi della redditività del prodotto ad aspetti di marketing e relazionali;
2. ampliamento del management accounting con strumenti tipici del Enterprise Performance Management (EPM);
3. reporting in tempo reale predittivo;
4. business analytics incorporate nei metodi EPM;
5. integrazione e miglioramento dei metodi di management accounting;
6. pervasività delle tecnologie dell’informazione e dei servizi cloud;
7. sviluppo di metodi di gestione dei costi comportamentali.

In sintesi, il management accounting sta ampliando il suo campo dal reporting finanziario convenzionale fino alla misurazione della performance e al supporto del processo decisionale strategico, individuando nuovi driver di misurazione sia interne sia esterne. Nuovi e rivoluzionari parametri e approcci non finanziari sono stati aggiunti alle funzioni di contabilità di gestione (Silvi et al., 2010).

A partire dalla prima metà degli anni Novanta, l’area del controllo di gestione si è contraddistinta per una copiosa produzione di modelli, strumenti e tecniche finalizzate, da una parte, a superare alcuni gap di misurazione e, dall’altra, a stimolare comportamenti manageriali proattivi. Fra le proposte più organiche vi sono quelle attinenti la misurazione multidimensionale della performance, incentrate su oggetti e variabili strategiche non sempre catturabili tempestivamente ed efficacemente dalle misure contabili. Queste ultime infatti hanno spesso una manifestazione “ritardata” degli effetti delle decisioni o delle

dinamiche competitive e non descrivono il modo in cui le imprese intendono generare valore. Nei contesti complessi e competitivi rendono pertanto meno efficace la gestione dei *feed-back* e non favoriscono atteggiamenti proficui.

Tali modelli di misurazione multidimensionale (tra i primi la Balanced Scorecard) consentono di superare i limiti degli strumenti contabili per il controllo, prendendo in considerazione e integrando una pluralità di oggetti e soggetti di analisi anche al di fuori dei confini organizzativi dell'impresa, come concorrenza, *best practices*, fornitori e clienti (Silvi et al., 2011).

2.4 Predictive accounting

Nella prospettiva evolutiva descritta nel paragrafo precedente, i *business performance analytics* (BPA) sono in grado di integrare il sistema di controllo aziendale soddisfacendo una molteplicità di esigenze. Con riferimento al framework di Simons (1995), si pensi al loro potenziale utilizzo nel controllo dei rischi, in quello diagnostico e quello interattivo. Essi, inoltre, grazie alla loro attitudine alla ricerca dei driver di valore e alla quantificazione delle relazioni causa-effetto, possono migliorare l'efficacia progettuale dei sistemi di misurazione della performance multidimensionali o di *business planning*.

I sistemi di controllo aziendale basati su BPA agiscono efficacemente sia sul piano semantico, stimolando l'indagine e quindi la scoperta di informazioni rilevanti, sia sul piano pragmatico, influenzando i comportamenti a tutti i livelli e supportando le decisioni in tutta l'organizzazione (Maisel, Cookins; 2014). Infatti, mediante l'impiego di BPA, le informazioni prodotte dal management accounting vengono osservate da due punti di vista.

1. Un'analisi dei costi (storico-descrittiva) basata sulla contabilità dei costi focalizzata su ciò che è già accaduto nei periodi di tempo passati. I tipi di analisi includono la spesa effettiva rispetto a quella prevista per l'analisi della varianza dei costi, l'analisi dei costi delle attività, la redditività del prodotto, il benchmarking e il monitoraggio della misura delle prestazioni.
2. Supporto alle decisioni (futuro, predizione) mediante analisi di pianificazione e controllo volta a supportare le decisioni per guidare il miglioramento. Tale analisi prende in considerazione una serie di variabili come il volume ipotetico e il mix basato su proiezioni e si basa sull'andamento e sull'entità dei costi consuntivi. Oggetto di analisi sono il prezzo e il margine di profitto, le spese in conto capitale, l'*outsourcing*, il *make-or-buy*, la valutazione del progetto, l'analisi delle spese incremental (o marginali) e la razionalizzazione di prodotti, canali e clienti.

Il maggior valore aggiunto per il miglioramento delle prestazioni deriva dalla capacità di supporto decisionale preventivo rispetto alla tradizionale segnalazione a consuntivo degli esiti dell'analisi dei costi. Ciò consente ai manager di passare dalla reazione ai fatti avvenuti alla loro anticipazione con analisi predittive e azioni proattive derivanti da decisioni assunte più efficacemente.

L'analisi predittiva potrebbe essere basata, per esempio, sui dati prodotti dall'*activity-based cost/management* (ABC/M) sia al fine di comprendere meglio la condizione attuale dell'organizzazione (*as-is*) sia per raggiungere un diverso stato desiderato (*to-be*).¹⁸ In questo caso, il metodo di contabilità predittiva prevede estrapolazioni che utilizzano i tassi di consumo fisico e di costo, calibrati con i calcoli ABC/M del periodo precedente, collegati a una forma di budgeting flessibile. La stima dei costi viene

¹⁸ Una versione più robusta di ABC/M è chiamata contabilità del consumo di risorse [RCA], basata sulla pratica contabile tedesca Grenzplan-kostenrechnung [GPK] per l'analisi della spesa marginale e il budget flessibile per il controllo operativo. RCA è un approccio completo che si concentra sulle risorse e la logica di gestione della capacità con principi ABC/M.

spesso definita sulla base di scenari *what-if* nei quali le risorse utilizzate per le attività hanno un rapporto di causalità con i costi connessi. In tal modo è possibile formulare ipotesi sugli output attesi finali e intermedi e sulla rete di relazioni inter-organizzative che genereranno gli esiti finali attesi.

2.5 Network accounting

I network trovano nella condivisione dell'informazione e nell'integrazione dei sistemi informativi un'importanza fondamentale per il loro funzionamento. Essi sono, infatti, dei sistemi reticolari, complessi, adattativi che riescono ad auto-organizzarsi e reagire alle spinte della complessità proprio grazie alla sintropia, determinata dai flussi informativi. Attraverso lo scambio di informazioni tra le diverse unità, i network riescono a competere con successo in ambienti sempre più complessi.

La comunicazione può avvenire con diverse modalità, alcune informali – ma non per questo meno importanti – altre più strutturate e regolari. La condivisione delle informazioni si fonda sul grado di trasparenza delle unità mentre la natura e la frequenza delle informazioni fornite dipendono dal tipo di legame che unisce le unità del network.

L'adozione di sistemi cyberfisici rappresenta un importante abilitatore per l'affermazione dell'organizzazione reticolare di cui essa costituisce un elemento centrale. Gli *smart manufacturing system* determinano un profondo ripensamento dei processi di creazione del valore. Si pensi alla possibilità di individuare l'esatta posizione dei prodotti lungo tutta la catena di produzione e distribuzione; così come al controllo del livello delle scorte e delle movimentazioni necessarie a rendere disponibili prodotti e materiali nei luoghi necessari al momento giusto. Inoltre, grazie alle tecnologie dell'informazione e della comunicazione, si sono potute realizzare catene del valore geograficamente distribuite, nell'ambito delle quali esse hanno consentito di coordinare gli stakeholder coinvolti nei diversi territori, come produttori, spedizionieri, intermediari, operatori del trasporto, gestori di dati, consulenti e operatori finanziari (van Baalen, 2009).

Tuttavia, al di là del loro contributo all'efficienza dei processi, i sistemi informativi permettono di fronteggiare l'incertezza, di supportare l'integrazione logistica e, più in generale, di coordinare i flussi fisici, informativi e finanziari. L'automazione dell'informazione aiuta a irrobustire i processi, specialmente quando lo scambio di informazioni è di tipo bidirezionale, attraverso la creazione di circuiti di feed-back.

Van Baalen et al. (2009) definiscono le competenze legate all'Information Technology come le abilità nell'utilizzo vantaggioso di informazioni di elevata qualità per l'integrazione del network attraverso tecnologie informative avanzate. Essi individuano tre tipi di competenze principali legate all'IT:

- l’abilità di integrare i processi di informazione attraverso la creazione di *hub* informativi che consentono la condivisione dell’informazione per pianificare e svolgere le attività in modo collaborativo;
- la capacità di creare un’infrastruttura tecnologica che supporti l’integrazione dei processi informativi;
- la capacità di coordinare gli interessi del network per il successo dell’implementazione delle infrastrutture tecnologiche.

Nella letteratura scientifica sul network management vi è concordanza sulla capacità dell’informazione di supportare il miglioramento delle performance in termini di efficacia, efficienza e flessibilità; tuttavia, è dibattuta la valenza strategica delle tecnologie dell’informazione. Da questo punto di vista, si ritiene che un impatto di queste ultime sulla competitività possa effettivamente aversi soltanto in presenza di investimenti in infrastrutture tecnologiche associati a investimenti in infrastrutture relazionali, che utilizzino competenze organizzative di tipo *network specific*.

Nell’ambito dei sistemi reticolari, importanza fondamentale riveste la piena condivisione dell’informazione, la quale, accompagnando il coordinamento delle decisioni, può determinare un significativo incremento della performance. Ciò può avvenire in modo efficace ed efficiente soltanto mediante la predisposizione di infrastrutture IT che consentano di intermediare le informazioni e supportare il coordinamento delle relazioni.

Il tema dei metodi e delle tecniche di coordinamento e controllo da applicare in azienda è da tempo dibattuto nella comunità scientifica. In particolare, la diffusione di nuove forme di coordinamento all’interno di strutture reticolari rende, ancora una volta, obsoleti i tradizionali modelli di controllo, fondati sulla gerarchia e orientati dalla “visione obiettivo”.

Inoltre, il controllo manageriale, derivando da un processo di delega decisionale e di coordinamento *ex-ante* sulla base di parametri-obiettivo, se fosse applicato a un *network* mostrerebbe diversi limiti. Nelle organizzazioni reticolari, infatti, le aziende procedono con una visione incentrata sui processi, tipica del coordinamento fondato sul mutuo adattamento, ridefinendo via via scopi e azioni da compiere, in una logica di apprendimento relazionale e di sviluppo di competenze, conoscenze e informazioni che portano a un continuo ridisegno dei percorsi strategici.

Alla luce delle considerazioni svolte, emerge con chiarezza la difficoltà di applicare al *network* meccanismi di controllo intesi in termini tradizionali. Infatti, le diverse unità operative o organizzative collegate orizzontalmente non possono essere coordinate con meccanismi centralizzati tipici della gerarchia. L’applicazione, su scala reticolare, di meccanismi di coordinamento centrati sugli obiettivi potrebbe conferire troppa rigidità alla gestione, ostacolando la flessibilità del sistema, che senz’altro deve ritenersi

uno dei fattori critici di successo della rete. Infatti, nel *network* si formano relazioni interattive in grado di rispondere efficacemente a esigenze che si presentano mutevoli nel tempo. Grazie a tali relazioni si riesce a realizzare una fusione tra le attività svolte e le risorse impiegate.

D'altra parte, se i meccanismi di controllo di tipo tradizionale non possono rappresentare il punto di riferimento per il governo dei processi operativi svolti all'interno del *network*, resta la necessità di influenzare il comportamento dei *decision-maker* aziendali per orientare la gestione strategica e operativa. In questo senso, l'elemento critico sul quale esercitare il controllo e il coordinamento del *network* non può che essere rappresentato dal sistema delle relazioni intraziendali. Tale sistema deve essere interpretato in funzione delle attività strategiche e operative che l'azienda realizza. Esso assume valore e significato in funzione della capacità di condivisione del patrimonio intangibile, della struttura operativa e organizzativa, della compartecipazione ai processi produttivi, dei comportamenti competitivi e sociali, e dei risultati raggiunti da ogni unità del *network*.

In tale scenario gli scopi di governo del *network* possono essere visti da una duplice prospettiva:

- in una “*ottica-processo*”, indurre tutti i nodi a tenere i comportamenti strategici e operativi più convenienti rispetto agli indirizzi di fondo dell'azienda reticolare;
- in una “*ottica-obiettivo*”, coordinare le decisioni e le operazioni di ogni unità allo scopo di ricomporre le singole “parti” in uno schema di gestione integrato che consenta di creare valore a condizioni di efficacia strategica ed efficienza operativa.

Il controllo delle relazioni intraziendali si potrà riferire alla mappa di connessioni esistenti e avere contenuto il più vario. Esse riguardano, anzitutto, le relazioni di collaborazione, trasferimento di conoscenze e non ultimi i collegamenti informatici.

Appare centrale il controllo delle risorse intangibili che si formano e si diffondono lungo i canali di comunicazione: i valori che si affermano, le norme che vengono rispettate, il grado di fiducia di un soggetto verso l'altro, la consapevolezza strategica che si propaga per effetto dei processi di interazione. Non trascurabile, infine, è la produzione e la diffusione delle informazioni economico-finanziarie le quali possono rappresentare una potente leva di influenza dei comportamenti, ma anche essere accompagnate da altri strumenti per la creazione di conoscenza, l'esercizio del potere, la diffusione di comuni convinzioni strategiche.

Nei processi di governo del *network* non si può trascurare il fatto che ogni unità deve assicurare una performance, nell'interesse proprio, ma anche di tutte le altre unità.

Il controllo si estende, dunque, ai risultati prodotti dalle singole unità ovvero, in termini più generali, ai singoli nodi in cui la rete è articolata. A ben vedere, questo rappresenta il fondamento della logica di funzionamento del *network*. Di là dagli strumenti utilizzati, infatti, ogni unità appare avvinta alle altre da

legami che, prima di tutto, si fondano sulla performance che esso saprà garantire nel tempo. Ne consegue che i risultati reddituali, competitivi e sociali dell’azienda reticolare dipenderanno dal modo con cui le unità assolvono la loro funzione nella rete e da come questa realizza le strategie di sviluppo aziendale.

Pertanto, per controllo reticolare si può intendere il complesso dei processi organizzativi, compiuti all’interno del *network*, che ha per oggetto sia il sistema delle relazioni intraziendali sia le funzioni di gestione strategica e operativa a livello aziendale e per scopo la più conveniente composizione a unità del sistema delle decisioni, considerate nei loro effetti di breve e di lungo periodo, sui risultati aziendali.

Gli strumenti del controllo reticolare dovrebbero assolvere funzioni di supporto alle attività di governo dei processi reticolari. Dovrebbero, pertanto, consentire, a livello di singola unità, di programmare la propria attività e, con questi, quella generale del *network*, di organizzare le singole relazioni intraziendali, infine di gestire i processi produttivi sui quali si esercitano le relazioni combinatorie reticolari.

Nell’ambito della catena del valore, numerosi studi si sono occupati dei sistemi di supporto al governo delle relazioni interaziendali e dei *network*. Tra questi i meccanismi *accounting oriented* si fondano sull’ipotesi che le decisioni assunte dalla singola azienda possono essere influenzate dalle informazioni relative alla struttura e al funzionamento dei *network* in cui essa opera. Infatti, se un’azienda è inserita in un più vasto sistema che include fornitori e clienti, i costi di tale azienda dipendono dai comportamenti e dalle scelte degli altri attori. Il controllo che la singola azienda può mettere in atto deve, perciò, essere impostato in termini globali, prendendo in considerazione tutte le possibili leve decisionali che impattano sul prodotto finale, sia quelle interne sia quelle azionabili dai fornitori e dai clienti.

I meccanismi *accounting oriented* prevedono due prospettive: la prima mantiene il fulcro dell’indagine sulla singola unità produttiva mentre la seconda sposta il centro di interesse dalla singola azienda all’aggregato di cui essa è parte insieme alle altre ($n - 1$) unità coinvolte.

Nella prima prospettiva, le relazioni di collaborazione interaziendali sono interpretate come una via conveniente per controllare alcune rilevanti condizioni esterne di gestione. In tal senso, dal punto di vista del singolo partner, i meccanismi *accounting-oriented* finalizzati alla determinazione dei costi per scopi di gestione delle relazioni interaziendali si possono, in particolare, riferire a:

- costi “interni”. In tal caso, la contabilità analitica è impiegata per valutare i riflessi economici degli adattamenti apportati alle strutture e ai processi produttivi aziendali per adeguarli agli standard tecnologici e organizzativi della catena del valore reticolare;
- costi “relazionali”. La contabilità analitica è destinata a misurare il valore delle risorse destinate all’attivazione, gestione, controllo ed estinzione delle relazioni trasversali con altre aziende.

Nella seconda prospettiva, il focus è posto sull’insieme di aziende e l’analisi riguarda le condizioni che dovrebbero sussistere affinché tale struttura possa essere studiata come un complesso unitario. Più

specificamente dal punto di vista dell'intero *network* i meccanismi *accounting-oriented* cercano soluzioni al problema della misurazione della performance delle strutture multi-aziendali. Si pone, cioè, l'esigenza di trattare il *network* come un sistema unitario e di misurarne le prestazioni allo scopo di migliorare l'efficienza del complesso e delle sue parti, nel breve e nel lungo termine.

I meccanismi *accounting-oriented* possono essere, dunque, impiegati per le scelte relative a tutta la catena del valore. Se una decisione strategica od operativa coinvolge tutte le unità del *network* e le attività di ciascuna di questa è strettamente dipendente da quella delle altre, occorrerà valutare gli effetti, in termini di performance complessiva, della decisione da prendere su tutta la catena del valore. Pertanto, i *decision-maker* dovranno essere supportati da informazioni relative ai costi delle attività di creazione del valore, cioè di configurazioni di costo tanto ampie da includere le attività svolte da tutte le aziende del *network*. A tal proposito, può farsi riferimento alla configurazione dei costi reticolari. A livello di *network* si amplia la dimensione spaziale dell'oggetto di calcolo e si determinano, per via diretta (mediante determinazione contabile egli elementi di costo pertinenti all'oggetto di costo multi-aziendale) o indiretta (ovvero per consolidamento dei dati di costo relativi alle sezioni dell'oggetto di costo pertinenti le singole unità produttive), i costi relativi a un complesso di processi o di prodotti realizzati da più unità distinte.

Capitolo 3 SISTEMI DI MONITORAGGIO E MISURAZIONE DELLE PERFORMANCE

3.1 Performance management system

I sistemi di gestione delle prestazioni si rivelano particolarmente interessanti poiché si pongono come raccordo tra la pianificazione strategica e il controllo operativo e consentono un utilizzo avanzato dei *business analytics* nell’ambito delle architetture multidimensionali tipiche dei sistemi informativi caratteristici del paradigma “*Industry 4.0*”.

Già Anthony (1965) aveva proposto modelli di controllo direzionale (“management control” o controllo di gestione) a cavallo tra la pianificazione strategica e il controllo operativo, tuttavia focalizzandoli esclusivamente su obiettivi economici e finanziari. I performance management systems (PMS) raccolgono questa eredità, ma prendono in considerazione, a fini direzionali, anche le prestazioni “*non cost*”. Attraverso l’acquisizione, la raccolta, il trattamento, l’analisi, l’interpretazione e la diffusione dei dati, questi sistemi supportano il management sia nel compimento di azioni in vista del perseguimento degli obiettivi aziendali sia nella definizione e ridefinizione di questi ultimi. Si tratta di sistemi multidimensionali che integrano misure finanziarie e non finanziarie, evidenziano la relazione mezzi-fini come metodo per l’implementazione della strategia e consentono l’adattamento alle circostanze nelle quali l’impresa opera. Ciò guida le performance verso l’implementazione delle strategie e l’ottenimento dei risultati. Sono una combinazione di meccanismi di controllo, processi, sistemi e reti, usati dalle organizzazioni per assistere il processo strategico attraverso l’analisi, la pianificazione, la misura, il controllo e l’incentivazione, gestendo le performance, nonché supportando e facilitando il cambiamento organizzativo (Demartini, 2014).

I PMS rappresentano l’evoluzione da una caratterizzazione basata sulla misurazione e controllo dei costi a una focalizzata sulla misurazione del valore. In tal senso, essi non considerano le prestazioni in un’ottica di compromesso (*trade-off*) tra prestazioni da privilegiare a scapito di altre, bensì di perseguimento congiunto di risultati su differenti versanti. La considerazione del valore, in aggiunta alle prestazioni economico-finanziarie tradizionali (ROI, “*discounted cash-flow*” ecc.), determina un marcato orientamento al cliente, del quale essi prevedono l’analisi della soddisfazione e il livello di fidelizzazione in un orizzonte di medio-lungo periodo.

I moderni PMS annoverano sia aspetti “micro” che “macro”-organizzativi: la diffusione del “*job enrichment/enlargement*” (arricchimento e allargamento dei contenuti del lavoro) e del “*team working*” (lavoro di gruppo) fanno spostare l’attenzione dalle prestazioni individuali a quelle del gruppo;

l’adozione di una “gestione per processi” enfatizza le prestazioni trasversali alle funzioni rispetto alle prestazioni delle singole funzioni. Inoltre, la valutazione delle prestazioni è sempre più importante non tanto in relazione a standard predeterminati, quanto a supporto della continuità del miglioramento. Essi svolgono un ruolo strategico e contribuiscono ai processi di formulazione e implementazione della strategia. A tal fine, essi rispondono a due importanti esigenze: fornire informazioni per definire la strategia dell’impresa e tradurla in obiettivi da raggiungere, favorire l’allineamento tra l’operato del management e gli obiettivi strategici. In questo senso, i PMS possono supportare processi decisionali orientati al lungo periodo e in grado di superare i limiti degli approcci eccessivamente focalizzati su obiettivi di budget, come pure facilitare la comunicazione.

I PMS prevedono la definizione di obiettivi chiari, condivisi e ad ampio spettro, nonché una pianificazione accurata per il loro conseguimento; ricercano precisi nessi causali, un confronto e un allineamento continui fra i manager, con meccanismi di incentivazione per il conseguimento degli obiettivi prioritari insieme ai loro gruppi di lavoro, in modo che sia condivisa una rotta precisa e si attribuisca significato al loro ruolo e alle loro interdipendenze, monitorando, al contempo, il risultato delle attività (Tonchia et al., 2009). Essi non hanno una funzione meramente strumentale e funzionale, ma prevedono il coinvolgimento di tutti i diversi gruppi di utenti (Silvi et al. 2013). L’approccio di Ferreira e Otley (2009) descrive un framework PMS completo, che delinea i possibili aspetti chiave del processo di gestione delle prestazioni nei seguenti punti:

- identificare e comunicare la vision e la mission di un’organizzazione e mostrare come l’attenzione dei manager e dei lavoratori possa focalizzarsi;
- identificare i fattori chiave di successo e illustrare come possono essere portati all’attenzione di manager e lavoratori;
- illustrare la struttura organizzativa e scoprire come questa influenza il design e l’uso di un PMS;
- evidenziare le strategie e i piani dell’organizzazione e mostrare quali processi e attività sono necessari per la loro implementazione;
- identificare e illustrare le misure chiave di performance;
- individuare obiettivi di performance coerenti con le misure chiave di performance e mostrare come dovrebbero essere scelte;
- rilevare i processi di valutazione delle prestazioni già esistenti all’interno di un’organizzazione;
- stabilire gli incentivi per il raggiungimento degli obiettivi;
- illustrare i flussi informativi che possono supportare le attività di performance management.

L’adozione del paradigma “Industria 4.0” favorisce la creazione di nuove concezioni della performance di impresa, che rendono necessaria l’evoluzione dei sistemi di *performance management* nel

senso di consentire al decisore di disporre facilmente e velocemente di informazioni utili all’assunzione delle decisioni critiche in *real-time* mediante modelli avanzati di monitoraggio della gestione aziendale.

Negli ultimi anni, sono stati sviluppati sistemi di gestione delle prestazioni più sofisticati per supportare i responsabili delle decisioni con informazioni il più possibile tempestive e puntuali. Questi sistemi sono utilizzati per catturare e valutare i dati di *performance* e per identificare i fattori chiave di successo all’interno delle organizzazioni. Le nuove opportunità di business, i tempi e il *know-how*, così come la necessità di fornire un servizio rapido ed efficace, richiedono strumenti decisionali più analitici sia a livello operativo che strategico.

Un PMS comprende indicatori di prestazione, ciascuno dei quali determina una misura e contempla le specifiche architetture che riguardano la combinazione dei suddetti indicatori, nonché l’operationalizzazione delle interfacce con altri sistemi aziendali. I PMS più innovativi sono basati sul concetto di valore per il cliente e annoverano gli indici economico-finanziari come parte di un sistema più vasto, in cui sono compatibili e cumulabili prestazioni su assi differenti, anche in un’ottica di medio-lungo termine, in stretta connessione con i processi aziendali, per finalità non solo valutative ma anche motivazionali e di coinvolgimento, tese sia al perseguimento di standard, sia al miglioramento continuo.

Il successo dei PMS è stato, ed è tutt’oggi, alimentato e potenziato dalle nuove tecnologie di *business intelligence* che, con la successiva integrazione dei *business analytics*, costituiscono sistemi avanzati di supporto alle decisioni (DSS – *Decision Support Systems*), i quali con i *web analytics*, consentono di avere un unico *dataset* aziendale (“*repository*”) da interrogare (con le funzioni fondamentali di “ipercubo”, che permettono intersezioni *n*-dimensionali, e di “*drill-down*”, che realizzano esplosioni/implosioni multilivello dei dati) attraverso la disponibilità costante e precisa di indicatori chiave di prestazione (KPI – *Key Performance Indicators*). I KPI sono algoritmi software che elaborano una serie di informazioni relative ad un processo, o ad una sua parte, fornendo come risultato un parametro che ne rappresenta l’andamento o una componente significativa delle cause che lo determinano, ragione per cui la *business intelligence/analytics* è alla base dei più avanzati PMS.

I notevoli sviluppi degli strumenti analitici descrittivi, predittivi e prescrittivi degli ultimi anni hanno fornito al *performance management* strumenti promettenti per affrontare le sfide attuali come la matematica, la statistica, l’econometria, l’IT e gli strumenti per la raccolta e l’analisi dei dati. Se questi approcci sono inclusi all’interno dei PMS, essi forniscono nuove intuizioni sulle dinamiche di business e sulle relative performance che possono essere esplorate e sfruttate – il che a sua volta potrebbe portare ad una maggiore efficacia della gestione.

I PMS convenzionali concentrano la loro attenzione sul controllo dell’attuazione della strategia, mentre sono meno interessati alla comprensione delle dinamiche di business che portano alla formulazione

di tale strategia. L’analisi delle prestazioni – come l’uso estensivo dei dati e dei metodi analitici per comprendere le dinamiche di business rilevanti per controllare efficacemente i driver chiave delle prestazioni e per aumentare attivamente le prestazioni organizzative – rappresenta l’anello mancante tra la concettualizzazione dei PMS altamente sofisticati (da un punto di vista tecnico/strumentale) e la loro effettiva implementazione. D’altro canto, la misurazione delle prestazioni rappresenta il catalizzatore univoco di tutti quei processi a supporto del monitoraggio, del budgeting e del reporting delle performance a livello centrale ovvero “*corporate*”. Essa, pur intersecando diversi elementi di *business analysis*, sposta in modo definitivo il focus sulla capacità di interpretare, misurare e indirizzare le performance e i processi di business, attraverso la rappresentazione dei modelli e dei fattori critici che meglio li descrivono e li sostengono.

Non si è più di fronte a un contesto esclusivamente tecnologico, i PMS rappresentano, infatti, il programma guida di un percorso di *change management*, fondato sulla concezione ormai diffusa che uno dei pochi vantaggi competitivi di cui le aziende possono disporre, e che possono proteggere, è il proprio sistema d’interpretazione dei segnali che arrivano dal mercato fortemente facilitato da misuratori “intelligenti”. La tecnologia, però, resta un aspetto pregnante e, anzi, nei sistemi Industria 4.0 assume rilevanza ancora maggiore. Le metodologie di modellazione, di rappresentazione e di gestione sono state semplificate, orientandosi intorno a pochi ma robusti riferimenti, che permettono l’identificazione e lo sviluppo di metriche e modelli specifici per diverse applicazioni e aree di business.

I PMS rappresentano, quindi, ciò che gli utenti vogliono ottenere dalla *business intelligence*. Collegando entrambi i concetti alla nozione di *analytics applications*, è possibile osservare che queste ultime sono una componente dei sistemi di BA e PM, di cui ne approfondiscono i contenuti attraverso tre categorie distinguibili per tipologia di focus e di funzione d’uso:

- a supporto della strategia per misurare e gestire la performance, fornendo gli strumenti utili a integrare piani e sviluppare processi di budget a più livelli;
- a supporto delle analisi per ricercare e scoprire – attraverso diverse fonti informative – l’interpretazione dei risultati aziendali e delle loro componenti o relazioni causali;
- a supporto dei processi per abilitare e fornire alle attività di business specifiche soluzioni verticali dedicate.

Il perimetro funzionale dei PMS va ben oltre i processi di reporting e budgeting, mirando innanzitutto a supportare l’azienda nell’attuazione delle strategie e nella creazione di valore attraverso il miglioramento delle capacità analitiche e previsive.

L’obiettivo principale è, quindi, aiutare il management a selezionare le migliori misure per l’analisi delle *performance* chiave e permettere i processi di previsione dei risultati su diversi scenari possibili.

La misurazione delle performance è alla base dei *performance management system* poiché consente il monitoraggio della strategia nelle aree critiche della gestione aziendale. Una buona strategia di misurazione delle performance prenderà in considerazione dati finanziari, input da parte dei clienti, misure di processo, valutazioni da parte degli *stakeholder*.

3.2 La misurazione delle performance

La misurazione delle performance è finalizzata ad acquisire l'insieme delle informazioni sul comportamento del management e degli altri operatori e concerne la rappresentazione delle caratteristiche di un fenomeno, secondo determinati criteri, funzionali all'orientamento della gestione verso il raggiungimento degli obiettivi aziendali.

Pertanto, la misurazione delle performance in campo aziendale, non attiene soltanto alla capacità di rappresentare quanto più fedelmente possibile l'andamento delle variabili oggetto di osservazione, ma incorpora anche la funzionalità di rappresentazione dei fenomeni secondo una prospettiva che riguarda la regolazione dei comportamenti degli operatori aziendali oggetto di osservazione, indirizzandoli verso il conseguimento di specifici obiettivi (Neely, 2004).

Pertanto, la misurazione si caratterizza per un aspetto di tipo informativo (che attiene alle situazioni sulle quali va orientata l'attenzione), uno di carattere prescrittivo (riferibile alle azioni che devono essere intraprese) e uno di tipo valutativo (rispetto all'adeguatezza delle azioni svolte).

Le misure utili al monitoraggio delle variabili gestionali costituiscono un elemento del sistema informativo di supporto alle scelte manageriali, nel quale i fenomeni osservabili e i relativi indicatori, risultano coerenti con la logica che informa il funzionamento di questi sistemi. La misurazione costituisce una sorta di perno attorno al quale si esplica il governo dell'azienda e va pertanto considerata come una funzione critica per la creazione del valore.

Il riferimento alla creazione di valore costituisce l'elemento unificante, generalizzante e indifferente rispetto a condizioni diverse di tempo, di spazio, interne o esterne, ed esso può essere rappresentato attraverso un insieme multidimensionale di parametri, che riflettono i fattori ritenuti critici per il suo conseguimento, relativi alle relazioni tra l'azienda e l'ambiente sia con riferimento alle variabili, che ai principali interlocutori.

Il principio del valore diventa criterio-guida di scelta e di valutazione delle opzioni strategiche, dell'analisi delle possibilità di miglioramento e sviluppo, e dell'incentivazione del management.

Le misure di performance svolgono una funzione strumentale e non finalistica; pertanto, l'individuazione e la misurazione della performance non possono essere considerate uno scopo in sé, ma devono essere finalizzate rispetto al più vasto e complesso processo manageriale altrimenti, in assenza di altre

considerazioni, la misurazione finisce per determinare soltanto un costo per la sua effettuazione. L'analisi delle performance deve necessariamente passare attraverso la costruzione di un idoneo sistema informativo capace di integrare le varie dimensioni della gestione, coniugando dati di natura contabile ed extra-contabile (Knight e Satchell, 2002).

Dal punto di vista metodologico, al fine di costruire un sistema di indicatori adeguato al supporto dei processi manageriali, è necessario acquisire un'appropriate conoscenza delle peculiarità gestionali, delle variabili strategiche e dei meccanismi di funzionamento. Il sistema deve tenere conto delle variabili che vengono ritenute strategiche per la creazione di valore sulla base dell'individuazione dei fattori critici di successo.

3.3 Obiettivi e criticità della misurazione delle performance

Anche in conseguenza dell'evoluzione dottrinale, che vede nella creazione di valore l'obiettivo della misurazione (Tavana et al., 2017), è possibile osservare una tendenza all'ampliamento dei confini del sistema informativo del controllo, che mira a catturare, mediante indicatori, tutte le variabili rilevanti allo scopo.

L'importanza degli indicatori è ascrivibile sia alla loro capacità di sintesi espressiva delle condizioni di funzionamento sia alla forma, universalmente comprensibile. Tale linguaggio costituisce la naturale espressione dei sistemi informativo-contabili funzionali alla rilevazione delle operazioni di gestione e alla loro influenza sul risultato economico e sul capitale di funzionamento.

Nelle aziende gli indicatori di sintesi, rappresentati in termini economico-finanziari, costituiscono una manifestazione complessiva del variegato combinarsi delle performance ottenute nei vari sottosistemi, espresse secondo diverse modalità, che possono manifestare anche legami di sequenzialità non sempre percepibili, sia in termini logici che temporali, rispetto ai risultati economico-finanziari medesimi. Questo significa che potrebbero svilupparsi, all'interno della combinazione aziendale, forze centrifughe rispetto agli obiettivi economico-finanziari o, ancora, più semplicemente, essere indotti (o non evidenziati tempestivamente) comportamenti non in linea con gli obiettivi generali di sopravvivenza e sviluppo.

Alla misurazione economico-finanziaria, pur sempre necessaria, specialmente con riferimento all'impiego delle risorse, vanno affiancati altri indicatori relativi sia alle variabili operative sia a quelle strategiche. Conseguentemente, anche l'attività dei singoli responsabili, per essere convenientemente monitorata e messa in relazione agli obiettivi generali, necessita di un'analisi multidimensionale. Insieme a parametri economici e/o finanziari devono essere inseriti indicatori fisico-tecnici relativi agli aspetti ritenuti rilevanti per il monitoraggio dell'attività controllata.

Indagare la performance è utile se funzionale all’assunzione di decisioni responsabili, favorendo il “governo economico e responsabile”, anche se ciò non garantisce quali decisioni verranno assunte e con quali modalità. Le misure di performance costituiscono un output del processo di pianificazione e programmazione in quanto identificano e qualificano gli obiettivi così da poterne valutare il relativo raggiungimento. Diventano poi, oggetto di studio in fase di reporting, essendo gli elementi sui quali si incentra l’analisi per indirizzare le azioni di miglioramento, rappresentando fattori di raccordo tra l’aspetto statico e quello dinamico del *performance management system*.

Uno dei primi elementi da prendere in considerazione riguarda la definizione degli obiettivi della misurazione, che costituisce fattore rilevante con riferimento all’impostazione del sistema poiché sono gli scopi che determinano il tipo di misure da utilizzare.

Nell’ambito delle finalità del sistema di misurazione, vale la pena sottolineare la distinzione tra l’orientamento informativo e quello valutativo. Nel primo caso, l’obiettivo prevalente della misurazione è quello di informare il management riguardo l’andamento di alcune variabili la cui conoscenza può essere utile allo svolgimento delle funzioni tipiche di pianificazione, organizzazione e controllo, mentre nel secondo caso, il sistema è volto a valutare la bontà dell’operato dei diversi responsabili. Quando la misurazione è diretta alla valutazione, essa rappresenta un controllo ex post e costituisce un input per le decisioni relative al tipo e all’entità delle ricompense. Nel primo caso, è invece diretta semplicemente ad accrescere la conoscenza.

Misurare la performance è però soltanto la prima fase del processo poiché la sua reale utilità risiede nella possibilità di comprenderla ed interpretarla nel contesto specifico dell’organizzazione e cioè capire quali condizioni, quali relazioni eventi-azioni-risultati hanno portato a quelle performance, dove e come è possibile agire per mantenerle o svilupparle.

Assumono particolare rilievo le modalità con cui le varie unità organizzative coinvolte nel processo di produzione contribuiscono ai processi, anche in relazione ai rapporti che le legano dal punto di vista operativo. Spesso, infatti, l’ottenimento di una prestazione complessiva, deriva dal contributo combinato delle varie unità organizzative che partecipano al processo. Anzi, di frequente, sono proprio le modalità con cui queste relazioni si sviluppano che incidono notevolmente sulle performance globali in termini di efficacia, efficienza e qualità. Particolare importanza assume, in questo contesto, l’identificazione delle unità organizzative coinvolte nei vari processi e quindi, la costruzione di una rete di relazioni che le legano all’analisi delle caratteristiche delle attività svolte nelle varie unità organizzative. La costruzione della rete di relazioni tra le varie unità aziendali deve essere effettuata considerando quelle che svolgono attività ritenute critiche per l’ottenimento del servizio finale, secondo le caratteristiche ritenute essenziali per la soddisfazione del cliente e nel rispetto delle compatibilità aziendali. Le modalità

di interazione tra le varie unità organizzative devono essere progettate tenendo conto delle interdipendenze tra le varie attività che possono essere sequenziali, reciproche o generiche.

L'impostazione del sistema di misurazione delle performance dovrebbe tener conto della situazione descritta sia relativamente al tipo di misure che è opportuno attivare, sia al livello delle prestazioni che ci si attende. La definizione degli indicatori da tenere sotto controllo dovrà tener conto delle variabili che vengono ritenute critiche (puntualità, correttezza, completezza, efficienza, rapidità, ecc.) per la creazione di valore sulla base dell'individuazione dei fattori chiave.

3.3.1 Il sistema di misure

Il sistema di misure deve seguire un approccio metodologico fondato su un adeguato percorso logico che, sulla base degli obiettivi, delinei alcune ipotesi e individui i fattori critici da tenere sotto osservazione; attraverso l'analisi operativa poi, individui gli indicatori (ed il sistema) che rappresentano l'andamento delle variabili-chiave.

L'elaborazione degli indicatori non deve avvenire secondo una logica burocratico-compilativa, come un adempimento imposto, ma deve creare artificialmente gli stimoli che portino alla creazione di valore per mezzo della determinazione di obiettivi e di confronti spazio-temporali. L'insieme degli indicatori dovrebbe essere definito da legami di complementarità e co-finalizzazione che caratterizzano le componenti di un sistema; l'identificazione delle misure non dovrebbe avvenire prendendo in considerazione aspetti singoli, senza valutare le ripercussioni su altre prospettive o sull'andamento di altre unità organizzative dell'amministrazione.

Dal punto di vista semantico un indicatore rappresenta una misura sintetica, in genere espressa in forma quantitativa, coincidente con una variabile o composta da più variabili, in grado di riassumere l'andamento di un particolare fenomeno e che si presti a esprimere giudizi (ovvero che sia in grado di comprendere al suo interno i fattori che hanno determinato il fenomeno) (Boyne, 2002). Da ciò deriva che l'indicatore possa non identificarsi con il fenomeno, ma rappresenti e riassume l'oggetto sottoposto a monitoraggio e valutazione. La determinazione dell'indicatore deve avvenire attraverso un processo logico di costruzione che parta dalla identificazione del fenomeno da monitorare, prosegua con l'individuazione della variabile o delle variabili-chiave che consentono di rappresentarne gli aspetti significativi e infine determini i parametri utili alla sua espressione quantitativa. L'identificazione dei parametri trova un riferimento fondamentale nelle variabili-chiave, che possono essere ricondotte ad aspetti tecnico-operativi interni ed esterni attinenti ai vari interlocutori ed infine a questioni relative alle condizioni esprimibili in termini economico-finanziari. Sarà poi opportuno gerarchizzare gli obiettivi ed i relativi

parametri, così da indirizzare adeguatamente l’attenzione dei responsabili, evitando distorsioni legate ad interpretazioni non coerenti.

Dopo aver delimitato il campo di analisi a una certa attività o a una determinata area, la costruzione di un indicatore, deve riguardare l’individuazione degli aspetti ritenuti strategici o maggiormente importanti da ricondurre alle principali variabili d’osservazione sia in relazione allo svolgimento della singola attività sia riguardo al contributo atteso nell’ambito dei processi di cui questa è parte. Una volta che gli aspetti principali hanno avuto adeguata descrizione, l’identificazione dell’indicatore è consequenziale poiché tale descrizione fa riferimento ai parametri che andranno a comporlo. L’individuazione delle variabili da tenere sotto controllo deriva dall’analisi delle caratteristiche dell’attività svolta e come questa possa orientarsi positivamente verso la sua missione e contribuire a quella più generale dell’impresa.

Il rispetto del processo logico di determinazione di un indicatore implica una naturale selezione degli aspetti ritenuti rilevanti da misurare e tenere sotto controllo e la conseguente possibilità di identificare l’indicatore come strumento di programmazione, di controllo e di valutazione. Se è condivisibile l’ipotesi che le caratteristiche dell’oggetto di cui effettuare la misurazione sono meglio conosciute dalla linea operativa, i responsabili devono essere parte attiva nel processo di progettazione degli indicatori, così che esso possa essere interiorizzato e rendere possibile la valutazione della loro funzionalità ed eventualmente procedere alla loro modifica. Ciò consente di focalizzare l’attenzione sui fenomeni effettivamente rilevanti, evitando una proliferazione di indicatori in ossequio al dogma dell’efficacia ed efficienza, relativo all’approccio *value for money*, che applicato in maniera generalizzata ed indistinta, rischia di perdere di significato sostanziale. Le misure di performance dovrebbero riferirsi a caratteristiche dell’output che siano funzionali al miglioramento del processo ed alla soddisfazione del cliente; in tal senso la conoscenza dell’output stesso assume un ruolo fondamentale come elemento conoscitivo di base.

La determinazione degli obiettivi potrebbe svilupparsi in una prospettiva eminentemente interna con un elevato rischio di autoreferenzialità. In assenza di un meccanismo esterno come quello concorrenziale, che permette una verifica dell’adeguatezza dei livelli di performance (fissati e raggiunti), e dal quale dipende la possibilità per l’azienda di remunerare adeguatamente i fattori impiegati, la definizione degli obiettivi può diventare un puro esercizio teorico.

Il sistema dovrebbe produrre misure diverse a seconda dei destinatari; in prima istanza, relativamente alla posizione occupata nell’organizzazione e quindi all’area di responsabilità controllata. Man mano che ci si sposta verso la «periferia» dell’organizzazione e l’area di riferimento assume dimensioni progressivamente più contenute (unità organizzative elementari), gli indicatori dovranno rappresentare l’andamento di variabili tendenzialmente più analitiche, riguardare fasi intermedie ed essere rivolti ad

aspetti interni all'azienda. Il controllo dell'andamento di unità organizzative od operative in cui sono ricomprese una o poche attività e le relative variabili critiche sono esprimibili con misure omogenee e effettuabile mediante indicatori fisico-tecnici, oltre che tramite valori economici (tempi, n. di operazioni, n. di pratiche, n. di errori, ecc.).

Quando invece, ci si riferisce a posizioni organizzative con responsabilità più ampie, l'analisi si sposta al monitoraggio di quelle variabili che consentono di valutare l'ottenimento dei risultati in termini strategici e la validità dei relativi percorsi seguiti; di conseguenza, gli indicatori assumeranno connotazioni di maggiore sinteticità, con prevalente orientamento all'esterno e relative ad attività con risultati finali.

Quando i fenomeni oggetto di misurazione trovano espressione tecnica in misure differenti le opportunità che si pongono sono: (1) la loro sintesi, mediante l'individuazione di un comune denominatore che ne sintetizzi il contributo e, nel caso in cui le variabili non siano esprimibili in modo significativo con unità di misura comuni, con una quantificazione fatta mediante il ricorso a parametri economico-finanziari; (2) la definizione di un sistema integrato di indicatori in numero limitato, per non perdere la visione di sintesi, che comprendano anche misure riferibili all'*outcome* o all'impatto sull'ambiente esterno.

Il superamento dei modelli manageriali che prevedevano la separazione tra momento strategico e operativo ed il progressivo affermarsi di quelli, che potremmo definire evoluti, hanno posto in luce la necessità di un bilanciamento tra istanze di breve e lungo termine e tra efficacia ed efficienza. Ciò ha comportato innanzitutto, l'affiancamento di indicatori fisico-tecnici a quelli tipicamente economico-finanziari, in modo da monitorare i fattori causali dei risultati economici. In secondo luogo, l'esigenza di superare l'eccessiva focalizzazione sugli obiettivi di breve termine, che rischia di ostacolare il raggiungimento di quelli di più lungo termine, ha reso opportuno integrare (o sostituire) i parametri classici con indicatori che rendessero evidente anche il legame con la strategia.

Relativamente all'aspetto in analisi, è anche opportuno evidenziare la distinzione tra destinatari esterni o interni alle organizzazioni, necessaria per mantenere la coerenza tra contenuti informativi e esigenze conoscitive che devono essere soddisfatte. In sintesi, il problema di creare misure destinate a diversi utilizzatori non è solo un problema di quantità delle informazioni prodotte, ma anche di diversità di contenuti, di livelli di analisi, di tempi, di modalità di presentazione, ecc., che può essere risolto solo creando set informativi specifici e coerenti con le esigenze dei diversi portatori di interesse.

Dal punto di vista metodologico, una corretta interpretazione della funzione segnaletica delle misure esige l'adozione di un'ottica sistemica nella lettura e nella interpretazione dei dati, sia relativi alla stessa area di osservazione, che riguardanti aree diverse in una logica di processo. Solo dalla lettura congiunta degli indicatori è possibile comprendere se i miglioramenti registrati nella gestione di una determinata variabile (es.: tempestività nella produzione dell'output) abbiano o meno comportato peggioramenti in

altre variabili critiche (es. correttezza dell’output prodotto), o in altre attività realizzate a monte o a valle. In secondo luogo, alla produzione del dato dovrebbe seguire un momento, successivo e complementare, di interpretazione ed analisi delle risultanze del sistema di misurazione, volto a comprendere le cause del fenomeno osservato ed a individuare gli opportuni atti di gestione per eventuali azioni di miglioramento.

3.3.2 Approccio multidimensionale alla misurazione della performance

Johnson e Kaplan (1987) evidenziano il superamento dei parametri economico-finanziari per misurare le performance aziendali, proponendo la determinazione di indicatori non monetari basati sulla strategia che l’azienda persegue e comprendono i parametri-chiave di successo delle attività di produzione, di marketing, di ricerca e sviluppo. L’approccio basato sul *performance measurement* integra le informazioni relative alla conoscenza del costo di prodotto/servizio (o di fase di processo) con quelle relative alle modalità di svolgimento dei processi interni, ottenute mediante l’utilizzo di indicatori espressi in termini fisico-tecnici. Tale elaborazione, in linea con le indicazioni dell’*activity-based management*, si basa sulla considerazione che il costo delle varie attività esprime il risultato delle modalità con cui queste sono state gestite, ma spesso offre solo scarse informazioni sulle cause che hanno portato ad ottenere quel costo.

Diventa, pertanto, preminente individuare e tenere sotto controllo i fattori critici da cui dipende la gestione dell’attività e del processo, nonché studiare opportuni parametri per la misurazione dell’andamento di tali fattori, che, focalizzando l’attenzione sul processo complessivo, sono in grado di superare l’eccessiva enfasi sulla singola area di responsabilità (tipico limite del controllo tradizionale), integrando la misurazione delle varie fasi con l’inserimento di logiche di corresponsabilizzazione.

Pur non escludendo l’utilizzo di informazioni di carattere economico-finanziario, il controllo basato sulla misurazione delle performance sposta l’ottica di osservazione dal costo ai fattori che condizionano il funzionamento del processo. Esso, quindi, determina una rottura dell’assunto secondo il quale il costo è sempre in grado di misurare correttamente il consumo delle risorse ed è quindi un valido parametro di misurazione dell’attività dei responsabili delle diverse fasi del processo produttivo. Diventa fondamentale individuare quali siano i fattori critici per la creazione del valore, come qualità, tempi, soddisfazione del cliente, che devono essere coerenti con la strategia, le competenze distintive e le politiche aziendali. Si impone, quindi, la necessità di elaborare un sistema di indicatori di performance espressi in termini fisico-tecnici in grado di: (1) evidenziare le cause e non i sintomi degli andamenti; (2) offrire informazioni tempestive e non ritardate degli accadimenti; (3) elaborare un quadro della situazione rivolto al futuro anziché al passato; (4) sviluppare il collegamento tra scelte strategiche e operative. A tal

fine occorre determinare, prioritariamente, le misure e degli obiettivi di performance del processo in cui le attività sono inserite e poi le performance di queste ultime, poiché è il loro coordinamento che assume carattere prioritario.

In ogni caso, un sistema di controllo non può trascurare le misurazioni economiche relative all’impiego delle risorse, riportando all’interno di un quadro unitario l’attenzione sul breve e sul lungo periodo. In questo filone si inseriscono i contributi di Norton e Kaplan (1987) con l’elaborazione della *balanced scorecard* e di Lynch e Cross (1988), il cui modello è raffigurato mediante la piramide delle performance. Dal punto di vista metodologico, la questione della multidimensionalità non può essere risolta mediante la mera definizione di una pluralità di indicatori espressi in termini fisico-tecnici da affiancare a quelli economico-finanziari. In realtà, l’analisi dovrebbe rivolgersi innanzitutto, alle prospettive in funzione delle quali si ritiene necessario interpretare la performance aziendale così da ottenere un quadro completo. Sarà così possibile individuare, in ogni punto di vista, le aree nelle quali l’azienda dovrà mettere in pratica una serie di iniziative indispensabili per dare concreta realizzazione alla strategia.

La determinazione degli indicatori diviene operazione logicamente consequenziale rispetto a ciò che viene giudicato rilevante. Questo non significa che sia scontato, automatico e semplice, in quanto impone di specificare attraverso quali misure si rende possibile una chiara, non ambigua, esaustiva e coerente rappresentazione degli andamenti di quell’area. Le prospettive, considerando anche il significato letterale del termine, sono le ottiche che riescono a raffigurare meglio ciò che risulta veramente importante per la strategia che l’azienda intende seguire. Gli ideatori della *balanced scorecard* ne hanno individuate quattro, anche se hanno precisato che il modello non è rigido, ma le «angolature» ritenute strategiche potrebbero variare come numero e come tipologia, tenuto conto che un numero troppo elevato rischia di rendere ingestibile lo strumento. Le prospettive rappresentano l’anello di congiunzione tra le strategie e gli indicatori di performance. Anche le *key performance area* dovrebbero essere in numero contenuto e gerarchizzate in termini di importanza.

Le iniziative strategiche sono costituite dai progetti e dalle azioni che dovranno concretamente essere resi operativi per realizzare quanto previsto nelle *key performance area* ritenute fondamentali. Esse consentono di tradurre in termini operativi la strategia, verificando la capacità dell’organizzazione di concretizzare quanto ideato e quindi la fattibilità.

All’interno di ogni *key performance area* si trovano gli indicatori-chiave mediante i quali è possibile misurare l’andamento delle variabili principali rappresentative delle performance nelle varie aree. Gli indicatori possono essere *leading (performance drivers)*, cioè, anticipati rispetto al verificarsi di certi effetti, con cui trovano espressione le peculiarità del business oppure *lagging (outcome)* quando invece

sono ritardati. La distinzione identifica gli estremi di un continuum all'interno del quale essi possono assumere sia connotazione *leading* che *lagging*. Così, ad esempio, i tempi di attesa sono un indicatore *leading* della soddisfazione degli utenti, ma anche *lagging* dell'andamento dei processi interni.

Neely, Adams e Kennerley (2002) hanno elaborato un modello definito *performance prism*, che evidenzia una particolare attenzione verso gli stakeholder, nella convinzione che la perseguibilità degli obiettivi delle organizzazioni si basi sulla capacità di cercare un allineamento tra i diversi interessi in gioco. La ricerca dell'equilibrio tra contributi apportati dai soggetti coinvolti a vario titolo nelle vicende aziendali e le ricompense da essi attese, assume allora un rilievo fondamentale per la continuità e lo sviluppo aziendale.

3.3.3 Distorsione dei comportamenti

Un ulteriore aspetto da considerare è quello relativo ai comportamenti che la misura può indurre. Più in dettaglio, dovrebbero essere evitate due tipologie di possibili comportamenti: in primo luogo quelli che, focalizzando l'attenzione sull'ottimizzazione del risultato della singola area di responsabilità, provochino la sub-ottimizzazione del risultato complessivo dell'organizzazione; secondariamente quei comportamenti che appaiono solo superficialmente indirizzati agli obiettivi, ma che in realtà tendono a soddisfare solo l'aspetto quantitativo della performance.

Esistono diversi tipi di distorsioni e paradossi legati al sistema di indicatori. I paradossi relativi ai sistemi di controllo sono applicabili anche ai sistemi di misurazione. Essi denotano un incremento dei costi di monitoraggio e misurazione; l'esistenza di effetti degenerativi nell'utilizzo degli indicatori, riferibili alla perdita di importanza dovuta al miglioramento della prestazione (*positive learning*) o dovuta alla manipolazione dell'informazione da parte del responsabile a proprio vantaggio; la presenza di fenomeni di sconnessione, che evidenziano la separazione dei comportamenti reali dai meccanismi di rilevazione; la mancanza di chiarezza su cosa misurare.

Alcune tipiche degenerazioni dei sistemi di controllo sono costituiti da: (1) *misrepresentation*, costituita da un comportamento indotto che mira a manipolare i dati per rappresentare una performance differente da quella reale, interpretando a proprio vantaggio criteri ambigui, oppure alterando fraudolentemente i dati; (2) *suboptimization*, che enfatizza il raggiungimento di obiettivi parziali a spese degli obiettivi complessivi dell'organizzazione; (3) *myopia* e cioè il classico atteggiamento di sopravvalutazione del breve periodo; (4) *tunnel vision*, per cui l'organizzazione focalizza particolarmente l'attenzione sugli elementi della performance oggetto di misurazione tralasciando ogni altro elemento; (5) *gaming*, in cui l'oggetto della manipolazione è la rappresentazione del comportamento, in questo caso viene modificato il comportamento per ottenere un vantaggio strategico; (6) *misinterpretation*, che raffigura

una sbagliata o impropria interpretazione dei dati, da cui discende l’adozione di politiche errate; (7) *ossification*, quando le spinte innovative vengono, di fatto, impediti dal rispetto del sistema di misurazione su cui si basa la valutazione; (8) *mixure fixation*, in cui l’attenzione delle condotte intraprese è concentrata sul dato numerico della misurazione anziché sull’obiettivo che quella condotta dovrebbe ottenere (è spesso il caso di situazioni in cui si misura l’attività svolta come proxy dell’effetto ricercato) (Goddard et al., 2000).

Riguardo alle manipolazioni inerenti all’output, vale la pena evidenziare le principali distorsioni dei comportamenti, costituite da: (1) *hypertrophy*, per cui l’organizzazione tende ad aumentare l’output oggetto di misurazione; (2) *atrophy*, secondo la quale i comportamenti all’interno dell’organizzazione sono diretti nella direzione esattamente opposta alla precedente e cioè a ridurre l’output oggetto di misurazione; (3) *cream skimming*, che provoca la concentrazione dell’attività di misurazione sugli elementi la cui quantificazione si presume offra maggiori opportunità di successo; (4) *stagnazione*, che si manifesta quando l’organizzazione si mantiene su standard normali anche in presenza della possibilità di ottenere livelli di eccellenza; (5) *polarizzazione*, che si verifica quando il sistema spinge l’organizzazione a focalizzare l’attenzione sulle prestazioni che presentano valori decisamente positivi o negativi, evitando di intervenire sulle situazioni critiche dal punto di vista della misurazione (Van Dooren, 1979).

3.4 Indicatori di performance

Ai fini di una efficace misurazione per il controllo e il miglioramento delle prestazioni è necessario identificare indicatori adatti a rappresentare correttamente il processo: i cosiddetti *key performance indicators* (KPI). Diversi punti cruciali nella costruzione degli indicatori sono: (1) devono rappresentare in modo appropriato il processo di interesse; (2) devono essere ben compresi e accettati dai responsabili e dagli operatori del processo; (3) devono essere tracciabili e verificabili.

In generale, ogni indicatore ha un target specifico di riferimento, il quale può essere assoluto o relativo. I valori di riferimento possono essere derivati dall’esperienza passata dell’organizzazione o estrapolati da processi simili (*benchmarking*).

Nell’attuazione della missione/strategia di un’organizzazione, la scelta degli indicatori è un aspetto critico. Gli indicatori e le strategie sono strettamente e inevitabilmente collegati tra loro: una strategia senza indicatori è inutile, mentre gli indicatori senza una strategia sono privi di significato (Franco-Santos et al., 2012).

3.4.1 Funzione degli indicatori di performance

Gli indicatori rappresentano un modo per “distillare” il grande volume di dati raccolti dalle organizzazioni. Man mano che i dati diventano sempre più grandi, a causa del maggiore controllo o della crescente complessità delle operazioni, la gestione dei dati diventa sempre più complessa. Le azioni e le decisioni sono fortemente influenzate dalla natura, dall’uso e dall’orizzonte temporale (ad esempio, a breve o a lungo termine) degli indicatori.

Gli indicatori svolgono le seguenti funzioni di base:

- **specificazione** delle sfide e delle azioni da adottare;
- **controllo**. Gli indicatori consentono ai manager e ai lavoratori di valutare e controllare le prestazioni delle risorse che devono gestire;
- **comunicazione**. Gli indicatori comunicano le prestazioni ai lavoratori e ai dirigenti interni, ma anche agli *stakeholder*. Al contrario, indicatori incompleti/appropriati possono produrre frustrazione e confusione;
- **valutazione** delle azioni intraprese;
- **miglioramento**. Gli indicatori identificano i divari (tra prestazioni e obiettivi) che, idealmente, tracciano la strada per possibili azioni di miglioramento. L’entità di questi divari e la loro direzione (ad esempio, positiva o negativa) possono essere utilizzati per regolare/pianificare azioni correttive.

Ogni sistema di indicatori è soggetto a una tensione dinamica, che deriva dalla necessità di introdurre nuovi cambiamenti in risposta a nuove priorità strategiche e dalla necessità di mantenere i “vecchi” indicatori per consentire il confronto delle prestazioni nel tempo. Questa tensione determina il cosiddetto ciclo di vita degli indicatori. Qualsiasi processo può essere rappresentato attraverso indicatori. Di solito, più il processo è complesso, maggiore sarà il numero e la varietà degli indicatori da utilizzare. (Franceschini et al., 2019)

3.4.2 Obiettivi e uso degli indicatori di performance

Il focus dell’indicatore si riferisce alla risorsa su cui esso si concentra. In genere, gli indicatori riportano dati in termini finanziari (monetari) o operativi (ad esempio, dettagli relativi ai tempi di consegna, livelli di inventario o tempi di allestimento). Gli indicatori finanziari definiscono gli elementi pertinenti in termini di equivalenti di risorse monetarie, mentre gli indicatori operativi tendono a definire gli elementi in termini di altre risorse (ad esempio, tempo, persone) o output (ad esempio, unità fisiche, difetti). Il fine dell’indicatore si riferisce al modo in cui gli indicatori sono destinati a essere utilizzati. Gli

indicatori possono essere utilizzati sia per valutare i risultati (*ex post*) sia per prevedere i risultati futuri (*ex ante*).

La combinazione del focus e del fine permette di definire quattro categorie di indicatori.

		INDICATOR TENSE	
		Outcome	Predictive
INDICATOR FOCUS	Financial	Return on assets	Time financial flow
	Operational	Flow times	No. of process steps and setups

Fonte: Melnyk et al., 2004

Fig. 4.1 – Categorie di indicatori

I top manager sono generalmente più interessati agli indicatori finanziari e di risultato. Al contrario, i responsabili operativi e i lavoratori sono generalmente più interessati agli indicatori operativi, predittivi o di risultato.

3.4.3 Classificazione degli indicatori di performance

Un sistema di misurazione delle prestazioni coordina gli indicatori relativi alle varie funzioni, dal livello strategico (*top management*) al livello operativo (contesto di negozio/acquisti/esecuzione). Per una determinata attività/prodotto/funzione, possono essere sviluppati e implementati più indicatori. La sfida consiste nel progettare un quadro organico di indicatori, che consenta di rappresentare la performance complessiva di un processo da diverse prospettive.

Il sistema di misurazione delle prestazioni è in definitiva responsabile dell’allineamento e del coordinamento. L’allineamento riguarda il mantenimento della coerenza tra obiettivi e indicatori strategici. Allineamento significa che gli obiettivi, fissati ai livelli alti, dovrebbero essere coerenti con gli indicatori e le attività ai livelli più bassi. Il coordinamento riconosce la presenza di interdipendenza tra processi, attività o funzioni, valutando il grado di coerenza e/o complementarità tra loro. Il coordinamento mira a ridurre il potenziale conflitto quando ci sono obiettivi contrastanti. Ad esempio, nel settore manifatturiero, gli indicatori di produttività (numero di elementi prodotti) sono in conflitto con gli indicatori di qualità (numero di difetti).

Un buon set di indicatori indirizza e regola le attività in modo coerente con gli obiettivi strategici e fornisce *feedback* in tempo reale, dati predittivi e approfondimenti sulle opportunità di miglioramento.

Inoltre, gli indicatori devono essere reattivi ai cambiamenti (ad esempio, nelle condizioni del processo, negli input, nelle risorse, ecc.).

Il termine “indicatore” viene spesso utilizzato per riferirsi a una delle seguenti categorie:

- Indicatori di base
- Indicatori derivati
- Serie di indicatori
- Sistema di misurazione delle prestazioni

Gli indicatori di base sono definibili come “parti elementari”, ottenuti dall’osservazione diretta di un sistema empirico; essi possono essere aggregati in indicatori derivati, che specularmente ne rappresentano la sintesi. Si suppone che una serie di indicatori rappresenti una specifica funzione di processo. Per un dato target di rappresentazione, gli stessi sottoindicatori possono essere aggregati in modi diversi. Inoltre, gli indicatori derivati possono (a loro volta) essere aggregati in un indicatore derivato di grado superiore. Estendendo questo concetto al limite, la totalità degli indicatori in uso potrebbe essere aggregata ricorsivamente in un unico “super-indicatore”, che rappresenta la performance globale. Questa è davvero un’attività molto impegnativa, anche se può portare inevitabilmente a discutibili (iper)semplificazioni. Il concetto di indicatore derivato può essere interpretato anche secondo la teoria della rappresentazione dell’indicatore. Il sistema empirico di un indicatore derivato è sostituito dalla combinazione delle manifestazioni simboliche dei sottoindicatori (ad esempio, attraverso il prodotto cartesiano). Questa combinazione viene poi mappata omomorficamente in ulteriori manifestazioni simboliche.

Gli indicatori possono essere classificati in oggettivi e soggettivi (Franceschini et al. 2006). Un indicatore è oggettivo quando rappresenta la mappatura di una manifestazione empirica in una manifestazione simbolica senza che dipenda da percezioni soggettive od opinioni, altrimenti è soggettiva. L’obiettività è una condizione *sine-qua-non* per la misurazione. (Melnik et al., 2004), anche se gli indicatori oggettivi non sono necessariamente misurazioni.

Rispetto allo svolgimento dei processi gli indicatori possono essere classificati in tre tipi:

- *indicatori iniziali* (o indicatori di struttura). Riguardano gli asset disponibili e le modalità di funzionamento del processo, considerando tutte le risorse coinvolte (es. strutture, risorse umane, asset tecnologici e monetari, servizi forniti dai fornitori, e così via). Questi indicatori sono utilizzati anche per qualificare il livello di competenza e coinvolgimento delle risorse umane, con l’obiettivo finale di migliorare la pianificazione/gestione del progetto;
- *indicatori intermedi* (o indicatori di processo). Riguardano il funzionamento del processo. Misurano la coerenza tra i risultati del processo e le sue specifiche, fornendo informazioni utili sullo

stato del processo. Questo tipo di controllo permette di capire se le condizioni del processo sono stabili o se il processo ha incontrato difficoltà impreviste o imprevedibili;

- *indicatori finali* (o indicatori di risultato). Riguardano i risultati del processo, il grado di raggiungimento delle finalità del processo medesimo, gli effetti attesi/imprevisti prodotti dal processo e il rapporto costi-benefici. Sono generalmente considerati i più importanti, poiché si suppone che rappresentino i risultati finali del processo, sia quelli positivi che quelli negativi.

Un'altra classificazione si basa sulla “posizione” degli indicatori all'interno del quadro organizzativo, rappresentato con una struttura piramidale suggerita da Juran (2016).

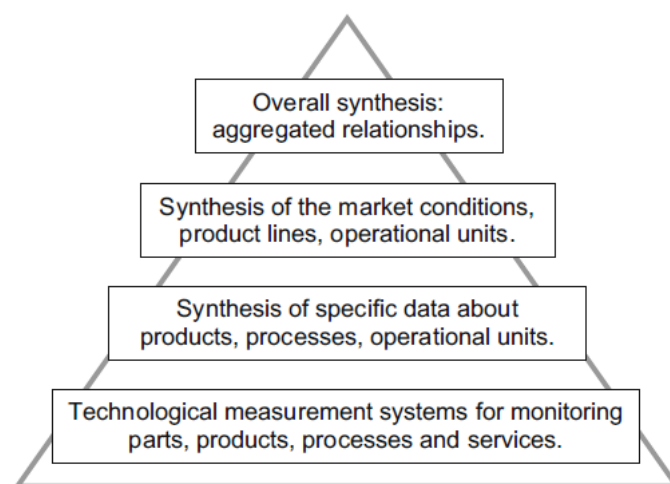


Fig. 4.2 – Piramide organizzativa

In fondo alla piramide ci sono i “sistemi di misura tecnologici” per il monitoraggio di (parti di) prodotti, processi e servizi. Al secondo livello, gli indicatori sintetizzano i dati di base sul singolo prodotto o processo: ad esempio la percentuale di difetti in uno specifico prodotto o servizio. Il terzo livello comprende i “sistemi di misurazione”, che riguardano interi settori, ad esempio linee di produzione o servizi. Al vertice della piramide vi sono gli “indicatori di sintesi complessiva”, che vengono utilizzati dal top management per valutare le condizioni degli aspetti economico/monetari, dei processi produttivi e del mercato.

Una ulteriore distinzione deve essere fatta tra indicatori economico-finanziari e indicatori di processo.

- *Indicatori economico-finanziari*. Gli indicatori derivati dalla contabilità generale sono tradizionalmente utilizzati per misurare le performance. Poiché i risultati economici sono il risultato di decisioni passate, gli indicatori economici non possono essere utilizzati per identificare le

opportunità future delle organizzazioni. Gli svantaggi più comuni degli indicatori di performance economico/finanziaria sono: la scarsa tempestività poiché la valutazione e l'aggregazione delle transazioni fisiche può richiedere molto tempo (soprattutto per le organizzazioni con una vasta gamma di prodotti); la direzione delle informazioni spesso orientata all'esterno, piuttosto che all'interno dell'organizzazione; l'incapacità di tener conto della qualità, del potenziale di innovazione, delle competenze, del miglioramento delle capacità e delle dimensioni strategiche della competitività e del valore aggiunto; la propensione a rallentare lo sviluppo di nuove e più adeguate (rispetto alle esistenti) strutture organizzative; la scarsa sensibilità ai cambiamenti nelle strategie dell'organizzazione o nel contesto esterno. La tempestività è il principale limite degli indicatori finanziari. Per determinare questi indicatori, le informazioni di interesse (ad es. quote di mercato, caratteristiche di prodotti e processi, ecc.) devono essere tradotte in termini monetari. Mentre gli indicatori economici possono essere calcolati dal saldo finale, gli indicatori finanziari devono stimare i risultati futuri. Di conseguenza, richiedono una raccolta dati più complessa e frequente, in modo da identificare tempestivamente i problemi. Uno dei punti di forza degli indicatori finanziari è l'orientamento a lungo termine, che deriva dall'analisi congiunta dei risultati di breve e di medio-lungo termine.

L'uso di indicatori derivanti dalla contabilità dovrebbe essere limitato alle organizzazioni che operano in un contesto stabile, in cui la redditività a breve termine può rappresentare adeguatamente la competitività. Quando il contesto è dinamico è più difficile identificare una correlazione tra risultati passati e futuri e quindi le informazioni devono essere più tempestive (Bititci et al., 2006). Esistono due possibili soluzioni per superare questi limiti: (1) migliorare gli attuali indicatori finanziari e/o (2) concentrarsi sulle misurazioni operative. L'analisi dei manager, infatti, si basa su più indicatori, in modo da coprire tutte le criticità per il business. A tal fine, è necessario costruire una rappresentazione equilibrata delle misurazioni sia finanziarie che operative (Kaplan e Norton 1996, 2001, 2008).

- *Indicatori di processo.* Gli indicatori di processo possono essere classificati in base al fattore di competitività misurato (tempo, qualità, flessibilità, produttività e compatibilità ambientale) e alla loro finalità (indicatori di soddisfazione del cliente o indicatori di gestione delle risorse interne).
 - Gli *indicatori di tempo* possono essere suddivisi in due categorie principali. La prima vede il tempo come una fonte di efficienza interna; in questo caso risparmiare tempo significa ridurre i costi e creare valore. La seconda categoria comprende quegli indicatori relativi alla tempestività nella risposta del mercato. In questo caso il tempo è visto come una leva per la differenziazione del prodotto.

- Gli *indicatori di qualità* indagano le caratteristiche del prodotto/servizio rispetto alle esigenze del cliente (conformità alle specifiche del prodotto e alle esigenze del cliente) e all'efficienza/efficacia del processo (spreco di risorse, difettosità, ecc.).
- Gli *indicatori di produttività* sono rappresentati dai classici indicatori di processo, generalmente definiti come il rapporto tra output di processo e input di processo e utilizzati per stimare la produttività del lavoro.
- Gli *indicatori di compatibilità ambientale* mirano a identificare la capacità dell'organizzazione di sviluppare prodotti/processi rispettosi dell'ambiente.
- Gli *indicatori di flessibilità* valutano la capacità dell'organizzazione di rispondere rapidamente ai cambiamenti, mantenendo bassi tempi e costi. Di conseguenza, più il contesto è dinamico, più è importante la flessibilità. Esistono due tipologie di cambiamenti: cambiamenti quantitativi, legati a fluttuazioni positive o negative nella domanda di prodotti/servizi, e cambiamenti qualitativi, legati a modifiche nelle tipologie di prodotti/servizi. A seconda del tipo e dell'entità delle modifiche, è possibile identificare sei possibili dimensioni: volume, mix, modularità, prodotto, produzione e funzionamento.

Il principale elemento distintivo degli indicatori di processo è la tempestività. Mentre gli indicatori economici implicano che le operazioni fisiche siano tradotte in termini monetari, gli indicatori di processo derivano semplicemente le informazioni dalle transazioni. Un secondo elemento distintivo è l'orientamento a lungo termine. Gli indicatori di processo possono fornire una sintesi dei vantaggi competitivi dell'organizzazione, tuttavia, può essere difficile valutare l'eshaustività degli indicatori di processo.

Mentre gli indicatori economico/finanziari generalmente aggregano diversi tipi di prestazioni in un'unica variabile monetaria, gli indicatori di processo sono generalmente correlati a specifici tipi di prestazioni: ad esempio, un *time-to-market* competitivo non garantisce che la qualità del prodotto soddisfi i clienti. Un limite di alcuni indicatori è la perdita di vista della complessità dell'organizzazione (Bititci et al., 2006).

3.4.4 Caratteristiche degli indicatori di performance

Un'importante caratteristica che gli indicatori di performance dovrebbero presentare è quella della univocità di interpretazione nel guidare le decisioni e le azioni intraprese per il raggiungimento del livello programmato.

Strettamente collegato al tema dell'univocità di interpretazione è quello del linguaggio utilizzato, che deve essere comprensibile da tutta la struttura e non ambiguo e quindi coerente con le caratteristiche

dell'attività misurata, con la professionalità e la cultura dei destinatari dell'informazione. Devono, inoltre essere valutata la capacità degli indicatori di rappresentare adeguatamente l'andamento del fenomeno osservato in termini di direzione ed intensità e la capacità del sistema di monitorare l'andamento delle variabili che possono avere una significativa incidenza sulla performance. In altri termini, il sistema di misurazione dovrebbe presentare il requisito della completezza, riferibile alla sua attitudine a monitorare adeguatamente l'andamento delle variabili ritenute critiche dal punto di vista strategico, anche secondo un'ottica di interdipendenza tra le scelte, al fine di evidenziare le relazioni di causa-effetto.

Un'ulteriore caratteristica che gli indicatori di performance devono avere è la flessibilità dinamica, riferibile, alla capacità di adattarsi ai cambiamenti che si manifestano nel corso del tempo. Esso dovrebbe anche risultare valido e attendibile e cioè considerare effettivamente ciò che si intende misurare.

3.4.5 Quadro di riferimento teorico sugli indicatori di performance

Esiste un importante filone di ricerca sul tema dell'impatto sui sistemi complessi degli indicatori di performance (Bourne et al., 2005; Bititci et al., 2012). Skinner (1974) ha identificato la valutazione semplicistica delle prestazioni come una delle principali cause di problemi delle organizzazioni. Successivamente, Hill (1999) ha riconosciuto il ruolo e l'importanza delle misurazioni delle prestazioni e dei sistemi di misurazione delle prestazioni nei suoi studi sulla strategia di produzione. In questi (e altri) studi, gli indicatori sono spesso visti come parte dell'infrastruttura o dell'ambiente in cui la produzione deve operare (tecnologie concettuali).

Un interessante riferimento teorico per lo studio degli indicatori di performance è costituito dalla teoria dell'agenzia (Eisenhardt, 1989). Questa teoria si applica allo studio dei problemi che sorgono quando una parte, cioè il c.d. *principal*, delega il lavoro a un'altra parte, cioè l'agente. L'unità di analisi è la metafora di un contratto tra l'agente e il preponente. Ciò che rende la teoria dell'agenzia così attraente è il riconoscimento che nella maggior parte delle organizzazioni il concetto di contratto come meccanismo di motivazione e controllo non è realmente appropriato. Seguendo questa idea, il contratto è sostituito dall'indicatore ed è l'indicatore che motiva e indirizza; è l'indicatore che consente ai mandanti di gestire e dirigere le attività degli agenti (Austin, 1996).

Un altro tema di ricerca interessante è costituito dalla teoria della dipendenza (Pfeffer e Salancik, 1978). Questa teoria afferma che il grado di interdipendenza e la natura delle interazioni tra specialisti funzionali in un'organizzazione sono influenzati dalla natura del compito collettivo che cercano di svolgere. In ambienti dinamici caratterizzati da rapide variazioni dell'offerta di prodotto e ampia eterogeneità delle richieste dei clienti, le aree funzionali che partecipano alle attività operano in modo interconnesso. La teoria delle dipendenze ha implicazioni per la progettazione di sistemi di indicatori nella

misura in cui consente di definire in che modo gli indicatori devono riflettere le interdipendenze delle diverse aree funzionali o quanto spesso questi devono essere modificati o adeguati.

Un terzo modo di guardare agli indicatori è offerto da Galbraith (1973). L'idea di base è che, presumibilmente, un insieme più ricco di indicatori incoraggia la comunicazione tra i decisori, i lavoratori, i responsabili della strategia e il cliente di un processo generico. Tuttavia, potrebbero esserci dei limiti alla capacità dell'organizzazione (così come degli individui) di elaborare insiemi più ampi di indicatori. Un numero crescente di indicatori potrebbe portare a maggiori conflitti e incertezze riguardo alle azioni future. Dato questo apparente compromesso tra ricchezza e complessità di un insieme di indicatori, una visione teorica dell'elaborazione delle informazioni potrebbe stimolare la ricerca su questioni riguardanti la dimensione ottimale di un insieme di indicatori, o forse la combinazione ottimale di risultati e indicatori predittivi inclusi nell'insieme.

Il concetto di indicatore è strettamente correlato alla nozione di target di rappresentazione, il quale costituisce un aspetto specifico del contesto che si vuole rappresentare, al fine di effettuare valutazioni, confronti, previsioni, decisioni, ecc (Franceschini et al., 2019). Gli indicatori sono strumenti concettuali che possono rendere operativo un obiettivo di rappresentazione, ovvero implementarne una rappresentazione coerente.

Per un target di rappresentazione “Q” è possibile definire un insieme generico di “n” indicatori come:

$$S_Q = \{I_1, I_2, \dots, I_n\}_Q \quad n \in N$$

dove N è l'insieme dei numeri naturali $\{0, 1, 2, \dots\}$. Si pensi a un obiettivo di rappresentazione costituito dalla “classificazione dei fornitori”, per il quale due possibili indicatori sono (I_1) “tempi di consegna” e (I_2) “quota di prodotti difettosi”.

Un indicatore può essere considerato come la trasposizione di un sistema empirico (il “mondo reale”) in un sistema simbolico (ad esempio un sistema numerico). Infatti, gli indicatori possono essere interpretati come modelli di rappresentazione del mondo reale, attraverso simboli o numeri appropriati, coerentemente con un determinato obiettivo di rappresentazione. Tuttavia, a differenza delle misurazioni:

1. l'omomorfismo tra manifestazioni empiriche e simboli (es. M: $A > Z$) non deve essere necessariamente oggettivo;
2. non è necessariamente richiesto l'isomorfismo tra relazioni empiriche e relazioni simboliche (es. F: $R > P$).

In altre parole, gli indicatori eseguono una mappatura omomorfa non necessariamente oggettiva degli elementi di A in un insieme di simboli (contenuto in Z). Inoltre, la mappatura tra relazioni empiriche e relazioni simboliche non è rilevante. Esempificando, si consideri che (i) i simboli possono includere

relazioni “nuove”, che non riflettono alcuna relazione esistente tra manifestazioni empiriche (cioè, “promozione” di relazioni) o (ii) alcune relazioni tra manifestazioni empiriche possono non essere riflesse da alcuna relazione specifica tra simboli (es., perdita/degrado delle relazioni). Naturalmente, la mancata corrispondenza tra relazioni empiriche e relazioni simboliche non è auspicabile, in quanto può distorcere la rappresentazione.

Esiste un collegamento rilevante tra il concetto di misura e quello di indicatore; infatti, la misura rappresenta un sottoinsieme degli indicatori.

Condizione di “non unicità” degli indicatori.

Un dato target di rappresentazione può essere rappresentato da diversi indicatori (indipendenti) o insiemi di indicatori. In altri termini, la scelta degli indicatori per un determinato target di rappresentazione non è necessariamente univoca. Per gli indicatori, il concetto di non unicità è triplice, in quanto può essere applicato (1) al modo di aggregare diversi indicatori in un indicatore derivato, (2) alla scelta di singoli indicatori e (3) alla scelta di insiemi di indicatori.

1. *“Non unicità” degli indicatori derivati.* In generale, il modo di aggregare gli indicatori può dipendere da diverse caratteristiche, come i tipi di scala, il significato, ecc. (Banker et al., 2004). L’assegnazione del peso è una soluzione tipica per riflettere il diverso grado di importanza dei singoli indicatori da aggregare. Purtroppo, questa modalità è spesso soggettiva per la mancanza di criteri oggettivi di pesatura (Franceschini e Maisano, 2015; Wang et al., 2015). Naturalmente, l’adozione di criteri di pesatura differenti può influenzare o distorcere significativamente i risultati dell’aggregazione (Roberts, 1979; Franceschini e Romano, 1999). Inoltre, i criteri di aggregazione dovrebbero essere coerenti con le proprietà di scala dei dati e il loro significato empirico (Roberts, 1979; Franceschini, 2001).

In questo quadro, (almeno) due diversi indicatori derivati possono essere utilizzati per fondere classifiche parziali in un’unica classifica generale: l’indicatore di Borda (IB) e l’indicatore di Condorcet (IC).

- **Indicatore di Borda (I_B).** È costruito attraverso tre fasi: (a) classificazione delle alternative per ciascun (i-esimo) (sotto)indicatore, (b) associazione a ciascuna alternativa (x) di un punteggio corrispondente alla sua posizione in classifica (cioè, 1 per la prima posizione, 2 per la seconda, e così via) e (c) sintesi dei punteggi ottenuti da ciascuna alternativa e per ciascun (sotto)indicatore in un punteggio complessivo, noto anche come punteggio di Borda, ottenuto dalla somma dei gradi ottenuti. Viene scelta l’alternativa con il punteggio più basso.

$$I_B(x) = \sum_{i=1}^m r_i(x)$$

dove “ $r_i(x)$ ” è il punteggio ottenuto dall'indicatore i -esimo in base alla sua posizione in classifica e m è il numero totale di indicatori. La scelta dell'alternativa è data da:

$$I_B(x^*) = \min_{x \in S} \{I_B(x)\}$$

dove “ S ” è l'insieme delle alternative.

- **Indicatore di Condorcet (I_C).** Per ogni coppia di alternative, si determina il numero di volte in cui un'alternativa è classificata più in alto di un'altra. In altre parole, l'alternativa x è preferita all'alternativa y quando il numero di (sotto)indicatori per i quali x supera y è maggiore del numero di (sotto)indicatori per i quali y supera x . In termini formali, il punteggio di Condorcet di una generica alternativa (x) è definito come:

$$I_C(x) = \min_{y \in S - \{x\}} \{i: xPy\}$$

dove “ i ” è il numero di indicatori per i quali “ x ” è preferito a “ y ”, “ P ” è l'operatore di preferenza e “ S ” è l'insieme delle alternative. Ad esempio, un'alternativa preferita a ciascuna delle $(n - 1)$ rimanenti otterrà il punteggio massimo possibile di $(n - 1)$. La scelta (Condorcet) cade sull'alternativa “ x^* ”, per cui:

$$I_C(x^*) = \max_{x \in S} \{I_C(x)\}$$

Sebbene gli indicatori di Borda e Condorcet (derivati) (I_B e I_C) siano correlati allo stesso obiettivo di rappresentazione, possono portare a risultati diversi.

I_B e I_C possono essere considerati indicatori indipendenti, in quanto non esiste alcuna trasformazione matematica che li possa univocamente collegare (Fishburn, 1970, 1977).

I risultati ottenuti applicando gli indicatori di Borda e Condorcet sono diversi, sebbene l'obiettivo di rappresentazione sia lo stesso. Si può dedurre che, per un dato target di rappresentazione, la rappresentazione per indicatori non è univoca. Inoltre, il modo in cui i (sotto)indicatori sono aggregati negli indicatori derivati non è necessariamente univoco.

2. “Non unicità” degli indicatori di base. Non c'è trasformazione matematica che leghi univocamente I_R e I_D ; quindi, un determinato target di rappresentazione può essere rappresentato da diversi indicatori alternativi. In altri termini, la scelta dei singoli indicatori non è necessariamente

univoca. Si può notare che l’uso di indicatori diversi può produrre risultati diversi. Anche se questi indicatori rappresentano lo stesso target di rappresentazione, possono portare ad azioni e decisioni diverse.

3. *“Non unicità” delle misure.* Il mancato rispetto della condizione di unicità può avere diverse conseguenze. Quello più evidente è che due o più indicatori alternativi possono essere associati a un determinato target di rappresentazione e non ci sarà necessariamente alcuna trasformazione matematica che li leghi. Si noti che anche le misurazioni non soddisfano la condizione di unicità (Roberts, 1979); infatti ad una data misura è associata una “classe di scale equivalenti”. Tutte le possibili trasformazioni tra una scala e l’altra formano la cosiddetta “classe delle trasformazioni ammissibili” (Finkelstein, 2003).

Per quanto riguarda le misurazioni, l’eventuale scarsa chiarezza della definizione del processo di misurazione, l’errata determinazione di osservazioni/leggi empiriche e il mancato rispetto della condizione di unicità concorrono alla formazione del concetto di incertezza (JCGM 100:2008 2008; Finkelstein, 2003). Un concetto simile può essere definito per gli indicatori.

4. *“Non unicità” quando si specializza l’obiettivo di rappresentazione.* Una maggiore specializzazione del target di rappresentazione non elimina necessariamente la condizione di non unicità degli indicatori. In generale, una specializzazione semantica di un target di rappresentazione favorisce una più accurata definizione del relativo indicatore (o insieme di indicatori), senza mai raggiungere la condizione di unicità. Infatti, sebbene il target di rappresentazione possa essere ulteriormente specializzato (es. “identificare la linea con il minor numero medio di pezzi scartati, con almeno due difetti”), rimarranno diverse alternative nella definizione degli indicatori (es. un eventuale indicatore potrebbe non considerare le parti prodotte durante un rallentamento/interruzione del processo, mentre un altro potrebbe includerle). Il risultato è che, per un dato target di rappresentazione, non può esserci una definizione univoca dell’indicatore rilevante. In conclusione, la condizione di unicità può essere considerata da due diverse prospettive. La prima riguarda la definizione del target di rappresentazione (cioè, “cosa” rappresentare) e la seconda riguarda il modo di eseguire la rappresentazione (cioè, “come” rappresentare); la specializzazione semantica del target di rappresentazione può affinare solo il primo aspetto.
5. *“Non unicità” degli insiemi di indicatori.* Una diretta conseguenza della condizione di non unicità è che un obiettivo di rappresentazione può essere descritto da diversi insiemi di indicatori. Ciò stimola la necessità di regole (o procedure empiriche) per identificare quelle migliori. Questo, a sua volta, richiede l’analisi del possibile impatto degli indicatori: insiemi diversi di indicatori, infatti, possono influenzare in modo diverso il comportamento complessivo di un sistema, con

conseguenze inaspettate (Barnetson e Cutright 2000; Hauser e Katz 1998; Franceschini et al. 2013).

Nella scelta degli indicatori dovrebbero essere considerate due caratteristiche:

- caratteristiche di base, direttamente correlate alla definizione matematica degli indicatori (es. unicità, esaustività, non ridondanza, monotonia, ecc.) (Roberts, 1979; Roy e Bouyssou, 1993);
- caratteristiche operative, relative alla loro attuazione pratica (es. validità, robustezza, semplicità, integrazione, economia, compatibilità, ecc.) (Caplice e Sheffi, 1994).

Proprietà degli indicatori

Un “insieme di indicatori” dovrebbe rappresentare le dimensioni più importanti di un processo, dovrebbe, cioè, costituire un “modello di rappresentazione” a supporto delle valutazioni e delle decisioni sul processo stesso (Keeney e Raiffa, 1976). Secondo Roy e Bouyssou (1993), ogni modello è una “rappresentazione di molti fenomeni, estratti dal loro contesto per supportare l’analisi”.

Quando si definiscono gli indicatori, si devono considerare due livelli di performance:

- *livello singolo (o locale)*. Ogni indicatore si concentra sulla rappresentazione di una dimensione specifica del processo di interesse.
- *livello aggregato (o globale)*. Le dimensioni rilevanti del processo (o una parte di esso) sono rappresentate da un insieme di indicatori, che spesso sono aggregati in altri indicatori (derivati).

Un indicatore è una mappatura omomorfa, non necessariamente oggettiva, di un insieme di manifestazioni empiriche in un insieme di manifestazioni simboliche. Questa mappatura non è necessariamente uno-a-uno: le manifestazioni che non sono distinte dalla prospettiva target di rappresentazione sono mappate nello stesso simbolo.

Proprietà dei singoli indicatori

Gli indicatori di performance singolarmente intesi godono delle proprietà di seguito illustrate.

- *Coerenza con il target di rappresentazione*. Un indicatore dovrebbe rendere operativo adeguatamente un target di rappresentazione. La coerenza tra gli obiettivi di rappresentazione e gli indicatori deve essere verificata accuratamente (Denton, 2005).
- *Significatività delle affermazioni*. L’uso corretto di una scala di misurazione dipende dalle affermazioni relative agli oggetti cui quella scala è riferita. La stessa nozione può essere estesa agli indicatori (sia di base che derivati). Sebbene sia noto che gli indicatori non richiedono necessariamente l’isomorfismo, il fatto che un’affermazione sia significativa implica generalmente che le relazioni tra manifestazioni simboliche (es. simboli/numeri) riflettano quelle tra manifestazioni

empiriche, (es. oggetti) senza che queste ultime vengano indebitamente promosse o degradate. Per questo motivo, la significatività delle affermazioni che coinvolgono un indicatore generico è certamente una condizione auspicabile (Narens, 1996, 2002).

Un'affermazione che riguarda un indicatore di base si dice significativa se la sua verità o falsità rimane invariata ogni volta che si applica all'indicatore stesso una qualsiasi trasformazione di scala ammissibile; in caso contrario, è chiamato privo di significato. Un'affermazione che coinvolge un indicatore derivato si dice significativa se la sua verità o falsità rimane invariata ogni volta che si applica qualsiasi ammissibile trasformazione di scala a uno o più dei suoi corrispondenti sottoindicatori; in caso contrario, è chiamato privo di significato.

Il meccanismo di verifica prevede che la significatività di un'affermazione sia dimostrata attraverso una prova generale (analitica), mentre la sua mancanza di significato possa essere formalmente dimostrata sia attraverso una prova generale (analitica) sia mediante un controesempio.

- *Livello di dettaglio.* Il livello di dettaglio è un aspetto importante da considerare quando si progetta un indicatore. Un indicatore con un livello di dettaglio esagerato fornisce più informazioni del necessario; quindi, potrebbe complicare l'analisi ed essere economicamente dispendioso. Invertendo la prospettiva, se (i) un indicatore mappa due manifestazioni empiriche in diverse manifestazioni simboliche e (ii) queste manifestazioni empiriche sono indistinguibili dalla prospettiva del target della rappresentazione, allora la risoluzione della mappatura sarà più alta del necessario e il livello di dettaglio sarà esagerato. Questa condizione può essere verificata analizzando attentamente il target di rappresentazione.
- *Controproduttività.* In un processo gestito attraverso indicatori, manager e dipendenti spesso concentrano la loro attenzione su indicatori relativi agli incentivi locali; questo comportamento può talvolta essere controproducente poiché può avere un impatto negativo sulle prestazioni globali dell'intero processo. Focalizzarsi troppo su di una singola dimensione del processo può essere controproducente in termini globali.

Alcuni sottoindicatori concorrono a rappresentare diverse dimensioni o caratteristiche di un processo. Si presume che la performance globale del processo possa essere monitorata, magari attraverso un indicatore derivato che aggrega alcuni sottoindicatori. Se l'incremento di uno specifico sottoindicatore è correlato negativamente alla diminuzione di (almeno) un altro sottoindicatore, determinando una significativa diminuzione della performance globale, allora quel determinato sottoindicatore è controproducente. Naturalmente, questa definizione implica che i sottoindicatori siano definiti su scale per le quali le relazioni di ordine sono significative. Se i

sottoindicatori controproducenti sono legati agli incentivi, l’attenzione degli utenti potrebbe concentrarsi pericolosamente su di essi, a scapito della performance globale.

- *Impatto economico.* L’impatto economico di un indicatore dipende strettamente dalla natura del processo indagato e può essere studiato in termini relativi, ad esempio confrontando due (o più) indicatori alternativi che rendono operativo lo stesso target di rappresentazione. In generale, difficilmente si può affermare in termini assoluti che un indicatore è economico, ma si può affermare facilmente se un indicatore sia più (o meno) economico di un altro. Per confrontare diversi indicatori, bisogna definire un’adeguata mappatura del loro impatto economico; questa mappatura non è necessariamente unica ma dipende dalla natura del processo indagato.
- *Semplicità d'uso.* La semplicità d'uso può essere studiata in termini relativi, confrontando due (o più) indicatori alternativi che rendono operativi lo stesso target di rappresentazione. Questo confronto può includere diversi criteri complementari relativi alla semplicità d’uso (ad esempio, gli indicatori dovrebbero essere facili da capire, facili da usare, ecc).

Proprietà degli insiemi di indicatori

Un insieme di indicatori deve rappresentare un processo o una parte rilevante di esso. Un processo generico può trovarsi in diversi stati o condizioni. Lo stato di un processo è una “istantanea” degli indicatori in uso in un determinato momento/situazione. Un insieme o una famiglia di indicatori è un gruppo di indicatori che dovrebbero rappresentare un processo generico (o parte di esso). Per i processi complessi, gli indicatori sono generalmente raggruppati in sottoinsiemi, a seconda della loro affinità.

Gli indicatori devono rappresentare le dimensioni del processo, senza omissioni o ridondanze. A tal fine, l’esaustività e la non ridondanza sono due proprietà auspicabili.

L’esaustività è probabilmente la proprietà più importante per un insieme di indicatori che dovrebbero rappresentare un processo. Un insieme di indicatori è considerato non esaustivo quando:

- la rappresentazione non considera una o più dimensioni (importanti) del processo; cioè, l’insieme è incompleto poiché mancano alcuni indicatori;
- uno o più indicatori non mappano manifestazioni empiriche distinte in manifestazioni simboliche distinte; si può quindi affermare che la risoluzione della mappatura è inferiore al necessario.

Nell’uso degli indicatori, l’esaustività è una proprietà di base per una buona rappresentazione di un processo complesso (Roy and Bouyssou, 1993). L’analisi di questa condizione richiede una conoscenza approfondita del processo esaminato. Sebbene la letteratura scientifica non includa strumenti automatici per farlo, ha definito alcuni approcci diffusi per la costruzione di un insieme “bilanciato” di indicatori, come la *balanced scorecard* o il modello EFQM (*European Foundation for Quality Management*). Poiché

un processo è un sistema dinamico in continua evoluzione, i target di rappresentazione possono cambiare nel tempo. Gli indicatori devono essere periodicamente corretti e aggiornati, in modo da essere allineati con gli obiettivi di rappresentazione, garantendo l'eshaustività della rappresentazione (Flapper et al., 1996).

Se (1) un insieme (o una famiglia) di indicatori (F) è esaustivo e (2) continua a esserlo anche togliendo un indicatore (I_k), allora quest'ultimo indicatore è ridondante.

Proprietà degli indicatori derivati

Un indicatore derivato trasforma e/o aggrega le informazioni dei sottoindicatori in un unico indicatore sintetico. Per questo motivo, gli indicatori derivati possono contribuire a semplificare la rappresentazione del processo.

- *Monotonia*. Questa proprietà prevede che, se l'aumento/decremento di uno specifico sottoindicatore non è associato all'aumento/decremento dell'indicatore derivato (*ceteris paribus*), allora l'indicatore derivato non è (strettamente) monotono rispetto a quello specifico sottoindicatore. La definizione implica che le manifestazioni simboliche dei sottoindicatori siano rappresentate utilizzando scale ordinali. Quando gli indicatori sono rappresentati su scale senza relazione d'ordine (ad esempio, scale nominali), la proprietà della monotonia perde di significato. La monotonia dovrebbe sempre essere espressa rispetto ad un determinato sottoindicatore. Così come ha senso affermare che un indicatore derivato è (o meno) monotono rispetto ad un determinato sottoindicatore, non ha senso affermare che un indicatore derivato è monotono in generale.
- *Compensazione*. Se le variazioni di due o più sottoindicatori possono compensarsi a vicenda, senza alcuna variazione dell'indicatore derivato, allora l'indicatore derivato soddisfa la proprietà di compensazione. Tale definizione è riferita a due soli sottoindicatori, ma con opportuni adeguamenti, la stessa proprietà può essere estesa a tre o più sottoindicatori. In generale, possiamo definire compensazione debole una forma di compensazione in cui le variazioni di due (o più) sottoindicatori possono compensarsi a vicenda, non producendo necessariamente alcuna variazione nell'indicatore derivato.
- *Proprietà accessorie*. Le proprietà accessorie sono state introdotte per aiutare a identificare target di rappresentanza coerenti con gli obiettivi strategici. Queste proprietà sono classificate come “accessorie” in quanto si concentrano sui target di rappresentazione, piuttosto che sugli indicatori.

- *Obiettivi a lungo termine.* Poiché gli indicatori devono favorire il raggiungimento degli obiettivi a lungo termine di un’organizzazione (o di una parte di essa), i target di rappresentazione devono riguardare dimensioni strettamente correlate a tali obiettivi.
- *Orientamento al cliente.* In un mercato competitivo, la soddisfazione del cliente dovrebbe essere uno degli obiettivi principali delle organizzazioni. Molti indicatori si concentrano su esigenze interne come la produttività, l’efficienza del personale, la riduzione dei costi e il tempo di ciclo. Sebbene queste esigenze siano tutte lodevoli, di solito hanno uno scarso impatto diretto sulle esigenze dei clienti.

3.5 La misurazione delle performance negli smart manufacturing system

La misurazione delle prestazioni degli *smart manufacturing system* è una delle problematiche più interessanti nel processo di evoluzione dei *performance management system*. Gli *smart manufacturing system* prevedono interazioni tra i diversi partner della filiera in termini di collaborazione, risorse umane, coordinamento, capacità organizzative e tecnologiche (Kamble et al., 2020). Essi consentono notevoli incrementi di performance in termini di produttività, integrazione, trasparenza, flessibilità e redditività (Ndubisi et al., 2020), la cui misurazione svolge un ruolo fondamentale nella gestione delle imprese (Kamble e Gunasekaran, 2020). Gli *smart manufacturing system* hanno una elevata capacità di produrre dati e raccogliere informazioni in tempo reale, ma sono caratterizzati da rapidi cambiamenti ed elevata volatilità.

In tali contesti la gestione delle performance è fortemente concentrata sull’anticipazione del futuro e sulla predittività piuttosto che sull’adattamento basato sull’analisi della gestione passata (Stefanovic, 2015). In letteratura si evidenzia la necessità di studi sulla misurazione delle prestazioni nel contesto, peraltro in continua evoluzione, degli *smart manufacturing system* (Frederico et al. 2019, 2020; Kamble et al., 2018a; Ghadge et al., 2020). Infatti, esiste un significativo divario di conoscenze sui sistemi olistici di misurazione delle prestazioni nell’ambito di tali sistemi di produzione intelligenti. In questi contesti la misurazione delle prestazioni è molto impegnativa a causa della natura diversificata e multidimensionale della produzione, della dinamicità necessaria per allineare le strategie alle istanze dell’ambiente competitivo per mantenere prestazioni competitive e innovative (Hon, 2005).

Alcuni studi hanno classificato le misure di prestazione come; “qualitative” o “quantitative” (Beamon, 1999; Shepherd e Günter, 2006); “di costo” o “non di costo” (Gunasekaran et al., 2001), di “qualità”, “costo”, “risultato”, “flessibilità”, “strategiche”, “operative” o “tattiche” (Shepherd e Günter, 2006). Alcuni studi hanno classificato le misure in base al quadro di “utilizzo delle risorse”, “visibilità”, “fiducia” e

“innovatività” (Chan, 2003), e “riferimento operativo della catena di fornitura” (Lockamy e McCormack, 2004).

- **Misure di costo.** La riduzione dei costi di produzione è uno degli obiettivi critici degli *smart manufacturing system*. Le misure di performance utilizzate per dimostrare i vantaggi di costo degli *smart manufacturing system* sono misure generali utilizzate nei sistemi di produzione tradizionali e includono profitto (Pistolesi et al., 2018; Roy et al., 2015), costo di lavorazione (Fan et al., 2019), costo energetico (Gadaleta et al., 2019; Edgar e Pistikopoulos, 2018), costo di manutenzione (Vogl et al., 2019), costo di trattamento dei rifiuti (Santos et al., 2019) e costo delle scorte (Chen e Kuo, 2019; Castellano et al., 2019). La maggior parte degli studi di cui sopra ha confrontato le prestazioni degli *smart manufacturing system* con i sistemi di produzione tradizionali in termini di costo, deducendo che gli *smart manufacturing system* hanno prestazioni di gran lunga migliori dei sistemi di produzione convenzionali garantendo sensibili riduzioni di costo (Alqahtani et al., 2019; Gadaleta et al., 2019).
- **Misure di qualità.** L’uso di tecnologie dell’informazione e della comunicazione avanzate, come IoT, *machine learning* e analisi predittiva consentono agli *smart manufacturing system* di eseguire il monitoraggio in tempo reale e il controllo proattivo di prodotti, processi e apparecchiature. La capacità predittiva degli *smart manufacturing system* li rende superiori ai tradizionali sistemi di produzione in termini di qualità poiché consente la rilevazione dei difetti in tempo reale (He et al., 2019; Liang et al., 2019), la previsione della vita utile residua della macchina (Kumar et al., 2019; He et al., 2019), il rilevamento precoce dei guasti (Carvajal Soto et al., 2019) e le visualizzazioni di processo (Qian et al., 2019). Inoltre, gli *smart manufacturing system* garantiscono un maggiore efficienza delle richieste di garanzia da parte dei clienti (Alqahtani et al., 2019); della riduzione degli scarti (Chauhan et al., 2019; Rajput e Singh, 2019), dei prodotti difettosi (Kucukoglu et al., 2018; Kang et al., 2018) e degli errori di ispezione (Kang et al., 2018; Uva et al., 2018). Gli *smart manufacturing system* permettono l’integrazione della catena di approvvigionamento, migliorando la qualità delle relazioni con i fornitori, le partnership collaborative (Longo et al., 2019; Wang et al., 2019) e una migliore soddisfazione dei clienti (Petrillo et al., 2019).
- **Misure informatiche.** Le tecnologie e le architetture di Industry 4.0 connettono le operazioni fisiche della fabbrica con il mondo cibernetico, che necessita di maggiore coerenza delle informazioni, affidabilità dei dati, privacy e sicurezza delle informazioni (O’ Donovan et al., 2019). Zhao et al. (2019) sostengono che l’uso di ICT e IoT avanzati consentono una migliore tracciabilità dei prodotti e una maggiore sicurezza delle informazioni. La capacità di archiviazione dei dati, lo

sviluppo delle competenze, la riservatezza delle informazioni e l’elevata latenza sono sfide significative che influiscono sulle prestazioni degli *smart manufacturing system* (Li et al., 2019). La protezione della rete costituisce un requisito critico per la gestione della collaborazione uomo-macchina (Khalid et al., 2018), e per l’affidabilità del sistema di gestione dei dati, che include la raccolta, il trasferimento, l’archiviazione e l’analisi dei dati.

- **Misure umane.** L’impatto dei progressi tecnologici sulle risorse umane ha ricevuto attenzione anche in letteratura (Pinzone et al., 2019; Eimontaite et al., 2019; Kamble et al., 2020c; Tortorella et al., 2020). Pinzone et al. (2019) suggeriscono che gli *smart manufacturing system* favoriscono la costruzione di un solido ambiente sociale che consente il miglioramento della salute, dell’apprendimento e delle prestazioni operative dei lavoratori. Le tecnologie come la realtà virtuale e aumentata accelerano l’apprendimento dei lavoratori, riducendo la pressione lavorativa, con effetti positivi sul morale (Uva et al., 2018; Kamble et al., 2018a, 2018b; Blanco-Novoa et al., 2018). Gli altri fattori umani dei quali è possibile valutare le prestazioni sono la riduzione degli sforzi umani e dell’ansia, il miglioramento delle condizioni di lavoro e gli interventi non invasivi (Kamble et al., 2018a, 2018b; Roldan et al., 2019; Eimontaite et al., 2019). Gli studi di cui sopra suggeriscono che gli *smart manufacturing system* migliorano il confort dei luoghi di lavoro e alleviano lo stress psicologico dei lavoratori.
- **Misure di produttività.** Grazie alla disponibilità di una notevole quantità di dati generati in tempo reale in diversi punti delle catene di approvvigionamento, gli *smart manufacturing system* permettono l’applicazione di tecniche avanzate di ottimizzazione e simulazione ai processi di lavorazione (Liang et al., 2019; Zhao et al., 2019; Biondi et al., 2017), ai layout di impianti e magazzini (Banyai et al., 2019; Peruzzini et al., 2019), all’uso dei materiali (Chauhan et al., 2019; Meng et al., 2018), alla progettazione di workstation (Pistolessi et al., 2018) e dei flussi di lavoro (Tufano et al., 2018).
- **Misure di flessibilità.** Nei sistemi di produzione tradizionali, la flessibilità viene valutata mediante diverse misure di prestazione che includono la flessibilità del sistema in termini di mix di prodotti, consegna, processo, macchina e volume. Gli *smart manufacturing system* permettono di estendere le misure di flessibilità, includendo la capacità di eseguire in tempo reale la pianificazione del lavoro (Saif et al., 2019; Fan et al., 2019; Framinan et al., 2019), le modifiche di progettazione e ingegnerizzazione (Davis et al., 2012), il monitoraggio degli ordini dei clienti (Qu et al., 2019; Petrillo et al., 2019) e lo stato della fornitura dei prodotti (Longo et al., 2019; Oh e Jeong, 2019). La fornitura di una serie più estesa di misure di flessibilità in tempo reale consente, inoltre, di

assumere in modo rapido, efficace ed efficiente decisioni che prevedono l'interazione con gli stakeholder.

3.6 Business intelligence, business analytics e performance management systems

L'applicazione dei *business analytics* a modelli di *performance management* consente di definire un insieme di processi, metodologie, metriche e sistemi finalizzati a potenziare la misurazione e la gestione delle *performance* di un'organizzazione. Grazie all'impiego di evoluti *analytics* è possibile costruire complessi apparati informativi che attraverso l'impiego di una variegata massa di dati, molteplici strumenti di *performance measurement* e di analisi, supportano il management nella comprensione delle dinamiche di business, nei processi decisionali e nel monitoraggio dei risultati. L'idea di fondo è rappresentata dalla possibilità di definire, gestire e migliorare le *performance* di tutte quelle variabili che sono collegate alla profittabilità dell'impresa, con l'obiettivo di migliorare i processi decisionali, motivazionali e di apprendimento.

I diversi modelli proposti dalla letteratura presentano alcune caratteristiche comuni: sono multidimensionali, implementano sia parametri finanziari sia misure fisico-tecniche, richiedono l'esplicita individuazione di relazioni causali tra le diverse variabili. L'introduzione di misure non economico-finanziarie e lo sviluppo di relazioni causa-effetto tra queste e gli indicatori è un requisito particolarmente importante affinché i PMS possano svolgere un ruolo efficace. Nella prassi, però, l'individuazione di tali relazioni costituisce tutt'ora un problema irrisolto.

Tipicamente, le relazioni individuate tra le misure sono lineari e non prendono in considerazione la possibile interdipendenza tra diverse variabili o il ritardo temporale con cui potrebbero manifestarsi alcuni effetti. Allo stesso tempo, tali relazioni si basano frequentemente su assunzioni *ex-ante*, tendenzialmente non verificate con le dovute analisi statistiche. In altre parole, tali approcci ipotizzano che le misure fisico-tecniche siano capaci di influenzare fortemente la *performance* dell'impresa senza considerare che, ad esempio, la gestione di una singola determinante potrebbe riverberare effetti in altre aree.

Tali difficoltà nel collegare misure finanziarie e non finanziarie conducono le imprese ad un massiccio utilizzo delle prime rispetto alle seconde, con la conseguenza che, nel complesso, i PMS tendono a replicare i limiti descritti per i tradizionali sistemi di controllo: orientamento al passato e al breve termine, incapacità di identificare le determinanti della *performance* e di catturare i rapidi cambiamenti del mercato e del contesto competitivo in cui opera l'impresa. Peraltro, questi sistemi di controllo prendono in considerazione le relazioni tra le misure di tipo lineare, le quali non tengono conto delle possibili interdipendenze tra diverse variabili o del ritardo con cui potrebbero manifestarsi alcuni effetti (Brignall, 2002; Norreklit, 2000). Inoltre, tali relazioni si basano frequentemente su assunzioni che non prevedono analisi statistiche e ipotizzano che attraverso la misurazione di parametri fisico-tecnici sia possibile influenzare la *performance* dell'impresa, ma senza considerare l'impatto sulle performance di eventuali

inefficienze che potrebbero verificarsi in altre aree. Inoltre, i PMS, nella prassi, risultano ancora eccessivamente focalizzati su dimensioni di carattere interno. Nonostante i progressi dell’ICT diano alle imprese la possibilità di raccogliere enormi quantità di dati funzionali, in termini utilitaristici, rispetto ai potenziali stakeholder, e di monitorare, quindi, più accuratamente fattori esterni oltre che interni, questa mole di dati non viene impiegata sistematicamente per la misurazione della performance.

Pertanto, l’approccio analitico alla misurazione e gestione della *performance* aziendale, mediante l’inclusione di un sistema coordinato di misurazione della *performance* aziendale basato sui *business analytics*, può rappresentare un’opportunità per l’area del controllo e una leva per la creazione di valore. Infatti, i *business analytics* non si risolvono in semplici applicazioni funzionali, ma si caratterizzano per il loro sviluppo e impiego nell’ambito di una rete causale di variabili competitive, obiettivi, risorse, processi, azioni e risultati che caratterizzano il modello di business dell’impresa. La scelta e la definizione dei *business analytics* riflettono dunque il modo in cui l’impresa intende conseguire e migliorare la propria performance aziendale e controllare i fattori critici di successo.

La potenzialità e l’efficacia dei *business analytics* non risiedono soltanto nella possibilità di collegarli al modello di business dell’impresa e alla sua *performance*, ma anche e soprattutto nella dotazione informativa e nella capacità di combinare il potenziale di dati con tecniche e metodi d’indagine sia di *management accounting* sia matematici, statistici ed econometrici. I *business analytics* sono, pertanto, applicazioni che, al pari degli *analytics* intesi in senso lato, assistono il management in diversi ambiti (Davenport et al., 2010), come la comprensione delle dinamiche di business e delle collegate relazioni causa-effetto, la valutazione dell’impatto delle strategie, il miglioramento continuo, la razionalità decisionale, l’apprendimento, il *knowledge management* e la gestione dei rischi.

Più in generale, l’uso dei *business analytics* consente di definire metodi e strumenti di analisi rapidi e potenti, come *data mining*, analisi di regressione, analisi correlazionale, clusterizzazione, *text mining*, grazie ai quali individuare tendenze e costruire modelli di previsione. In particolare, essi impiegano l’esplorazione metodica e i dati di un’organizzazione per comprendere e migliorare i processi aziendali; utilizzano sia l’analisi statistica che la modellazione predittiva per migliorare le relazioni con i clienti e il controllo dei potenziali rischi per ridurre le minacce grazie all’analisi delle cause degli accadimenti passati (Zhao, 2021); consentono di realizzare una *knowledge discovery* avanzata, applicando tecniche di estrazione di regole mediante associazione, segmentazione dei database e *clustering*; rilevano le anomalie e integrano la modellazione predittiva con i diversi sistemi informativi aziendali (es. risorse umane, contabilità, finanza, marketing ecc.) (Lim et al., 2013).

Mediante l’utilizzo delle tecniche innanzi enunciate, i *business analytics* permettono di migliorare sensibilmente le capacità di individuazione e risoluzione dei problemi e consentono previsioni più

efficaci e decisioni più intelligenti in aree che in precedenza erano dominate dall'intuito piuttosto che da rigorose analisi dei dati di fatto. Prove crescenti suggeriscono che l'utilizzo dei *business analytics* consentono di realizzare rendimenti più elevati (Brynjolfsson, Hitt e Kim; 2011). Mello, Leite e Martins (2014) evidenziano i potenziali e preziosi effetti della *business analysis* sui *performance management system*, ma sottolineano anche la necessità di ulteriori ricerche in quest'area.

Nell'ambito dei *performance management system* i *business analytics* si integrano efficacemente con la *business intelligence* nell'interpretazione delle informazioni aziendali in modo funzionale al perseguimento degli obiettivi aziendali, conferendo alle azioni da compiere maggiore oggettività ed efficacia. Infatti, tra la *business intelligence* e i *business analytics* vi è un rapporto di complementarità, laddove la prima si concentra sull'analisi dello stato attuale e i secondi consentono la previsione delle tendenze future. Infatti, i sistemi di *business intelligence* forniscono informazioni storiche per il supporto alle decisioni relative alle operazioni aziendali quotidiane, relative a problemi organizzativi o strategici, per la determinazione delle azioni da intraprendere per raggiungere gli obiettivi (Zhao, 2013), mentre i *business analytics* utilizzano, nell'ambito di tecniche statistiche avanzate, i dati forniti dai sistemi di *business intelligence*. La produzione di dati è legata all'utilizzo di tecnologie, mentre l'elaborazione dei dati per ricavare approfondimenti prevede l'uso delle tecniche analitiche che compongono i *business analytics* (Richards et al., 2017).

La *business intelligence* è, tradizionalmente, riferita a concetti e metodi volti a migliorare il processo decisionale aziendale utilizzando sistemi di supporto basati sui fatti. Essa include anche le architetture, gli strumenti, i database, le applicazioni e le metodologie sottostanti. I principali obiettivi della *business intelligence* sono consentire un accesso interattivo e facile a dati anche diversi tra di loro, consentire l'elaborazione e la trasformazione di questi ultimi e fornire ai manager aziendali e agli analisti la capacità di condurre analisi appropriate per la valutazione delle azioni da compiere. Con un approccio datacentrico, la *business intelligence* utilizza tecnologie avanzate di raccolta, estrazione e analisi dei dati (Turban et al., 2008; Watson e Wixom, 2007). Essa include diversi componenti tecnologici, come *datawarehouse* (spesso considerato il fondamento della BI), *data mart* e strumenti per l'estrazione, la trasformazione e il caricamento (ETL), *database*, strumenti di visualizzazione ed elaborazione analitica *on-line* (OLAP) e strumenti di reporting avanzati per esplorare importanti caratteristiche dei dati, che consentono ai decisori di visualizzare e lavorare con sottoinsiemi di dati (Lim et al., 2013). Probabilmente le visualizzazioni o l'OLAP potrebbero essere considerate una forma di analisi, tuttavia i *business analytics* riguardano esclusivamente l'analisi basata sull'uso di metodi statistici, di *data mining* o di altri metodi quantitativi per ricavare informazioni dai dati.

L'importanza dell'integrazione dei *business analytics* e i *performance management systems* è evidenziata da una moltitudine di autori, sotto diversi punti di vista. Davenport, Harris and Morison (2010) evidenziano l'importanza di basare i KPI sugli *analytics* per migliorare le decisioni chiave. Mello, Leite and Martins (2014) e Warren, Moffitt and Byrnes (2015) evidenziano come i *business analytics* basati sui *big data* sono in grado di arricchire i sistemi di controllo, in termini di valutazione della performance, comunicazione degli obiettivi e formulazione della strategia. Secondo Klatt, Schläfke, and Möller (2011) l'integrazione dei *business analytics* nei PMS rappresenta la chiave nell'assunzione di decisioni di successo. Essi suggeriscono *performance management system* multilivello, nei quali i risultati di analisi vengono inseriti nei diversi livelli. Allo stesso modo Appelbaum et al. (2017) propongono un *framework* di *data analysis* per il *management accounting* basato sul *balanced scorecard*. Secondo Nudurupati, Tebboune e Hardman (2016), Năstase e Stoica (2010), Schläfke, Silvi e Möller (2012), nonché Silvi et al. (2010) i *business analytics* possono costituire lo strumento fondamentale per l'evoluzione dei *performance management system* per fronteggiare la sfida posta dalle nuove tecnologie.

Azvine, Nauck e Ho (2003) hanno definito il paradigma della *intelligent business analysis*, proponendo una piattaforma intelligente che incorpora il *soft computing* nelle applicazioni di analisi aziendale per individuare modelli nascosti nei dati e spiegarli in modo automatico, al fine di dotare di intelligenza i sistemi di supporto alle decisioni. Più specificamente, la *intelligent business analysis* prevede la raccolta, l'organizzazione e l'analisi di *big data*, *big information*, *big knowledge* e *big intelligence* per scoprire e visualizzare modelli e informazioni, estraendone conoscenza mediante l'utilizzo dell'intelligenza artificiale (Sun e Stranieri, 2021). Nell'era digitale dei *big data*, dell'analisi e dell'intelligenza artificiale, la *intelligent business analysis* rappresenta un paradigma molto interessante (Sun, 2020), che realizza un'integrazione di intelligenza artificiale, *business intelligence* e *business analysis* e utilizza strumenti avanzati di elaborazione per fornire servizi intelligenti da applicare al business, alla gestione e alla governance aziendale.

3.7 Business performance analysis

L'integrazione dei più avanzati strumenti di analisi all'interno dei *performance management system* sopra descritta consente di rispondere alla necessità di analisi più avanzate dei dati, di pianificazione degli scenari e di capacità predittive determinata dalla crescente complessità dei processi, anche grazie a una sempre maggiore disponibilità di dati per le aziende. In particolare, il risultato dell'applicazione dei sistemi di *business analytics* a modelli di *performance management system*, intesi come un insieme di processi, metodologie, metriche e sistemi finalizzati a misurare e gestire le performance di un'organizzazione, è identificabile nella *business performance analysis*, che si realizza mediante apparati

informativi, i quali, attraverso l’impiego di un’ampia e varia massa di dati e metodi di indagine analitica, supportano il management nella comprensione delle dinamiche di business, nei processi decisionali e nel monitoraggio dei risultati (Raffoni et al., 2017).

Attraverso la cattura selettiva, il controllo e la comunicazione di elementi tangibili e/o intangibili in un accoppiamento basato sull’analisi del nesso di causalità tra *input*, processi, *output* e risultati, la *business performance analysis* fa aumentare significativamente l’efficacia dei *performance management system*. Diversi metodi possono essere utilizzati per identificare e analizzare tali accoppiamenti causali nell’ambito della gestione della performance (Silvi et al., 2013). Questi metodi possono essere qualitativi, ma possono anche essere adottati con un livello di progettazione analitico, che potenzialmente permette di scoprire dinamiche di business nuove o nascoste sia a livello strategico che esecutivo.

La *business performance analysis* utilizza molteplici fonti che vanno dai dati contabili “*drill-down*” (si immagini le suddivisioni dei ricavi e dei costi) a metodi matematici, statistici ed econometrici più sofisticati, in grado di fornire informazioni sulle dinamiche dei *driver* di performance. L’inclusione di tali strumenti di analisi in un sistema coordinato di misurazione delle performance aziendali distingue la *business performance analysis* dalla più ampia categoria degli *analytics*. In particolare, essa non si risolve in una mera applicazione funzionale, ma opera nell’ambito di una rete causale di variabili competitive, obiettivi, risorse, processi, azioni e risultati che caratterizzano il modello di business dell’impresa. La scelta e la definizione del modello di *business performance analysis* di un’impresa riflette, dunque, il modo in cui essa intende conseguire e migliorare la propria performance aziendale e controllare i fattori critici di successo (Silvi et al., 2011). In tal modo l’analisi persegue la sua finalità di supportare la creazione di valore nel lungo periodo.

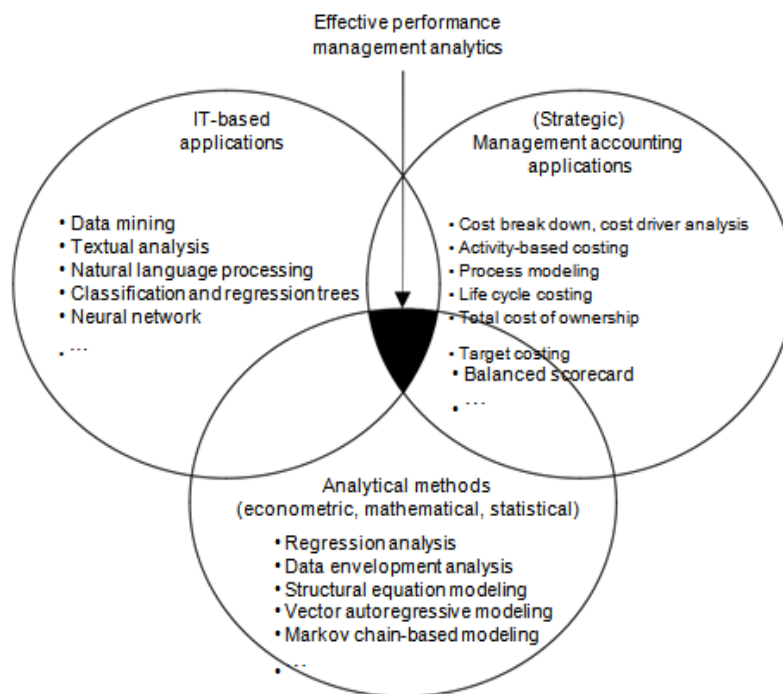
Lo scopo ultimo della *business performance analysis* è supportare l’esplorazione, la comprensione e lo sfruttamento delle dinamiche e delle opportunità di business, per identificare le migliori strategie e/o per eseguirle in modo efficace grazie all’uso sistemico dei dati e dei metodi di analisi multidimensionale basati sulla matematica, la statistica e l’econometria.

Dal punto di vista strategico, la *business performance analysis* può essere intesa come un perfezionamento dei *performance management system* nella misura in cui essa si concentra sul collegamento tra obiettivi organizzativi e/o strategici, e sistemi di misurazione della performance. Infatti, la caratteristica principale della *business performance analysis* consta nel collegamento della strategia alle misure di performance, così come ad altri sistemi, incluse le *operation*, le risorse umane, la gestione per la qualità, le tecnologie dell’informazione, le reti di clienti e fornitori e la catena del valore.

Dal punto di vista organizzativo, essa potenzia il ruolo dei *performance management system* in relazione alle quattro leve di controllo di Simons (1995) (di interazione, di diagnosi, di valore e di limite).

L’efficacia di questo tipo di analisi è influenzata dalla qualità e dalla disponibilità dei dati e dell’infrastruttura IT, nonché delle relative competenze, ivi comprese le capacità di analisi dei dati aziendali. Il potenziale di un sistema di gestione analitica diventa significativo in un’organizzazione che dispone di un’infrastruttura IT avanzata come un *ERP* (*enterprise resource planning*) esteso, un *data warehouse*, sistemi di *data mining* o di gestione delle relazioni con i clienti. Al contempo, la raccolta dei dati potrebbe essere problematica, nella misura in cui alcuni *driver* di *performance* siano difficili da misurare, specialmente nel caso di dati riferiti ai valori intangibili.

L’impiego dei sistemi di *business performance analysis* può essere modulato in ordine ai differenti livelli del processo decisionale. Essi prevedono l’esplorazione metodica e iterativa dei dati derivanti dai diversi componenti nel sistema informativo aziendale (*enterprise resource planning, customer relationship management, social media generated big data, open access databases, etc.*) per il perseguimento di obiettivi operativi e strategici. In particolare, il management accounting e l’IT si combinano con metodi analitici, come viene mostrato in figura 3.1.



Fonte: R. Silvi et al. (2013).

Fig. 3.1 – Struttura della business performance analysis

L’efficacia della *business performance analysis* dipende, inoltre, dalla capacità di intersecare le applicazioni informatiche, le applicazioni di contabilità gestionale e i metodi di analisi. Se usati insieme, i dati e gli strumenti di analisi sono in grado di fornire un utile supporto al processo decisionale. Tale supporto

può operare su due livelli, vale a dire: tecniche che si focalizzano sull’identificazione e sull’uso di relazioni di causa-effetto per l’ottimizzazione delle prestazioni a livello logico (applicazioni di contabilità gestionale) e tecniche che combinano il ragionamento logico con modelli matematici, statistici o econometrici più complessi e sofisticati (metodi analitici).

Negli attuali contesti ipercompetitivi, dove si ricercano proattività e performance eccellenti, è necessario che la misurazione sia in grado di approfondire il controllo delle dinamiche, delle attività e dei fattori ritenuti critici per la gestione della performance aziendale (Silvi et al., 2011). In letteratura, l’introduzione di misure diverse da quelle di tipo economico-finanziario e lo sviluppo di relazioni causa-effetto tra queste e le misure di tipo finanziario viene interpretato come un requisito particolarmente importante dei *performance management system*, affinché questi possano svolgere effettivamente un ruolo strategico (Chenhall, 2005; Gates, 1999; Ittner e Larcker, 2003). Pertanto, il ricorso alla *business performance analysis*, con i suoi apparati informativi basati sull’uso estensivo di dati, statistiche, modelli matematici ed econometrici, consente una più adeguata comprensione delle dinamiche sottostanti la performance aziendale, permettendone un migliore controllo, sia nella fase decisionale, sia in quella operativa.

Il ruolo della *business performance analysis* rispetto ai *performance management system* è diverso in base agli obiettivi di questi ultimi e all’uso che viene fatto delle informazioni di controllo. In tal senso, con riferimento al framework promosso da Simons (1995), il contributo della *business performance analysis* può essere ipotizzato in relazione a usi diagnostici o usi interattivi. Dal punto di vista diagnostico il controllo si concentra sulle variabili critiche di performance o sui fattori critici di successo delle strategie aziendali. In questo contesto, la *business performance analysis* consente di identificare il nesso causale tra tali fattori e le misure target strategiche. In tal modo essa arricchisce la pianificazione strategica e operativa stabilendo empiricamente le relazioni causa-effetto sottostanti alle misurazioni per il supporto del processo decisionale quotidiano. Il ruolo interattivo del controllo è riferito alla strategia emergente e opera per la revisione delle strategie deliberate. Per quanto concerne il controllo interattivo, essa consente di monitorare l’intensità e la validità strategica del controllo, nonché l’adeguatezza della strategia, favorendo l’identificazione delle incertezze strategiche. (Raffoni et al., 2017)

La *business performance analysis* può agire sul piano operativo e sul piano strategico. Nel primo caso essa riguarda la gestione quotidiana delle attività manageriali e prende in considerazione prevalentemente aspetti operativi interni (processi produttivi e gestionali, attori della supply chain ecc.), mentre nel secondo caso essa riguarda applicazioni che supportano la formulazione e il controllo della strategia, nel qual caso all’analisi degli aspetti operativi interni viene affiancata l’analisi dell’ambiente esterno all’impresa (concorrenza, contesto economico, tecnologico, geopolitico, ecc.).

Nella progettazione e successiva implementazione di un sistema di *business performance analysis* la scelta delle aree su cui concentrare l’attenzione costituisce un elemento critico. Si rende, infatti, necessario, per ciascuna area, individuare specifici fattori critici di successo che ne caratterizzano l’*output*, i fabbisogni informativi, gli strumenti informativi necessari, le conoscenze e, infine, i supporti tecnologici e informatici più appropriati. È necessario, altresì, definire il fabbisogno di *analytics* in relazione alle dinamiche delle performance e alla loro gestione, evitando un’eccessiva proliferazione di strumenti analitici e consentendo la gestione integrata dei diversi strumenti che compongono i sistemi gestionali e di controllo.

3.8 Predictive business analysis

La finalità dei *business analytics* è quella di produrre informazioni elaborando i dati per amplificarne il valore. La forza dell’analisi consiste nel trasformare enormi volumi di dati in una quantità molto più piccola di informazioni, a differenza di quanto avviene nella *business intelligence*, che, in genere, riassume i dati storici in report di tabelle e grafici per mezzo di query.

Tale trasformazione avviene mediante l’utilizzo di metodi statistici che costituiscono la base della *predictive business analysis*, la quale ha l’obiettivo di delineare scenari previsionali in base ai quali determinare la scelta delle azioni future da intraprendere. L’analisi predittiva offre alle organizzazioni la possibilità di pianificare in modo proattivo tenendo conto di ciò che potrebbe accadere in futuro piuttosto che sulla base delle cause degli accadimenti passati (Kamble, 2020). È un processo continuo teso a supportare il formarsi di decisioni di tipo sia strategico sia tattico sia operativo, determinanti per i risultati futuri dell’impresa.

L’analisi aziendale predittiva utilizza i dati prodotti all’interno delle unità organizzative per guidarne le decisioni in modo che queste vengano assunte nel più breve tempo possibile e siano indirizzate all’ottenimento di specifiche prestazioni. Essa consente di passare da una gestione fondata su meccanismi di controllo-reazione sulla base di dati consuntivi a una gestione proattiva fondata sulla pianificazione, prevedendo continue modifiche e aggiustamenti con azioni correttive poste in essere prima che sorgano problemi. In tal modo le decisioni chiave vengono prese in base all’aspettativa di probabili risultati futuri.

Un aspetto molto importante della *predictive business analysis* è rappresentato dalla rilevanza che questa assume quando è applicata alle decisioni operative quotidiane. Ciò è dovuto a diversi motivi. In primo luogo, l’implementazione della strategia non si ottiene esclusivamente mediante la realizzazione delle mappe strategiche e la determinazione di indicatori chiave di performance (KPI), ma è soprattutto nell’assunzione delle decisioni quotidiane che si realizza effettivamente l’attuazione delle strategie. Inoltre, l’esposizione al rischio di un’organizzazione è legata, in particolare, a singoli eventi o a singole

transazioni. Si consideri, in proposito, come nelle funzioni di vendita e marketing le decisioni operative siano in grado di massimizzare il valore per il cliente. Di fatto, gli effetti delle decisioni operative vanno dal basso verso l’alto e, nel complesso, possono superare l’impatto di alcune decisioni strategiche.

L’ottenimento di un vantaggio competitivo mediante l’utilizzo di *analytics* richiede un cambiamento di concezione del ruolo dei dati nel processo decisionale sia con riferimento alla gestione delle informazioni sia riguardo agli aspetti culturali (Ransbotham et al., 2016). L’analisi predittiva per sua natura guarda al futuro basandosi sull’uso di dati aziendali rilevanti e *driver* che hanno uno stretto legame con i risultati finanziari e le prestazioni operative. Essa deve consentire al management di identificare nuove opportunità di crescita e miglioramento, anche evidenziando margini per eventuali azioni correttive e adattamenti strategici. (Maisel e Cookins, 2014)

La progettazione di un sistema di *predictive business analysis* richiede l’integrazione dei quattro elementi critici di seguito enucleati:

- *Adattamento della strategia aziendale.* Capacità di rispondere ai cambiamenti dell’ambiente competitivo.
- *Allineamento della gestione con la strategia e le operazioni.* Capacità di individuare le risorse adatte alle attività e agli obiettivi e misurare i giusti indicatori.
- *Predisposizione di capacità analitiche dedicate.* Perseguire pratiche di gestione delle decisioni basate sui fatti e sulle informazioni per monitorare e gestire i risultati desiderati.
- *Conduzione di revisioni operative della gestione.* Discutere in modo disciplinato e rigoroso tra i membri del gruppo dirigente dei risultati operativi attuali e previsti e delle loro implicazioni per le strategie e le operazioni in corso.

Un elemento critico alla base dell’analisi predittiva è costituito dalla progettazione e implementazione di un sistema di gestione delle prestazioni significativo e pertinente che sia conforme ai predetti elementi. Tale sistema di gestione delle prestazioni prevede lo sviluppo e l’utilizzo di un insieme coerente di misure e indicatori chiave di prestazione (KPI) che devono essere tradotti in termini concreti e operativi. Gli indicatori devono essere misurati, comunicati e utilizzati per realizzare il *reporting*, l’analisi, il processo decisionale e l’azione sia a livello di *business unit* che a livello individuale.

Un efficace sistema di gestione delle prestazioni colma le lacune tra visione, strategia ed esecuzione. È un quadro sistematico in grado di tradurre la visione, la missione e la strategia in un insieme equilibrato e collegato di obiettivi strategici, iniziative operative e obiettivi di performance per l’intera azienda.

Un ulteriore aspetto fondamentale riguarda il mix di competenze necessarie per l’analisi. Secondo Ransbotham, Kiron e Kirk Prentice (2015), la possibilità di ricavare valore dall’analisi dipende

prevalentemente dalla presenza di solide competenze che colleghino le informazioni derivanti dai dati ai risultati aziendali.

Brown, Court e McGuire (2014) individuano i c.d. “traduttori” (team di persone in grado di collegare la *information technology* e i dati con il processo decisionale), come figure che operano, con competenze complementari, nella definizione ed esecuzione della strategia di analisi. In primo luogo, i “*data strategist*”, grazie alle loro competenze ed esperienze nell’uso della *information technology*, orientano la produzione dei dati verso l’assunzione di decisioni aziendali, definendo i requisiti chiave dei dati. In secondo luogo, i “*data scientist*” combinano solide capacità di analisi con il *know-how* nella *information technology* per derivare adeguati modelli e algoritmi. Infine, i “*business analyst*” utilizzano le loro competenze gestionali e capacità di analisi per migliorare le opportunità di creazione del valore (Brown, Court e McGuire; 2014).

3.8.1 Principi guida della predictive business analysis

Il sistema di *predictive business analysis* deve essere uniformato a principi guida condivisi dall’organizzazione e adottati nel contesto della gestione operativa dell’azienda, compresi i sistemi di ricompensa e riconoscimento da quest’ultima adottati. A tal fine, sono stati definiti e pubblicati dalla *International Federation of Accountants* (IFAC) i sette principi guida elencati di seguito, i quali sono ritenuti essenziali per sviluppare un sistema di *predictive business analysis* solida e significativa all’interno di un’azienda.

1. **Relazione causa-effetto.** Affinché sia possibile prevedere i risultati, è importante individuare, misurare e monitorare quei fattori o eventi che con maggiore probabilità determinano il verificarsi dei risultati. La causalità è la relazione tra un primo evento (causa o *driver*) e un secondo evento (effetto o risultato), nella quale il secondo evento è una conseguenza del primo. Per prevedere con successo i risultati, è importante comprendere la relazione causale tra questi e gli eventi che li determinano. Una rappresentazione delle misure di prestazione basata su nessi causali dimostrabili, piuttosto che su ipotesi, migliora la capacità di prevedere ragionevolmente i risultati futuri. Ogni misura di *performance* deve far parte di una catena di relazioni causa-effetto che rappresenta e allinea la strategia, le misure, gli obiettivi e le iniziative dell’organizzazione. A tal fine, occorre distinguere tra misure di processo e misure di risultato, laddove le prime riguardano parametri influenzabili e/o modificabili, mentre le seconde sono spesso consuntive e non modificabili in modo diretto (si pensi all’utile netto o all’utile per azione). L’appropriato equilibrio tra le misure di processo e quelle di risultato legate tra di loro da una relazione causa-effetto consentirà una maggiore attendibilità nella previsione dei risultati. La capacità di prendere decisioni

con il supporto della *predictive business analysis* richiede una comprensione dell’economia interna di un’organizzazione che a sua volta richiede informazioni e analisi delle determinanti dei costi dell’organizzazione. È necessario che l’organizzazione comprenda la relazione causa-effetto tra il cambiamento dei fattori esterni e i suoi processi interni, il cui adattamento in risposta a tali cambiamenti determinerà costi, investimenti e risultati. La *predictive business analysis* opera attraverso l’analisi dei possibili effetti degli scenari previsti sull’organizzazione, in modo da individuare i potenziali impatti operativi e le reazioni (Maisel, Cookins, 2014).

2. ***Equilibrio tra misure finanziarie e non finanziarie, interne ed esterne.*** Spesso il *reporting* di gestione si concentra esclusivamente sui risultati finanziari, come l’utile netto, e meno sulle attività che hanno un impatto indiretto sui risultati finanziari o su metriche guidate dall’esterno che mostrano la relazione tra l’organizzazione e il mercato. Sebbene le organizzazioni possano disporre di una quantità significativa di dati, spesso esse si concentrano soltanto su una o poche misurazioni, il che provoca una visione sbilanciata delle prestazioni organizzative. Una serie equilibrata di misure rifletterà fattori interni e fattori esterni e incorporerà le prestazioni finanziarie e non finanziarie. Le misure aziendali sono riferite a *driver*, i quali possono essere finanziari o operativi; esterni o interni. I driver saranno in genere correlati a incertezze esterne e a fattori che influiscono al contempo sull’ambiente competitivo e sull’organizzazione, come i cambiamenti nella concorrenza, la tecnologia, le preferenze e la domanda dei consumatori, nonché i cambiamenti del mercato. (Maisel, Cookins, 2014)
3. ***Rilevanza, affidabilità e tempestività.*** I risultati della *predictive business analysis* dovrebbero essere forniti agli utenti nel momento e nel luogo in cui questi ne hanno bisogno. L’analisi deve essere rilevante per l’azienda, il settore o la funzione e deve avere il giusto livello di tempestività e affidabilità rispetto alle criticità da affrontare. In altre parole, deve essere “adatta allo scopo”. Gli utenti hanno bisogno di dati significativi e in una forma tale da essere fruibili in modo affidabile. Affinché le informazioni risultanti dalla *predictive business analysis* siano significative, devono essere conformi alle esigenze dei loro destinatari. Oltre ai risultati, l’analisi deve contenere le determinanti dei medesimi e le possibili conseguenze delle decisioni e delle azioni associate a scenari futuri alternativi. Le informazioni devono essere presentate in modo da trasmettere i messaggi chiave e rappresentare le diverse alternative in modo diretto e non ambiguo, utilizzando formati grafici, intuitivamente comprensibili. La *predictive business analysis* deve, inoltre, (1) riflettere la rilevanza per gli utenti aziendali, (2) essere il risultato di un processo coerente e affidabile e (3) riflettere il periodo di tempo appropriato per le decisioni prese.

- **Rilevanza.** L’analisi deve essere coerente con il modello di business dell’organizzazione e sviluppare informazioni lungimiranti in un modo che faciliti un processo decisionale mirato in merito a questioni e decisioni aziendali collegate alle strategie dell’impresa.
 - **Affidabilità.** L’analisi deve fornire agli utenti dati adeguati allo scopo quando, dove e come ne hanno bisogno. L’affidabilità si riferisce spesso alla prevedibilità. Se un processo produce costantemente lo stesso risultato, si dice prevedibile. Se un processo non produce mai lo stesso risultato, non può essere considerato affidabile. Sebbene l’analisi possa variare, è necessario che l’output sia il medesimo a parità di condizioni, affinché sia utile agli utenti. Il processo mediante il quale viene creata l’analisi dovrebbe essere standard e coerente.
 - **Tempestività.** La tempestività dei dati è fondamentale per la capacità di prevedere i risultati. Tuttavia, mentre le informazioni vecchie di sei mesi potrebbero non essere utili per l’utente, potrebbe non essere necessario avere la consegna delle informazioni giornaliere o in tempo reale.
4. **Garanzia di integrità dei dati.** L’integrità dei dati è alla base dell’affidabilità ed è collegata alla capacità di un’organizzazione di stabilire standard di dati e pratiche di controllo della loro qualità. In mancanza di affidabilità dei dati, anche il processo più coerente produrrà risultati errati. L’integrità dei dati fa riferimento alla coerenza di azioni, valori, metodi, misure, principi, aspettative e risultati. Nella *predictive business analysis* tutti i livelli dell’organizzazione dovrebbero utilizzare dati, metodi di analisi e strumenti coerenti, condividendo il medesimo sistema di gestione tra i diversi team e utenti. In tal modo si riesce a ottenere misure di performance comparabili e si rendono possibili valutazioni in modo condiviso e trasparente. Invece di ragionare in base a report generati individualmente e analisi condotte con sistemi diversi, i manager possono utilizzare lo stesso insieme di informazioni. Diversi livelli di utenti necessitano di obiettivi diversi per visualizzare le informazioni di gestione e le misure predittive.
5. **Accessibilità e organizzazione.** Affinché l’analisi contribuisca efficacemente alle decisioni manageriali i dati devono essere facilmente accessibili mediante strumenti e tecnologie di facile utilizzo, in relazione al modello di business dell’impresa. L’accessibilità contribuisce alla trasparenza e alle sinergie operative.
6. **Integrazione nel processo di gestione.** L’analisi e le misure di performance previsionali devono essere collegate alle responsabilità e queste ultime ai risultati operativi e alle prestazioni. Inoltre, esse devono essere parte integrante del processo di riesame della direzione ed essere correlate all’avanzamento di carriere e/o ai meccanismi di incentivazione del personale, in modo da essere parte integrante del processo di gestione. La struttura del sistema di analisi predittiva deve

includere la definizione dei ruoli e delle responsabilità, nonché stabilire i responsabili dell’aggiornamento e della revisione dei dati e dei processi di approvazione delle revisioni del sistema medesimo. Ruoli e responsabilità devono essere chiari e dovrebbero essere previsti incentivi per (1) influenzare i comportamenti, (2) rafforzare gli allineamenti organizzativi e le autorità di gestione e (3) garantire un processo decisionale coerente. L’accuratezza dei risultati deve essere valutata rispetto ai fattori che determinano l’efficacia del processo decisionale della direzione, come il rischio, i requisiti delle risorse e i compromessi a breve e a lungo termine.

7. **Guida dei comportamenti e dei risultati.** L’analisi deve evidenziare le misure che promuovono i comportamenti maggiormente volti a supportare il perseguimento degli obiettivi organizzativi e dei risultati attesi. Di conseguenza, è importante che la *predictive business analysis* sia legata ai meccanismi di benchmarking, nonché di ricompensa e riconoscimento, i quali possono essere utilizzati in modo efficace per garantire che i comportamenti e i risultati desiderati vengano raggiunti.

- *Benchmarking.* Ove possibile, le misure predittive delle prestazioni dovrebbero essere confrontate con quelle di altri gruppi interni o concorrenti esterni. Il *benchmarking* spesso mette in evidenza le necessità di miglioramento in termini di costi, tempi di ciclo e qualità.
- *Ricompense e riconoscimenti.* Ricompense e riconoscimenti possono essere utilizzati per promuovere i comportamenti desiderati, come la propensione all’innovazione, il lavoro di squadra e la collaborazione. La remunerazione può essere correlata alla performance al fine di incoraggiare i comportamenti voluti.

3.8.2 Processo di predictive business analysis integrato

In generale l’elaborazione dei dati per l’ottenimento di informazioni e conoscenza prevede quattro fasi: (1) acquisizione dei dati da diverse fonti; (2) accesso ai, in termini di indicizzazione, memorizzazione, condivisione e archiviazione, eseguito da sistemi informativi integrati; (3) analisi e manipolazione dei dati; (4) utilizzo dei risultati nel processo decisionale.

Un approccio efficace allo sviluppo e al mantenimento di un processo di *predictive business analysis* si ottiene implementando un framework che sia continuo, coerente e condiviso in tutta l’organizzazione. Il processo di analisi deve essere organizzato in modo da garantire la gestione dell’intero flusso di valore, piuttosto che gestire e ottimizzare le fasi del processo in modo isolato. Inoltre, esso deve consentire una buona comprensione degli eventi, dei loro fattori determinanti e del loro impatto sul processo decisionale. Tale framework ha due componenti principali: (1) un elemento strutturale che si concentra sulla progettazione e la misurazione e (2) un elemento gestionale che si concentra sull’analisi e la gestione.

L'elemento strutturale si sviluppa nei seguenti passaggi chiave.

1. **Progettazione del processo.** L'obiettivo è sviluppare un processo che consenta all'organizzazione di prevedere un risultato futuro basato sulle relazioni causa-effetto. La capacità di sfruttare e/o perfezionare le relazioni storiche in base ai cambiamenti nelle condizioni del contesto competitivo, delle tendenze economiche e così via è un aspetto intrinseco del processo. Occorre, tuttavia, essere cauti sui cambiamenti ancora non palesi che riguardano il futuro. In sostanza, la capacità di distinguere un'anomalia da una modificazione del rapporto causa-effetto è fondamentale per implementare un processo efficace. La progettazione del processo può essere realizzata utilizzando una serie di tecniche, da modelli matematici, spesso utilizzati dalle banche di investimento per guidare le decisioni di trading, ad approcci aneddotici a volte indicati come “per tentativi ed errori” o modelli esperienziali. Molte organizzazioni adottano un approccio ibrido e utilizzano l'analisi di regressione per formare il modello di base. Quindi perfezionano i risultati in base all'esperienza dei senior manager e dei dipendenti. Sebbene la regressione sia più definibile, meno soggettiva e incoraggi il coinvolgimento collaborativo, l'esperienza manageriale può aiutare a promuovere la titolarità del processo tra gli utenti all'interno dell'organizzazione. Il processo di *predictive business analysis* deve (1) integrare i fattori chiave per ciascuna funzione, (2) collegare in modo affidabile causa ed effetto nel processo e (3) visualizzare alternative per diverse decisioni e azioni chiave. Inoltre, il processo di *predictive business analysis* deve essere caratterizzato da equilibrio tra misure interne (ad esempio, tempo di ciclo di un nuovo prodotto) ed esterne (ad esempio, vendite del primo anno).

Strategia e modello di valutazione delle performance. La presenza di obiettivi è necessaria per la gestione delle performance e, in particolare, è di fondamentale importanza stabilire gli obiettivi strategici che le organizzazioni devono perseguire. Gli obiettivi rappresentano una parte della visione strategica del controllo, la quale può dar luogo a diverse interpretazioni nell'ambito della *predictive business analysis*. Non sarebbe, infatti, corretto attribuire al controllo un mero ruolo di verifica del grado di implementazione di obiettivi strategici predeterminati. Le organizzazioni hanno obiettivi multipli, spesso confliggenti, e la loro gestione richiede la comprensione del modello causale che descrive come le azioni compiute possono influenzare i risultati futuri. Le mappe causali sono diventate un approccio comune nella descrizione del modello di performance dell'organizzazione. Gli *input*, i processi e gli *outcome* sono tipicamente interconnessi e forniscono supporto per lo sviluppo del sistema di analisi. Tuttavia, le rappresentazioni del modello di performance tendono ad essere basate su un'impostazione di tipo *top-down* dei fattori chiave di successo e delle interrelazioni “desiderabili”. Di conseguenza, pur essendo utili per

inquadrare il contesto strategico, essi costituiscono soltanto la base iniziale per guidare la discussione.

Individuazione delle questioni chiave. La definizione del contesto strategico deve essere declinata in termini concreti e l’approccio di analisi deve prevedere la formulazione di quesiti chiari e specifici da sottoporre a test non generiche questioni strategiche. Una prima serie di quesiti dovrebbe prendere in considerazione le variabili critiche per le performance rispetto alle attività fondamentali per la realizzazione della strategia pianificata. Una seconda serie di quesiti per il controllo interattivo dovrebbe investigare le incertezze strategiche che possono compromettere la realizzazione della visione dell'organizzazione per il futuro.

2. **Sviluppo del modello.** Lo sviluppo del modello consiste nel determinare le relazioni rilevanti tra un *input* e il suo risultato. La *predictive business analysis* è basata sulla comprensione delle relazioni causa-effetto tra le variabili delle performance. Questa è una caratteristica fondamentale dell’analisi dal punto di vista strategico. Infatti, nella definizione del modello di performance, le interdipendenze tra le variabili sono spesso ignorate oppure vengono ipotizzate senza giustificare le assunzioni poste alla base delle ipotesi (Raffoni et al., 2017). Gli input possono essere eventi discreti (es. variazione del LIBOR – *London Interbank Offered Rate*, lancio di un nuovo prodotto ecc.); eventi aggregati (es. tassi di disoccupazione, insolvenze dei consumatori ecc.); eventi strutturali (es. approvazione del nuovo piano regolatore). Spesso tali *input* sono indicati come “*driver*” e possono essere visti come determinanti dei risultati. I risultati sono legati a eventi secondo la logica della relazione causa-effetto. È, pertanto, essenziale determinare la probabilità che la relazione tra eventi e risultati si mantenga coerente nel tempo e che vi sia una ragionevole aspettativa che tale relazione continui e si mantenga inalterata nel futuro. Dopo che un’organizzazione ha compreso e determinato i *driver* e le relazioni tra questi e i risultati, può iniziare a sviluppare, perfezionare e applicare queste relazioni al processo di analisi. Pochi rapporti critici tra i *driver* possono rappresentare una parte significativa dei risultati predittivi. Diverse tecniche possono essere utilizzate per lo sviluppo del modello o, più specificamente, per l’identificazione dei *driver* e dei relativi risultati. Queste tecniche variano da metodi quantitativi a metodi empirici.

- *Analisi di regressione.* L’analisi di regressione include qualsiasi tecnica per la modellazione e l’analisi di più variabili, quando l’attenzione è concentrata sulla relazione tra una variabile dipendente (es. *output* o *outcome*) e una o più variabili indipendenti (es. *driver*). In particolare, l’analisi di regressione aiuta a comprendere come cambia il valore tipico della variabile dipendente al variare di una qualsiasi delle variabili indipendenti, mentre le altre variabili

indipendenti vengono mantenute fisse. In tutti i casi, il valore stimato è una funzione delle variabili indipendenti e la variazione della variabile dipendente può essere descritta da una distribuzione di probabilità.

- *Sistemi non lineari.* I sistemi non lineari non possono essere modellati come relazioni proporzionali di tipo “uno a uno” come avviene per i sistemi lineari. Per modellare i sistemi non lineari sono necessarie formule matematiche che tengano conto di un numero maggiore di variabili.
- *Simulazione Monte Carlo.* La simulazione Monte Carlo può aiutare a interpretare i risultati dell’analisi di regressione. Si basa sulla ricreazione artificiale di un processo casuale con molte ripetizioni e sull’osservazione dei risultati. Inoltre, l’impatto di ciascuna variabile indipendente può essere misurato in base al livello di fiducia nei dati. L’analisi prevede la creazione di una serie di scenari in base ai quali si forma il giudizio manageriale nella determinazione di decisioni operative.
- *Capacità delle risorse in relazione alle attività.* L’analisi della capacità delle risorse in relazione alle attività consente di modellare il consumo di risorse (personale, capitale circolante e capacità) attraverso i processi aziendali per il raggiungimento degli obiettivi finali come un prodotto o un servizio. Un’organizzazione ha bisogno di misurare l’effetto che la sua capacità di risorse e processi hanno l’uno sull’altro e come essi contribuiscono alla redditività complessiva.
- *Metodo Delphi.* Il metodo Delphi è una tecnica sistematica, interattiva e non quantitativa per la previsione che si basa sul giudizio di un gruppo di esperti. Gli esperti rispondono ai questionari in due o più turni. Dopo ogni round, un facilitatore fornisce un riepilogo anonimo delle previsioni degli esperti del round precedente, nonché le ragioni fornite per i loro giudizi. Sulla base di tale riepilogo, gli esperti sono incoraggiati a rivedere le loro risposte precedenti alla luce delle risposte di altri membri del gruppo.
- *Approfondimento esperienziale.* L’approfondimento esperienziale è una forma meno strutturata del metodo Delphi. I responsabili operativi possono selezionare i *driver* in base alle esperienze operative, ma questi devono essere correlati in modo affidabile ai risultati. Di conseguenza, i risultati dovrebbero essere testati rispetto a più variabili utilizzando la regressione o l’analisi statistica.
- *Analisi degli scenari e scenari di pianificazione.* Il documento sulla visione del 2020 di *Certified Management Accountants* (CMA) Canada, “Previsione del ruolo futuro del contabile di gestione” (www.cma-canada.org), definisce la pianificazione degli scenari come la

principale abilità futura di chi si occupa di contabilità gestionale. Gli scenari sono particolarmente utili nello sviluppo di strategie per affrontare eventi estremi del tipo di quelli verificatisi di recente nell'economia mondiale. L'analisi per scenari consente di orientarsi tra la falsa certezza di un'unica previsione e la paralisi confusa che spesso colpisce nei momenti difficili. Gli scenari hanno varie caratteristiche che li rendono strumenti particolarmente potenti per comprendere l'incertezza e sviluppare le strategie, tra cui (1) ampliare la visione, (2) scoprire situazioni inevitabili o quasi inevitabili, (3) proteggere dal pensiero di gruppo e (4) consentire alle persone di sfidare l'omologazione. Gli scenari in genere coprono vari stati futuri, uno dei quali può includere eventi e condizioni difficili per l'organizzazione.

3. **Acquisizione dei dati.** Questa fase riguarda l'analisi delle fonti dei dati e della loro disponibilità. Le fonti possono essere interne o esterne, strutturate o meno. I grandi insiemi di dati e le informazioni ampie, non strutturate, disponibili in tempo reale, generano sfide significative in termini di raccolta, pulizia e archiviazione, delle quali occorre tenere conto nella *predictive business analysis*. La quantità e la varietà delle fonti hanno un impatto significativo sulla qualità e sulla rilevanza dei dati. Insiemi di dati più grandi non sono sinonimo di dati migliori e possono soffrire di distorsioni, errori e vuoti di informazioni allo stesso modo di insiemi di dati più piccoli. Inoltre, una quantità eccessiva di dati crea un sovraccarico di informazioni, che rende difficile la valutazione della rilevanza dei dati. Idealmente, l'identificazione dei dati necessari e la relativa raccolta dovrebbero seguire logicamente la specificazione degli obiettivi strategici e delle domande chiave. Tuttavia, ciò rimanda alla considerazione che la logica sequenziale è suscettibile di fornire solo una rappresentazione parziale della realtà. Pertanto, il rapporto tra dati e strategia dovrebbe essere di tipo induttivo, seguendo un approccio che dalla raccolta dei dati arrivi alla ricerca del relativo potenziale utilizzo.

L'acquisizione dei dati per la *predictive business analysis* differisce dalla contabilità finanziaria, nella misura in cui le informazioni finanziarie si basano principalmente su transazioni e dati storici, mentre nell'analisi aziendale predittiva le informazioni sono spesso una miscela di dati storici e previsionali, sia di tipo finanziario che non finanziario, che portano al formarsi di una serie di possibili scenari. Tali scenari possono essere ponderati in base al loro esito probabile, applicando l'analisi di regressione e assegnando una probabilità a ciascuno dei possibili risultati o azioni. Nel determinare l'opzione migliore per l'acquisizione dei dati, è importante considerare il contesto nel quale verrà utilizzata l'analisi e l'impatto delle azioni prese in considerazione. Per molte organizzazioni, l'acquisizione dei dati è complessa. Spesso i dati necessari per un determinato *driver* potrebbero non essere prontamente disponibili o facilmente accessibili. Le

organizzazioni possono scoprire che, nelle prime fasi dell’implementazione dell’analisi aziendale predittiva, la fornitura di informazioni è inefficiente, ingombrante o costosa da acquisire. Tali problemi sono particolarmente evidenti quando: (1) i sistemi sono altamente frammentati, (2) le definizioni dei dati sono incoerenti, (3) l’acquisizione dei dati è ridondante e fatta manualmente e (4) l’accessibilità è limitata.

4. **Ciclo di performance management.** L’integrazione della *predictive business analysis* in *performance management system* preesistenti può rappresentare una criticità nell’utilizzo delle informazioni generate dall’analisi, considerando il complesso bilanciamento dei differenti aspetti dei *performance management system*, come (1) la struttura organizzativa, (2) la comunicazione e scelta del target, (3) la valutazione delle performance attuali e (4) i meccanismi di incentivazione. In tal caso le informazioni ottenute dalla *predictive business analysis* saranno inserite all’interno del c.d. “ciclo di *performance management*” in base alle finalità diagnostiche o interattive dell’analisi. Il controllo diagnostico è tipicamente caratterizzato da una bassa incertezza in cui i relativi flussi di informazioni tendono a seguire canali predefiniti. In questo caso ci si aspetta che la *predictive business analysis* svolga un ruolo di supporto nell’identificazione dei fattori chiave di successo e dei relativi indicatori, fornendo prove basate sui dati dei collegamenti ipotizzati tra i fattori causali alla base del modello di performance. Una volta identificati e comunicati gli obiettivi, i risultati effettivi potranno essere misurati, riportati e analizzati, delineando possibili azioni correttive. L’uso della *predictive business analysis* per il controllo interattivo dovrebbe essere meno strutturato poiché il livello di incertezza è più elevato e si genererebbe la necessità di un’elaborazione più flessibile delle informazioni. La richiesta di tempestività delle informazioni implica, infatti, lo scambio di informazioni a bassa codifica e un alto livello di diffusione. La digitalizzazione della maggior parte dei dati dovrebbe favorire la condivisione e la comunicazione delle informazioni in tutta l’organizzazione, facilitando così l’analisi che costituisce il nucleo dei *performance management system* interattivi. In altre parole, l’enfasi sui dati e sulle analisi generate attraverso la *predictive business analysis* potrebbe sostenere la maggiore elaborazione delle informazioni richiesta in condizioni di incertezza. (Raffoni et al., 2017)

Capitolo 4 VALUTAZIONE INTEGRATA: IL BILANCIO TECNOLOGICO

4.1 Sistemi informativi complessi tra cyber-physical systems e performance business analysis

Le architetture *multilayer*, connaturate al paradigma *Industry 4.0* consentono la creazione di sistemi informativi complessi nell’ambito dei quali è possibile un utilizzo avanzato dei *business analytics*, il quale rappresenta una forte evoluzione dei *performance management system*. Tale evoluzione favorisce, tra l’altro, la creazione di nuove concezioni della *performance* delle imprese, che permettono di cogliere, in modo selettivo, la multidimensionalità e la predittività, potenziando la capacità dei sistemi di *performance management* di supportare più efficacemente le decisioni manageriali, grazie alla disponibilità di informazioni di tipo prospettico, fornite in tempo reale con la creazione di modelli avanzati di monitoraggio e analisi della gestione aziendale.

La figura 5.1 mostra un’ipotesi di applicazione dei *business analytics* avanzati a dati integrati, provenienti dai sistemi informativo e operativo, per l’analisi delle performance nelle diverse dimensioni del business. Dal diagramma si evince la circolarità del sistema, caratterizzato da cicli a retroazione per l’utilizzo dell’intelligenza artificiale e l’analisi neurale.

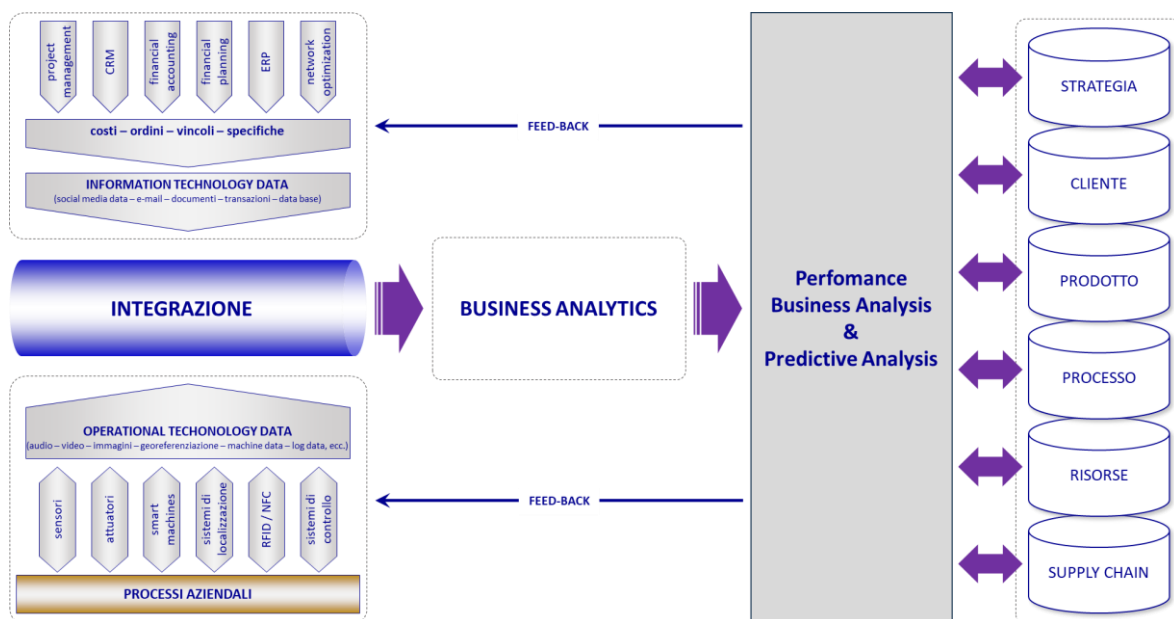


Fig. 5.1 – Sistema integrato

D'altra parte, l'integrazione tra i sistemi cyber-fisici e i *performance management system* consente di costruire complessi apparati informativi, i quali, attraverso l'impiego di evoluti *analytics*, permettono l'introduzione di nuove dimensioni di analisi e la definizione di nuovi indicatori, influenzando la capacità di creazione del valore da parte delle imprese in virtù di una più efficace e tempestiva analisi delle *performance*. In tal modo si supera il concetto di mera misurazione, che presuppone analisi basate su dati passati, per approdare all'analisi di tipo predittivo, la quale consente la valutazione di scenari prospettici nelle decisioni (*predictive business analysis*). Peraltro, dal punto di vista del reporting, tali apparati influiscono fortemente sulla *production, transmission e reception* delle informazioni comprimendo i tempi di fruizione delle informazioni grazie alla sovrapposizione delle fasi di *production e transmission* e potenziando l'utilizzo di sistemi grafici in luogo di numeri e tabelle.

Il tema del rapporto tra tecnologia, *business analytics, smart manufacturing, management accounting e performance management* è stato trattato nella letteratura scientifica, giungendo alla definizione di alcuni modelli di analisi e gestione delle performance, da parte di alcuni studiosi, che lo affrontano da diversi punti di vista. Nel paragrafo seguente si riportano alcuni di tali modelli proposti.

4.2 Analisi dei framework e dei modelli di misurazione delle performance

Silvi R. e altri (2011) definiscono un approccio all'analisi dei fabbisogni e alla progettazione dei *business performance analytics* declinato in relazione ai processi che caratterizzano il modello di business dell'impresa. Per ciascun processo si individuano gli specifici fattori critici di successo che caratterizzano l'output, i fabbisogni informativi relativi alla gestione della performance, gli strumenti informativi necessari, le conoscenze e, infine, i supporti tecnologici e informatici più appropriati.



	P1	P2	P3	P4	P5
Fattori critici di successo					
Fabbisogni informativi					
Strumenti e risorse informative					
Conoscenze					
Supporti ITC					

Fonte: Silvi R. et al (2011)

Fig. 5.2 – Matrice dei fattori critici per processo

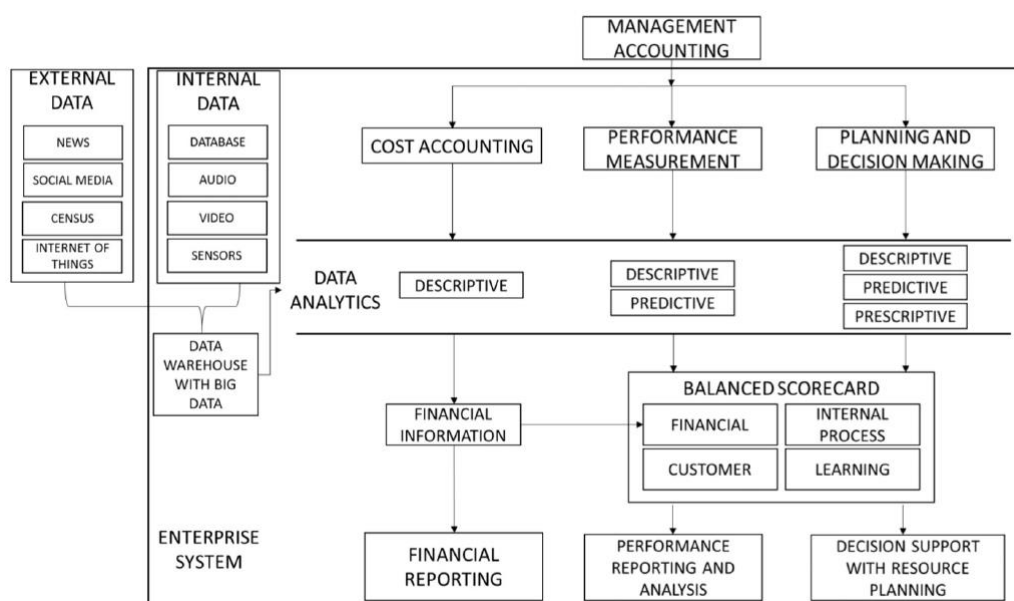
Lo schema definisce le linee guida per individuare i fabbisogni di *analytics* in modo da riflettere il modello di business dell'impresa con le sue criticità, i differenti fabbisogni conoscitivi, le diverse competenze e risorse disponibili, focalizzando le aree su cui concentrare l'attenzione.

Appelbaum D. et al. (2017) definiscono un framework finalizzato all'implementazione degli *analytics* nel *management accounting*, utilizzando come riferimento il modello della *balanced scorecard*.

In tale framework essi adottano una ripartizione del *management accounting* nei tre aspetti del (1) *cost accounting*, del (2) *performance measurement* e del (3) *planning e decision making*.

Il *cost accounting* si focalizza sull'uso di dati interni per generare report finanziari. Il *performance measurement* si focalizza sulla comprensione, le deduzioni e le analisi dei processi o degli eventi per la misurazione delle performance aziendali. I dati usati nelle misurazioni di performance includono principalmente dati interni. I dati esterni, così come le informazioni di benchmark di settore, possono essere usati per la valutazione delle performance. Pianificazione e *decision making* prevedono l'uso dei risultati sia nel *cost accounting* che del *performance measurement* per fornire accurate, tempestive e rilevanti informazioni in combinazione con le informazioni esterne per assistere il management. I dati esterni sono usati in combinazione con i dati interni per fornire informazioni rilevanti per il *decision making*.

In tutti e tre gli aspetti vengono implementati *data analytics*. Alla produzione dei report finanziari viene applicata prevalentemente l'analisi descrittiva, ottimale per la sintesi e la descrizione della situazione finanziaria aziendale. Nel *performance measurement*, viene utilizzata l'analisi predittiva, che consente l'impiego di algoritmi di *machine learning*, i quali, traendo gli input dall'analisi descrittiva, consentono di realizzare previsioni sulle performance future dell'organizzazione. Nella pianificazione e nel *decision making* viene applicata l'analisi prescrittiva, che permette di definire e suggerire soluzioni ottimizzate per i *decision maker*.



Fonte: Appelbaum et al. (2017)

Fig. 5.3 – MADA – Managerial Accounting Data Analytics

Nel framework definito da Appelbaum et al. (2017) si realizza una integrazione dei *data analytics* nella metodologia BSC. Tale integrazione avviene mediante l’incorporazione dei diversi tipi di *data analytics* nelle quattro prospettive previste dalla *balanced scorecard*. Per ciascuna prospettiva vengono individuati i *data analytics* più idonei all’ottenimento di una misurazione esaustiva.

Relativamente alla prospettiva finanziaria l’analisi descrittiva fornisce una visione generale delle *performance* finanziarie dell’impresa, mentre l’analisi predittiva viene utilizzata per stimare le performance finanziarie future.

Grazie ai risultati delle analisi descrittive e predittive, è possibile condurre analisi prescrittive per la definizione di soluzioni finanziarie ottimali. Mentre l’analisi predittiva utilizza algoritmi e tecniche simili a quelle utilizzate nell’analisi predittiva, l’analisi prescrittiva compara il risultato di tali algoritmi, al fine di individuare soluzioni ottimizzate.

Con riferimento alla prospettiva dei clienti, l’analisi descrittiva fornisce una visione globale della situazione dei clienti secondo le dimensioni critiche definite nella *balanced scorecard* (tempo, qualità, prestazioni e servizio, costo). A tal fine i *data analytics* consentono di prendere in considerazione anche dati riguardanti *rating* provenienti da siti web e dati raccolti mediante la compilazione di *form* riguardanti i prodotti.

L’analisi predittiva, sulla base dei dati storici, interni ed esterni, permette stime affidabili riguardo a ognuna delle predette dimensioni critiche, mentre l’analisi prescrittiva consente l’individuazione di

soluzioni ottimizzate ponendo in relazione la dimensione dei costi con le altre tre dimensioni critiche relative alla prospettiva dei clienti.

La disponibilità di tecniche di analisi avanzata (es. text mining) e di dati in tempo reale provenienti dai social media, consente di realizzare analisi immediate per assistere il management nella definizione di strategie adattive adeguate alla prospettiva delle relazioni con i clienti.

Nella prospettiva dei processi interni, l'analisi descrittiva consente di sintetizzare e descrivere le condizioni dei processi medesimi, mentre l'analisi predittiva gioca un ruolo importante nella misurazione e nella gestione di tali processi. Infatti, è possibile, da un lato, costruire modelli di stima dei valori futuri relativi alle aree di misura previste dalla BSC, dall'altro fornire valori di benchmarking per il monitoraggio.

Inoltre, mediante l'utilizzo di tecniche di *process mining*, è possibile analizzare e comprendere i flussi transazionali, al fine di effettuare valutazioni anticipate circa l'efficienza dei processi in diverse situazioni. Sulla base dei risultati delle analisi descrittive e predittive è possibile supportare l'ottimizzazione dei processi interni.

Nella prospettiva della crescita e dell'apprendimento, l'analisi descrittiva può essere usata come strumento per monitorare l'enfasi che l'impresa pone sull'innovazione e l'impegno nella formazione del personale in relazione a nuove sfide. L'analisi predittiva assume un'importanza fondamentale nella misurazione delle competenze e nella valutazione delle prospettive di crescita, individuando i possibili *outcome* degli investimenti in innovazione e formazione. Gli strumenti dell'analisi prescrittiva integrano le analisi descrittive e predittive al fine di individuare le strategie o le direzioni ottimali. Inoltre, essi supportano le decisioni di scelta sulle nuove tecnologie da incorporare per accrescere la produttività e l'efficienza del lavoro.

Schlafke e altri (2013) definiscono un framework multilivello finalizzato alla sistematizzazione dei *business performance analytics* in una logica orientata all'applicazione. Essi definiscono quattro livelli che mettono in relazione con i fattori interni ed esterni, riguardanti il contesto di riferimento dell'organizzazione e il modello di business. Tale contesto viene rapportato a un processo, i cui *input*, *output* e *outcome* si intersecano con i livelli di (a) cattura, (b) combinazione, (c) controllo, (d) comunicazione.

Di seguito si descrivono i quattro livelli.

Il livello "cattura" (layer A) riguarda la selezione dei driver di performance nelle fasi di *input*, realizzazione, *output* e *outcome* del processo e il rilevamento dei dati collegati. Tale rilevamento avviene mediante sistemi di misurazione delle performance, implementati o da implementare in azienda, e mediante qualsiasi altro sistema informativo che produce dati o indicatori.

Il livello “combinazione” (layer B) riguarda l'individuazione delle connessioni tra i diversi driver in base alle relazioni causa-effetto, tenendo conto dei possibili sfasamenti temporali. Le relazioni tra i driver di performance possono essere testate mediante l'uso di *business analytics*.

Il livello “controllo” (layer C) riguarda la definizione delle leve di controllo collegate alle relazioni causa-effetto, poste alla base delle azioni del management e dei sistemi di controllo. Mediante un approccio basato su cicli di retroazione vengono testate continuamente le connessioni tra i driver di performance, mentre per la pianificazione vengono utilizzati cicli di *feedforward* testati mediante l'analisi degli scenari (*what-if analysis*).

Il livello “comunicazione” (layer D) riguarda la comunicazione all'interno e all'esterno dei *driver* di performance.

Nalchigar e Yu (2020) definiscono un framework basato su tre punti di vista: *business view*, *analytics design view* e *data preparation view*.

Tali punti di vista, per quanto caratterizzati da diverse finalità, sono collegati l'uno all'altro secondo una logica sistemica, in modo da evitare la formazione di gap tra obiettivi di business, algoritmi di *machine learning* e gestione dei dati.

La *business view* mira a (1) favorire la sollecitazione e la spiegazione dei requisiti di analisi nei contesti di business, (2) supportare l'analisi di tali requisiti e (3) assicurare l'allineamento tra le strategie di business e i modelli di analisi. I principali elementi della *business view* sono: gli attori, gli obiettivi strategici, gli indicatori, gli obiettivi di decisione, gli obiettivi di domanda e gli insight.

Gli obiettivi strategici rappresentano gli obiettivi e le strategie di business. Gli indicatori costituiscono le metriche che misurano e monitorano le *performance* in relazione agli obiettivi. Gli obiettivi decisionali riguardano situazioni in cui gli attori hanno bisogno di compiere una scelta tra diverse alternative. Le decisioni relative a tali scelte vengono supportate mediante sistemi di *analytics*. Gli obiettivi di domanda riguardano il bisogno di conoscenza degli attori durante il processo decisionale. Per ogni obiettivo di domanda devono essere chiari il tipo, l'argomento, il tempo. Il tipo di domanda concerne la formulazione della frase (cosa, chi, quando, dove, perché, come); l'argomento definisce il focus dell'analisi ed evidenzia le parti collegate dei dati dell'impresa per un determinato problema; il tempo (passato, presente, futuro) rappresenta l'aspetto temporale del focus di analisi. La frequenza si riferisce agli intervalli con cui gli attori hanno bisogno di rispondere per gli obiettivi di domanda. Gli *insight* caratterizzano il tipo di schema e di ricerca adottato per rispondere agli obiettivi della domanda. Per ogni *insight* è necessario definire tipo, input, output, frequenza di utilizzo, frequenza di *upload* e periodo di apprendimento. Questi attributi supportano la traslazione delle questioni di business in problemi di *data mining*.

La *analytics design view* mira a (1) supportare la ricerca di approcci alternativi di analisi, (2) facilitare la progettazione di esperimenti e identificare i *trade-off* e (3) supportare la selezione di algoritmi e il loro monitoraggio nel tempo. I principali elementi del modello sono gli obiettivi di analisi, gli algoritmi, i *softgoal* e le influenze.

Gli obiettivi di analisi definiscono le analisi da eseguire sui set di dati. Vi sono tre tipi di obiettivi analitici. Se l’obiettivo di analisi è la predizione del valore di un dato, si definisce obiettivo predittivo. Se l’obiettivo di analisi è riassumere e spiegare i dati, si definisce obiettivo descrittivo. Se l’analisi mira a individuare l’alternativa ottimale data una serie di opzioni e criteri, si definisce obiettivo prescrittivo. La tipologia di obiettivi è legata dal tipo di *insight* derivante dalla *business view*. Ogni obiettivo di analisi viene poi connesso ai corrispondenti elementi di *insight*.

Gli algoritmi sono procedure e fasi di calcolo che garantiscono il raggiungimento degli obiettivi di analisi. Essi sono collegati agli obiettivi analitici mediante i *perform link*, mostrando una relazione mezzi-fini. i *softgoal* rappresentano i requisiti di qualità dei quali occorre tenere conto durante la progettazione della soluzione di *machine learning*. I collegamenti di influenza mostrano come i *softgoal* vengono soddisfatti mediante le decisioni di operazionalizzazione e progetto.

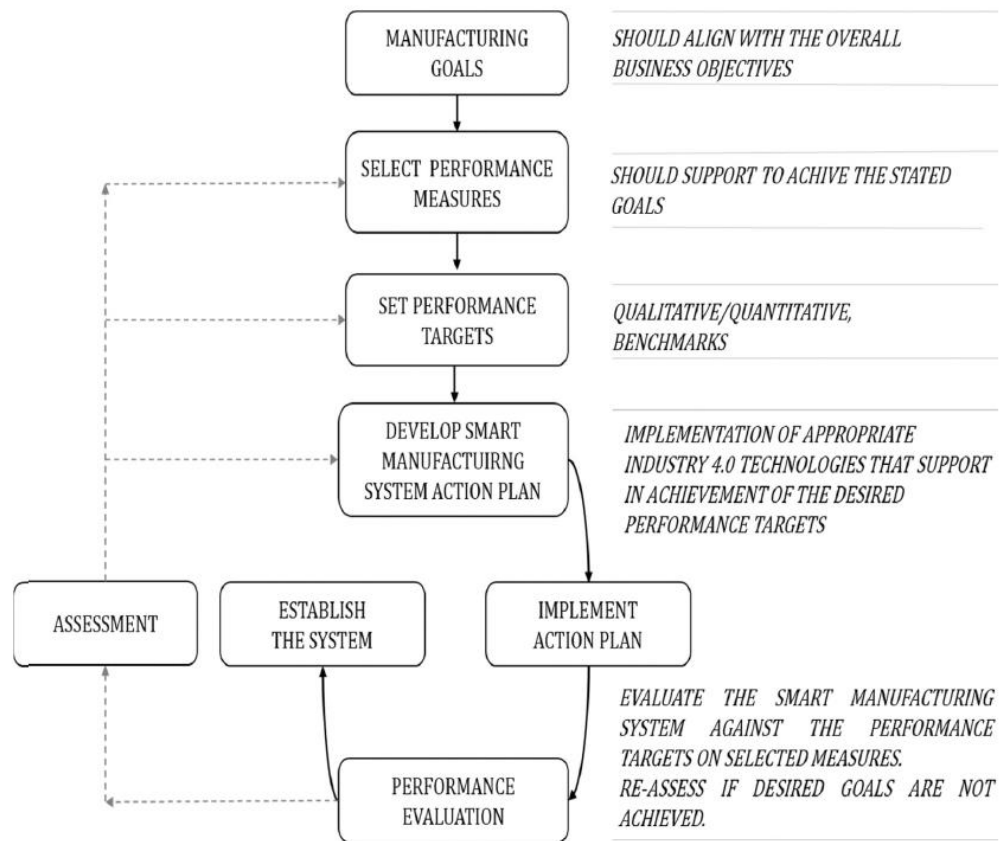
La *analytics design view* è connessa alla *business view* mediante i link generati.

La *data preparation view* mira a (1) supportare la condivisione e il riuso dei dati predisposti, (2) estendere la consapevolezza dei dati tra i fruitori delle analisi e (3) facilitare la comprensione dei dati fornendo referenze sulle attività di preparazione dei dati. I principali elementi del modello sono entità, relazioni, preparazione attività, operatori e flussi di dati.

Le entità e le loro relazioni rappresentano le tavole di dati grezzi e le loro relazioni concettuali. Essi rappresentano, inoltre, set di dati ottenuti come *output* delle attività di preparazione dei dati. I set di dati predisposti sono connessi ai relativi obiettivi di analisi tramite il necessario collegamento. L’attività di preparazione dei dati rappresenta l’attività generale di preparazione dei dati per il raggiungimento degli obiettivi di analisi. *Data cleaning*, *data reduction*, *data transformation* e *data integration* sono tipi di attività di preparazione. L’attività di preparazione dei dati consiste in uno o più operazioni che sono collegate mediante flussi di dati. Questo punto di vista è connesso al precedente mediante *link* necessari.

Partendo dall’individuazione di dieci dimensioni di performance legate agli *smart manufacturing system*, vale a dire costi, qualità, flessibilità, tempo, integrazione, produttività ottimizzata, diagnosi in tempo reale e prognosi, calcolo, sostenibilità sociale ed ecologica, Kamble et al. (2020) definiscono un framework per la misurazione delle performance, concepito nell’ambito degli *smart manufacturing*

system (SMPMS – Smart Manufacturing Performance Measurement System), il cui schema si riporta nella figura 5.4.



Fonte: Kamble et al. (2020).

Fig. 5.4 – Smart manufacturing performance measurement system

Il framework SMPMS prende in considerazione l’impatto degli *smart manufacturing system* sulle dieci dimensioni di performance in base alla loro rilevanza ai fini del raggiungimento degli obiettivi della produzione (*manufacturing goal*), i quali devono essere a loro volta funzionali al raggiungimento degli obiettivi di business. L’applicazione del modello parte dalla selezione delle dimensioni di performance più appropriate all’analisi (*performance measure*), scelte tra quelle sopra enunciate. Il passaggio successivo consiste nell’impostazione delle prestazioni target (*performance target*) utilizzando specifici indicatori di misura definiti per ogni dimensione. In questa fase occorre tener conto che di solito servono diversi indicatori di misura per descrivere adeguatamente dimensioni di performance più ampie o aggregate. Le prestazioni target vengono fissate rispetto a standard storici, obiettivi di miglioramento o in rapporto alla concorrenza. Gli obiettivi della produzione e le prestazioni target guidano lo sviluppo di un

piano d’azione (*SMS action plan*), il quale prevede l’implementazione delle diverse leve tecnologica previste dal paradigma Industria 4.0¹⁹.

Il framework SMPMS è strutturato come segue.

- **Manufacturing goal.** Gli obiettivi di produzione dovrebbero essere allineati con gli obiettivi di business e dovrebbero essere guidati dal vantaggio competitivo dell’impresa. Gli obiettivi di produzione potrebbero essere declinati in una o più dimensioni delle prestazioni. È importante evitare che le dimensioni selezionate siano in conflitto tra loro.
- **Performance measure.** Dovrebbero essere selezionate le misure idonee per valutare le prestazioni ai fini del raggiungimento degli obiettivi di produzione.
- **Performance target.** Gli obiettivi fissati per le misure di prestazione dovrebbero essere misurabili e realistici. Questi obiettivi di prestazione dovrebbero essere comunicati a tutti i gestori funzionali per guidare le loro decisioni operative. Ciò aiuterà le piccole e medie imprese a raccogliere tutte le informazioni pertinenti per la valutazione delle prestazioni senza alcuna interruzione.
- **SMS action plan.** In SMPMS, il piano d’azione ruota attorno all’implementazione della tecnologia Industry 4.0 adatte per sviluppare SMS.

La valutazione e il monitoraggio delle prestazioni vengono eseguite confrontando le prestazioni effettive con le prestazioni target in modo programmato. Sulla base della valutazione, possono verificarsi le seguenti situazioni.

- Nessun cambiamento nelle misure di prestazione, negli obiettivi e nel piano d’azione: ciò si verifica quando le misure e gli obiettivi selezionati contribuiscono al raggiungimento degli obiettivi manifatturieri senza deviazione.
- Rimozione o revisione delle misure di prestazione: dopo il primo stadio di valutazione può verificarsi che alcune misure devono essere sostituite o rimosse poiché si rivelano irrilevanti o insignificanti in quanto non danno alcun contributo al raggiungimento degli obiettivi di produzione.
- Revisione negli obiettivi delle prestazioni: ciò si verifica quando ci si rende conto che gli obiettivi stabiliti non sono misurabili o non sono realistici. In questi casi gli obiettivi devono essere rivisti.

4.3 Sistemi informativi complessi e valutazione integrata

L’integrazione tra nuove tecnologie dell’informazione e modalità di analisi avanzate che dà luogo a sistemi informativi complessi, consente la creazione e l’implementazione di modelli di valutazione

¹⁹ Advanced Manufacturing Solution, Additive Manufacturing, Augmented Reality, Simulation, Horizontal and Vertical System Integration, Industrial Internet of Things, Cloud, Cybersecurity, Big Data and Analytics.

multidimensionale delle performance aziendali che permettono l’analisi integrata di diverse dimensioni di business da considerarsi critiche rispetto alla creazione del valore e alla competitività delle imprese.

A tal fine, rivela particolare interesse la valutazione del potenziale tecnologico dell’impresa, posto in relazione con le sue performance economico-finanziarie. Tale valutazione può essere condotta mediante un modello basato sulla duplice prospettiva tecnologica e finanziaria, nell’ambito di prospetti assimilabili alla contabilità convenzionale, che consentono di omogeneizzare la valutazione delle performance complessive dell’azienda. Prendendo in considerazione, in modo combinato, la prospettiva tecnologica e quella finanziaria è possibile sviluppare un portafoglio tecnologico e finanziario che consente di valutare le performance dell’impresa in base al suo livello di attrattività tecnologica e finanziaria.

L’attrattività tecnologica di un’azienda può essere valutata realizzando un bilancio tecnologico assimilabile al bilancio contabile, del quale riprende il sistema di logiche correlate e figure chiave strutturate, che collegano matematicamente asset e valori economici.

Il bilancio tecnologico nasce dall’analisi e trattamento dei dati legati alle tecnologie potenziali, da un lato, e la loro valutazione, dall’altro. L’applicazione all’analisi tecnologica di un modello di bilancio assimilabile al bilancio contabile risulta particolarmente utile per il supporto alle decisioni da assumere sull’uso strategico delle tecnologie, soprattutto in contesti di tipo *high-tech* come quelli riferibili al paradigma Industria 4.0. Ciò consente, infatti, di inquadrare più efficacemente l’impatto delle tecnologie sulla capacità dell’impresa di creare valore ed effettuare una valutazione funzionale al contesto di riferimento nel corso del tempo.

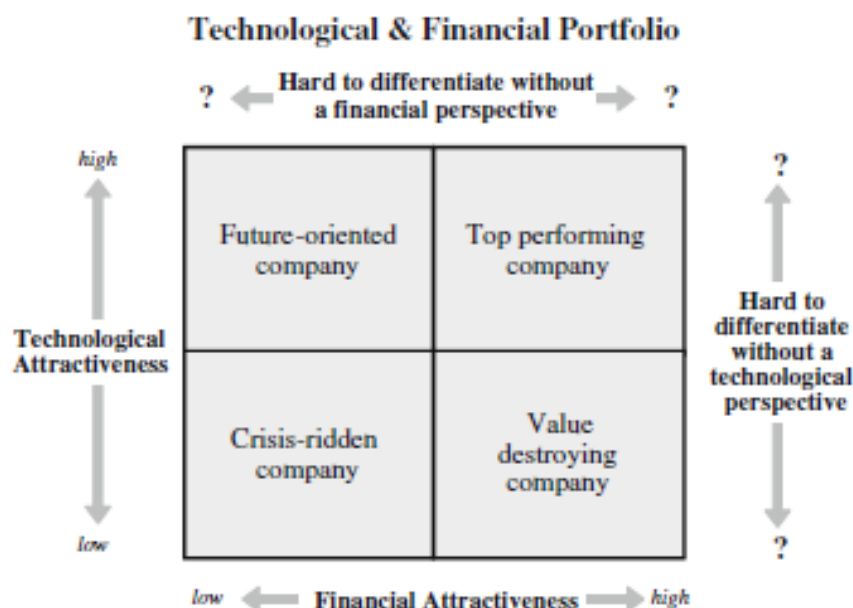
In genere, gli strumenti per la valutazione tecnologica sono di tipo inventariale e appaiono come una sorta di dichiarazione. Negli ultimi anni sono stati sviluppati a questo scopo diversi modelli per la valutazione strategica delle tecnologie, come, per esempio, il portafoglio tecnologico (Pfeiffer et al. 1991), il portafoglio del mercato tecnologico (Specht e Beckmann, 1996) e il calendario tecnologico (Wilde- mann, 1993; Eversheim et al., 1996). Questi strumenti non mirano principalmente a tracciare un inventario delle tecnologie disponibili in un’impresa, piuttosto tendono a definire un bilancio tecnologico (Hartmann, 1997) analogo al bilancio contabile, generato a partire da un inventario tecnologico.

Prima di descrivere in dettaglio il processo specifico di una valutazione tecnologica aziendale, si intende evidenziare l’utilità della valutazione tecnologica e del bilancio tecnologico come strumento di valutazione delle performance.

4.3.1 Portafoglio tecnologico e finanziario

La valutazione tecnologica di un’azienda può essere considerata come un mezzo supplementare di valutazione delle performance dell’impresa poiché le dimensioni tecnologica e finanziaria sono

interconnesse e reciprocamente condizionate, come viene evidenziato nella sottostante figura 5.5, che riporta le interrelazioni tra l’aspetto tecnologico e quello finanziario nell’ambito di un portafoglio aziendale.



Fonte: Adattamento da *Innovation Performance Accounting* (2010).

Fig. 5.5 – Portafoglio tecnologico e finanziario

Dall’analisi della figura emerge come, laddove si concentri l’analisi soltanto sulla prospettiva dell’attrattività finanziaria, posta sull’asse orizzontale, non si riuscirebbe a cogliere la dimensione delle performance future dell’azienda. Diversamente, prendendo in considerazione anche la prospettiva tecnologica si rende possibile distinguere tra le aziende orientate al futuro, quelle in crisi o quelle con prestazioni elevate, ma che distruggono valore.

Pertanto, l’inclusione della prospettiva tecnologica permette di ampliare sensibilmente l’analisi delle performance dell’impresa nel tempo. Infatti, la dimensione dell’attrattività tecnologica consente una valutazione delle performance di lungo periodo poiché, come definito da Hartmann et al. (2010, p. 288) *“The technologically crisis-ridden company only reveals its serious sickness on a longer-term comparison – and – if possible – in a company benchmarking with technologically or market-related comparable companies. [...] This type of crisis-ridden company is much more difficult to identify analytically in balance sheets”*.

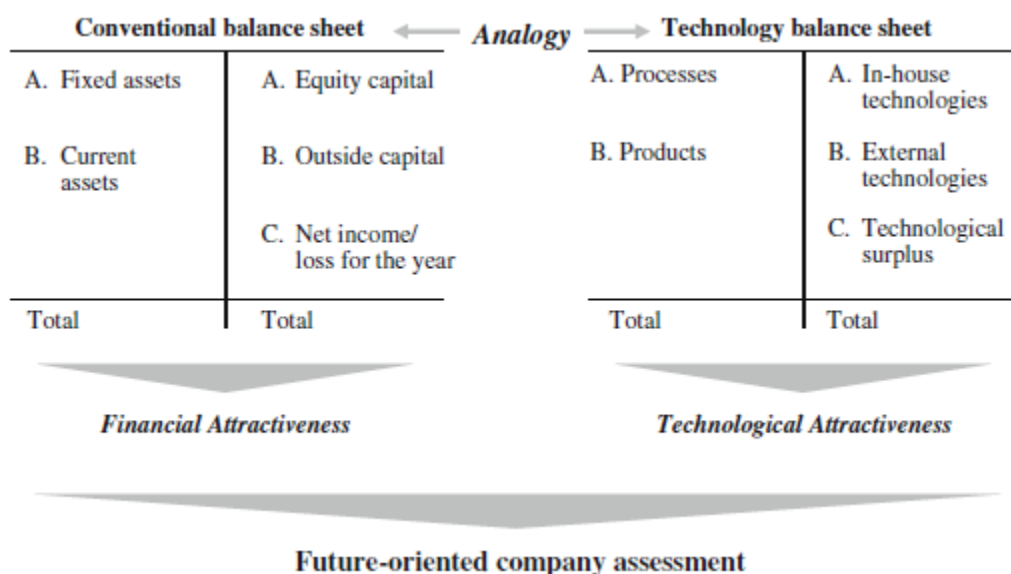
Al contempo, analogamente a quanto rilevato in merito alla prospettiva finanziaria, nel caso l’analisi si focalizzi esclusivamente sulla prospettiva tecnologica, valutando l’azienda soltanto rispetto all’asse

verticale (attrattività tecnologica), è estremamente difficile distinguere tra le aziende orientate al futuro, quelle con le migliori performance.

L’attrattività tecnologica è definita come la somma dei vantaggi tecnici e commerciali ottenibili sfruttando appieno il potenziale di sviluppo delle tecnologie. La valutazione del potenziale tecnologico complessivo viene effettuata in primo luogo registrando ed elencando tutte le tecnologie dell’azienda e, in secondo luogo, valutando il loro potenziale di sviluppo. Questo approccio rivela un interessante parallelismo con la teoria contabile convenzionale che, secondo Lehmann (1955), può essere suddivisa in teorie contabili formali e materiali. La teoria contabile formale comporta la strutturazione del contenuto contabile, mentre, la teoria della contabilità materiale si occupa di valutare il contenuto contabile. Intendendo quest’ultimo come l’insieme di tutte le tecnologie, i principi della teoria contabile convenzionale possono essere trasferiti in un cosiddetto bilancio tecnologico per la valutazione delle performance dell’azienda. Gli aspetti formali mettono in discussione la struttura di un bilancio tecnologico e il lato materiale evidenzia la valutazione del bilancio.

4.3.2 Bilancio tecnologico

Il quadro di riferimento per lo sviluppo di un bilancio tecnologico è simile a quello del bilancio contabile (figura 5.6). Il lato dell’attivo riporta le applicazioni delle tecnologie, mentre il lato del passivo ne chiarisce l’origine. Le tecnologie sul lato del passivo sono intese come risorse che, una volta combinate, danno luogo a prodotti o processi sul lato dell’attivo.



Fonte: Adattamento da Innovation Performance Accounting (2010).

Fig. 5.6 – Similitudini tra il bilancio contabile e il bilancio tecnologico

L'applicazione della tradizionale struttura di bilancio alle questioni tecnologiche consente di illustrare in modo strutturato la situazione tecnologica di un'azienda utilizzando un approccio noto e consolidato.

Mentre l'attivo del bilancio contabile è strutturato nell'attivo immobilizzato e nell'attivo circolante, il bilancio tecnologico riporta tecnologie di produzione e di processo, e prodotti tecnologici. Vi sono, pertanto, analogie concettuali tra i due tipi di bilanci, infatti i macchinari, gli impianti, le attrezzature, ecc. inclusi nelle tecnologie di processo, sono riportate nell'attivo sia del bilancio contabile sia del bilancio tecnologico nella sezione A; allo stesso modo i prodotti sono riportati nel bilancio tecnologico come tecnologie di prodotto, nel bilancio contabile come prodotti finiti.

La sezione dell'attivo del bilancio tecnologico riporta un secondo livello di classificazione basato sulle diverse fasi del ciclo di vita della tecnologia. A seconda dello stadio di sviluppo della tecnologia, essa potrà attestarsi in fase di osservazione, in fase emergente, in fase di mercato o in fase di dismissione. Il prerequisito della valutazione strategica delle tecnologie è un approccio integrato con il ciclo di vita tecnologico. Il valore informativo di tale approccio risiede nella considerazione delle principali dinamiche di sviluppo tecnologico. Infatti, qualora il ciclo di mercato registri un successo nel breve periodo, non è detto che questo permanga nel medio lungo periodo.

La chiave del successo futuro risiede proprio nella capacità di prevedere la tendenza generale delle nuove tecnologie, attualmente in fase di osservazione, e i cicli emergenti. Tale previsione può essere realizzata mediante il ricorso alla *business performance analysis* e alla *predictive business analysis*, le quali consentono di individuare nuove e più efficaci soluzioni tecnologiche che sostituiscono le tecnologie obsolete, che consolidano il vantaggio competitivo dell'impresa a lungo termine.

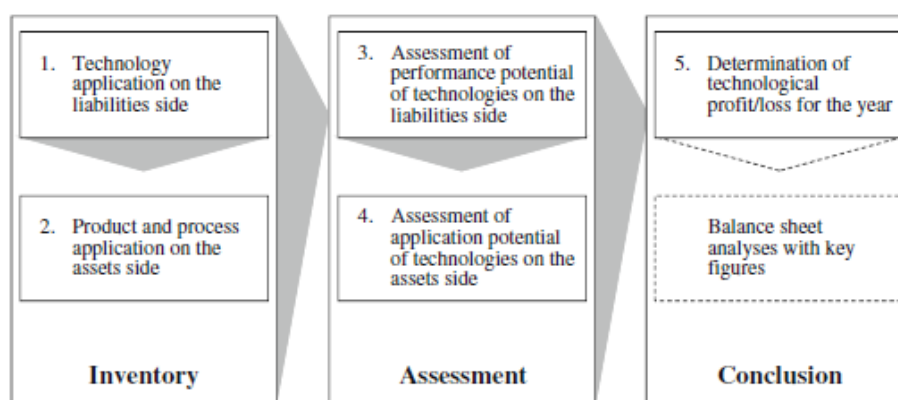
Il passivo del bilancio contabile è suddiviso in capitale proprio e capitale di terzi. In modo affine, il bilancio tecnologico è suddiviso in tecnologie interne e tecnologie di provenienza esterna, in maniera tale da evidenziare se le tecnologie disponibili per l'azienda hanno origine da sviluppi interni o esterni. La conoscenza o il *know-how* relativo a una tecnologia può, quindi, essere descritto come capitale aziendale, analogamente al bilancio contabile. Il passivo del bilancio tecnologico è suddiviso, a un secondo livello di classificazione, in funzione della disponibilità di conoscenza delle tecnologie, sulla base delle seguenti quattro componenti di base del *know-how*: conoscenza della teoria, conoscenza dell'osservazione, conoscenza delle competenze e conoscenza dei sistemi. La “conoscenza della teoria” riflette lo stato teorico e scientifico su cui si basa una tecnologia. Con l'espressione “conoscenza dell'osservazione” ci si riferisce ai rapporti di causa/effetto, al di là degli aspetti teorici. La “conoscenza delle competenze” fa riferimento agli aspetti tecnici e alla capacità di far funzionare le tecnologie. La

combinazione delle tre componenti della conoscenza sopra descritte, applicata alla soluzione dei problemi, rappresenta la “conoscenza dei sistemi”.

La strutturazione formale del passivo consente, infine, di misurare indirettamente le conoscenze o, meglio, il *know-how*, aggirando così le difficoltà di una valutazione materiale. Parallelamente, il capitale di conoscenza è pronto a condurre una valutazione complessiva. La differenziazione concettuale di Lehmann (1955) in una teoria di bilancio formale e in una teoria di bilancio materiale può, quindi, essere applicata efficacemente anche per il bilancio tecnologico.

4.3.3 Processo di sviluppo del bilancio tecnologico

Analogamente al bilancio contabile, il bilancio tecnologico viene sviluppato partendo dall’inventario delle tecnologie presenti all’interno di un’azienda e da essa applicate. In una seconda fase viene effettuata la valutazione per poi determinare, nella terza fase, un surplus o un deficit tecnologico (figura 5.7).



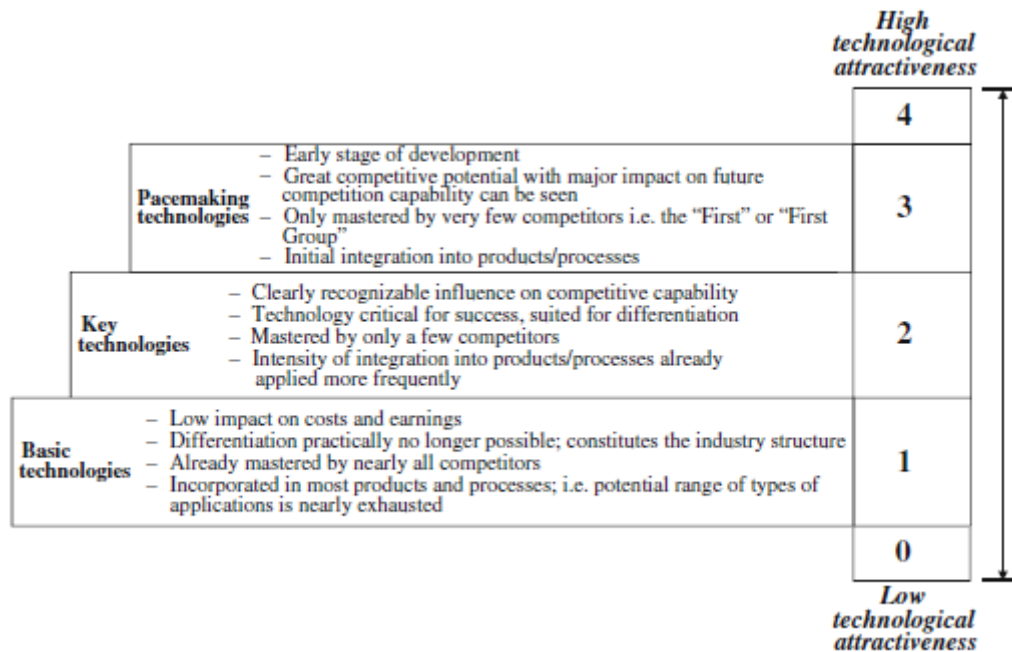
Fonte: Adattamento da *Innovation Performance Accounting* (2010).

Fig. 5.7 – Processo di formazione del bilancio tecnologico

Fase 1 – Inventario. Il punto di partenza per la redazione del bilancio tecnologico è l’inventario tecnologico, che prevede la registrazione strutturata di tutte le tecnologie disponibili, utilizzate dall’azienda. Una metodologia applicabile è costituita dall’analisi tecnologica di Pfeiffer/Metze (1989). Questa analisi valuta le strutture tecnologiche di specifici beni, cioè di processi, prodotti e componenti. “Generally, these goods are a mix of different single technologies. Vice versa, this also means that different goods can be tracked back to inherently similar single technologies. These technologies should be understood as single technologies that cannot be further split up into functional components, but which can, however, be differentiated characteristically.” (Hartmann et al., 2010, p. 292) In altre parole, questo significa, in primo luogo, che i prodotti che si differenziano maggiormente possono avere radici

tecnologiche comuni e, in secondo luogo, che alcune tecnologie disponibili possono essere utilizzate per diversi campi di applicazione.

Fase 2 – Valutazione. Dopo aver elencato strutturalmente i prodotti e i processi dell’azienda dal lato delle applicazioni e le aree tecnologiche incorporate (tecnologie interne o esterne) dal lato delle risorse, il passo successivo è quello di valutare le tecnologie che compongono il bilancio tecnologico. Le voci di bilancio vengono valutate utilizzando degli indicatori di attrattività tecnologica, che costituisce parte del metodo sviluppato dal professor Werner Pfeiffer (1989) dell’Università di Erlangen, Norimberga. L’attrattività tecnologica è definita come la somma di tutti i vantaggi tecnici e commerciali che si possono ottenere sfruttando appieno tutte le possibilità strategiche di ulteriore sviluppo esistenti in una tecnologia o – a livello di sistema aggregato – di un’azienda tecnologica. Il potenziale di sviluppo si riferisce al potenziale miglioramento delle prestazioni di una tecnologia e alla sua capacità di riduzione dei costi. La valutazione di attrattività tecnologica si basa su una categorizzazione in: *pacemaking*, tecnologia chiave e tecnologie di base. Una tecnologia di tipo *pacemaking* è caratterizzata da una fase di sviluppo con un enorme potenziale competitivo che potrebbe avere un grande impatto sulla concorrenza futura. La tecnologia in questione sarà padroneggiata da un solo – o da pochissimi – concorrente/i. Una tecnologia chiave ha un impatto importante sulla competitività, e sarà padroneggiata da pochi concorrenti, ma verrà applicata più frequentemente a prodotti e processi. Una tecnologia di base, infine, ha solo un minore impatto sul profitto e sulla leva dei costi, ed è padroneggiata da quasi tutti i concorrenti. Le tecnologie di base sono integrate in quasi tutti i processi e prodotti, la loro gamma potenziale di applicazioni tende all’esaurimento. Nel bilancio tecnologico, una tecnologia *pacemaker* ottiene un punteggio di tre (molto attraente), una tecnologia chiave ottiene un punteggio di 2 (moderatamente attraente) e una tecnologia di base ottiene un punteggio di uno (meno attraente). Gli altri valori limite di 0 e 4 mostrano gli estremi riportati nella figura 5.8.



Fonte: Adattamento da Innovation Performance Accounting (2010).

Fig. 5.8 – Valutazione dell’attrattività tecnologica

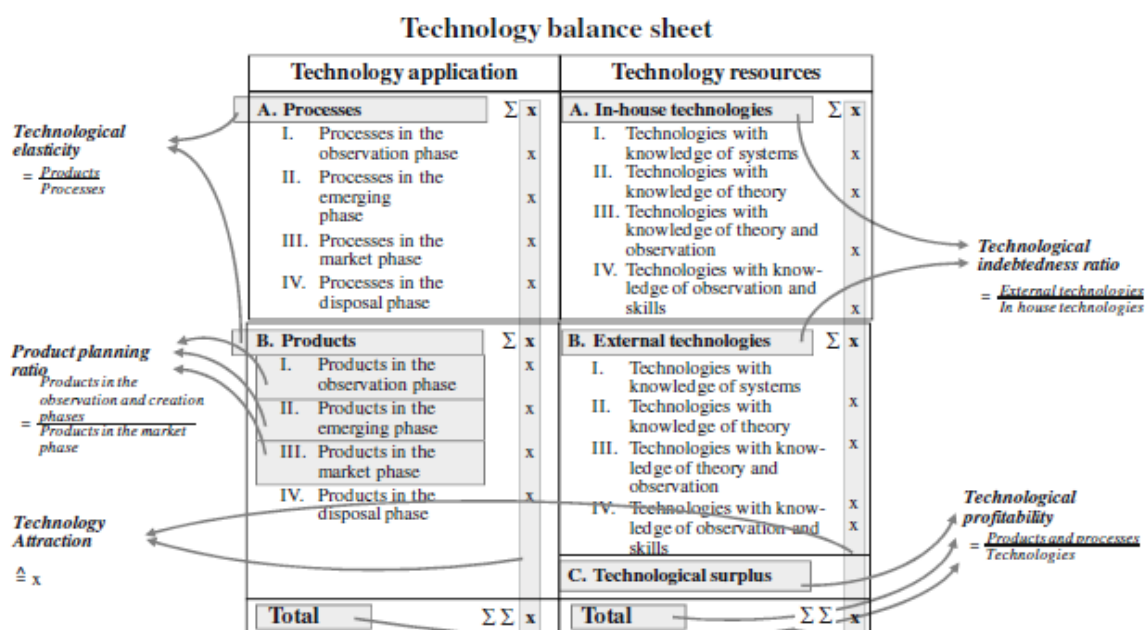
Nella fase di valutazione assume particolare importanza la definizione del sistema degli indicatori e l’utilizzo di strumenti avanzati di *business performance analysis*, che consentono di dare maggiore affidabilità all’analisi, anche sotto il profilo dinamico della predittività.

Fase 3 – Conclusione. Il bilancio tecnologico può essere redatto dopo che tutte le tecnologie, i prodotti e i processi sono stati sistematicamente registrati e valutati. L’emergere di un profitto tecnologico indica che tutte le tecnologie sono state usate in modo efficiente in numerosi processi e prodotti. La presenza di un deficit tecnologico significherebbe che diverse tecnologie disponibili non trovano applicazione in prodotti e processi. Tale inefficiente utilizzo delle tecnologie e del know-how tecnologico potrebbe riflettersi in un futuro calo del volume di ricavi, causato dalla mancanza di nuovi prodotti, o riflettersi in mancate ricadute sul mercato degli investimenti in ricerca e sviluppo.

4.3.4 Analisi del bilancio tecnologico

Analisi statica

L’analisi statica del bilancio tecnologico consente di individuare i principali elementi della valutazione tecnologica mediante una serie di indicatori chiave. La figura 5.9 mostra i principali indicatori chiave da applicare al bilancio ai fini della valutazione tecnologica.



Fonte: Adattamento da Innovation performance accounting (2010).

Fig. 5.9 – Bilancio tecnologico con indicatori chiave

Di seguito i principali indicatori funzionali alla valutazione tecnologica.

1. La valutazione dell'attrattività delle tecnologie (*technology attraction*) sulla base dei *rating* inseriti nel passivo del bilancio tecnologico consente di individuare se l'impresa possiede competenze tecnologiche sufficienti a sviluppare nuovi prodotti che potranno essere commercializzati in modo sostenibile dal punto di vista della profittabilità e della crescita.
2. L'indice di redditività tecnologica (*technological profitability*), costituito dal rapporto tra il valore totale dei processi e dei prodotti riportato nell'attivo e il valore tecnologico totale espresso nel passivo (*products and processes / technologies*), consente di individuare la capacità dell'impresa di trasferire il proprio *know-how* nello sviluppo di prodotti e processi competitivi. In tal modo si ottiene la misura dell'applicazione economica delle tecnologie in prodotti e processi.
3. L'indice di pianificazione del prodotto (*product planning ratio*), ottenuto dal rapporto tra l'attrattività tecnologica dei prodotti in fase di osservazione ed emergenti (lato applicazione della tecnologia – settori B.I.+B.II.) e l'attrattività tecnologica dei prodotti allo stadio di mercato (lato applicazione della tecnologia – settore B.III.), permette di comprendere in che misura le attività di ricerca e sviluppo siano riconducibili a prodotti in grado di assicurare il successo futuro dell'impresa sul mercato.

4. L'indice di elasticità tecnologica (*technology elasticity*), calcolato mediante il rapporto tra l'attrattività tecnologica dei prodotti (lato applicazione della tecnologia – settore B) e l'attrattività tecnologica dei processi (risorse tecnologiche – lato risorse – settore A), consente di indagare se l'impresa possiede il *know-how* di processo necessario per la realizzazione dei prodotti. L'indicatore misura anche il rapporto tra tecnologie di prodotto e tecnologie di processo.
5. L'indice di indebitamento tecnologico (*technological indebtedness ratio*), costituito dal rapporto tra le tecnologie acquisite all'esterno (lato risorse tecnologiche – settore B) e le tecnologie sviluppate all'interno (lato risorse tecnologiche – settore A), consente di individuare i campi nei quali l'impresa necessita di acquisire *know-how* dall'esterno. L'indicatore misura anche la dipendenza di un'azienda dal *know-how* esterno.

Analisi dinamica

La valutazione tecnologica può essere completata con un'analisi dinamica del bilancio tecnologico, confrontando i valori di diversi bilanci tecnologici relativi a una serie di periodi.

Di seguito i principali indicatori da utilizzare nell'analisi dinamica.

1. L'indice di default tecnologico (*technological default ratio*) è basato sul rapporto tra i valori pianificati e i valori consuntivi, riferiti ai prodotti che al momento dell'analisi avrebbero dovuto essere presenti sul mercato, ma che non sono ancora stati sviluppati. Per determinare questo rapporto i nuovi prodotti in fase di mercato dovrebbero essere valutati in relazione a prodotti che sono ancora in fase emergente ma che, secondo il *business plan*, dovrebbero già essere sul mercato. Questo rapporto dovrebbe consentire l'individuazione dei rischi di un'implementazione ritardata delle tecnologie nel mercato dei prodotti.
2. L'indice di *technological duds* è determinato dal rapporto tra prodotti in fase emergente contenuti in un precedente bilancio tecnologico che non risultano più iscritti nel bilancio tecnologico attuale. Questo indicatore consente di individuare i progetti di R&S che potrebbero essere interrotti. In tal caso, occorre determinare il motivo dell'interruzione di ogni specifico progetto. Se le tecnologie sono state registrate anche durante lo sviluppo di un bilancio tecnologico target di cui un'azienda avrebbe effettivamente bisogno per avere successo a lungo termine nei segmenti di business esistenti, è possibile determinare il grado di lacune tecnologiche di un'azienda. Se esistesse un grande divario tecnologico, l'azienda correrebbe il rischio di perdere la sua roccaforte nei mercati tradizionali.

3. Infine, il confronto dei bilanci tecnologici delle aziende di un settore specifico con i *benchmark* tecnologici fornirà, quindi, una stima della situazione tecnologica dell’azienda rispetto alla concorrenza.

4.3.5 Rating tecnologico e valutazione complessiva

A seguito delle analisi statiche e dinamiche del bilancio tecnologico, viene effettuata una valutazione complessiva sintetica delle *performance* dell’azienda sulla base di un *rating* tecnologico. La procedura di *rating* tecnologico è assimilabile *mutatis mutandis* alla procedura di rating finanziario, e consiste nella sintesi e sistematizzazione dei risultati dell’analisi del bilancio tecnologico. Il rating tecnologico ha l’obiettivo di definire un valore tecnologico complessivo utilizzato per il posizionamento dell’impresa nel portafoglio tecnologico e finanziario mostrato in precedenza. Nell’ambito di tale portafoglio, il *rating* tecnologico sarà posto in relazione al *rating* finanziario per consentire la valutazione complessiva in precedenza discussa.

In particolare, nel contesto dei sistemi cyber-fisici il rating tecnologico e la valutazione complessiva condotta ponendo quest’ultimo in relazione al rating finanziario assumono una prospettiva di anticipazione del futuro e di predittività, superando i modelli di analisi focalizzati sull’adattamento basato sull’analisi della gestione passata. Infatti, questi contesti consentono un approccio olistico alla misurazione delle prestazioni grazie alla loro capacità di cogliere la natura diversificata e multidimensionale della produzione e la dinamicità necessaria per allineare le strategie alle istanze dell’ambiente competitivo.

4.4 Conclusioni

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.

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 “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 coesistenza, 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.

Il radicale cambiamento delle tecnologie e della competizione, e l’innovazione strategica da parte delle imprese che ne consegue, unitamente all’enorme disponibilità di dati e di informazioni, da un lato, pone la necessità di innovare i sistemi di controllo sulla gestione e monitoraggio delle performance, dall’altro, offre la possibilità di utilizzare a per questo scopo strumenti di analisi avanzata, particolarmente efficaci, che, tuttavia, riverberano effetti importanti sul *management accounting* e sui *performance management system*.

Tradizionalmente il *management accounting* costituisce un sistema di informazioni di carattere eminentemente contabile finalizzato a guidare i manager verso gli obiettivi aziendali. Esso è declinabile nella stima e modellazione dei costi, in una fase *ex ante*, e nell’analisi e gestione dei medesimi, in una fase *ex post*. Nel primo caso si utilizzano strumenti destinati alla determinazione del costo di un oggetto futuro o di un progetto, nel secondo si fa ricorso a strumenti volti a estrarre informazioni sui costi già verificatisi, al fine di supportare decisioni del management e per l’indirizzo del loro operato.

I metodi di *management accounting* sono strettamente collegati con i cambiamenti tecnologici, organizzativi e strategici; pertanto, nel corso del tempo essi hanno subito una forte evoluzione, passando da un approccio strettamente contabile, basato su dati economico-finanziari connessi a strutture organizzativa di tipo gerarchico e sistemi produttivi di tipo industriale, a un approccio multidimensionale di

tipo strategico ed eminentemente focalizzato sui processi e le attività, guardando alle *performance* con approcci di tipo orizzontale o reticolare, fino a giungere ai sistemi *performance management system*.

I *performance management system* rappresentano l'evoluzione da modelli che ponevano l'enfasi sulla misurazione e controllo dei costi a una focalizzazione sulla misurazione del valore, ponendosi come raccordo tra la pianificazione strategica e il controllo operativo. Mediante le tecnologie dell'Industria 4.0, tali sistemi vengono integrati con *business analytics* per costruire apparati informativi di tipo multidimensionale che consentono la misurazione di parametri di tipo sia economico-finanziario sia fisico-tecnico, nell'ambito di un'ampia rete causale che mette in relazione variabili competitive, obiettivi, risorse, processi, azioni e risultati, che caratterizzano il *business model* delle imprese, con particolare riferimento ai *business model 4.0*.

Le capacità predittive assicurate dai *business analytics* permettono di realizzare sistemi di *predictive business analysis*, in grado di supportare in modo più efficace che mai l'esplorazione, la comprensione e lo sfruttamento delle dinamiche e delle opportunità di business per l'identificazione e l'implementazione delle migliori strategie.

In conclusione, il tema dell'integrazione tra i sistemi cyber-fisici, i *business analytics* e la *business performance analysis*, nel contesto del paradigma Industria 4.0, offre 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.

BIBLIOGRAFIA

- ACCA (2009). *The CFO's New Environment*.
- Accenture (2013). *Analytics in Action: Breakthroughs and Barriers on the Journey to ROI*.
- Agyapong-Kodua, K. (2009). *Multi-product cost and value stream modelling in support of business process analysis*. [Tesi di dottorato Loughborough University].
- AIAF (2006). Innovation focus Indicator – misurare e gestire l'innovazione nelle imprese. AIAF, 58.
- Anthony, R. N. (1965). *Planning and Control Systems: A Framework for Analysis*. Harvard University.
- Appelbaum, D., Kogan, A., Vasarhelyi, M., & Yan, Z. (2017). Impact of Business Analytics and Enterprise Systems on Managerial Accounting. *International Journal of Accounting Information*, 25, 29–44.
- Ashton, K. (2009). That “Internet of Things” Thing: In the Real World Things Matter More than Ideas. *RFID Journal*.
- Asiedu, Y., & Besant, R. W. (2000). Simulation-based cost estimation under economic uncertainty using kernel estimators. *International Journal of Production Research*, 38(9).
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2014). From “smart objects” to “social objects”: The next evolutionary step of the internet of things. *IEEE Communications Magazine*, 1.
- Baptista, L.F., & Barata, J. (2021). Piloting Industry 4.0 in SMEs with RAMI 4.0: an enterprise architecture approach. *Procedia Computer Science*, 192, 2826-2835.
- Beretta, S. (2002). Unleashing the integration potential of ERP systems. The role of process-based performance measurement systems. *Business Process Management Journal*, 8(3).
- Bhimani, A., Caglio, A., Ditillo, A., & Morelli M. (2008). *Performance Management: Controllo di gestione: modelli e strumenti per competere oggi*. EGEA.
- Birkinshaw, J., Hamel, G., & Mol, M. J. (2008). Management Innovation. *The Academy of Management review*, 33(4), 825-845.
- Birnberg, J. G. (2009). The case for post-modern management accounting: Thinking outside the box. *Journal of Management Accounting Research*, 21, 3–18.
- Boyes, H., Hallaq, B., Cunningham, J., & Watson, T. (2018). The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. *Computers in Industry*, 101, 1-12.
- Boyes, H., Hallaq, B., Cunningham, J., & Watson, T. (2018). The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. *Computer in Industry*, 101, 1-12.
- Braun, E., (2005). *Technology in contest - Technology assessment form managers*. Routledge.

- Bromwich, M., & Bhimani, A. (1989). *Management Accounting: Evolution not Revolution*. Chartered Institute of Management Accountants
- Burns, J. (2000). The dynamics of accounting change: inter-play between new practices, routines, institutions, power and politics. *Accounting, Auditing and Accountability*, 13(5).
- Burns, J., Ezzamel, M., & Scapens, R. (1999). Management Accounting Change in the UK. *Management Accounting*, March.
- Buttà, C. (2004). L’impatto dell’innovazione tecnologica sulle dinamiche competitive: una visione d’insieme del fenomeno. *Sinergie*, (64-65), 9-24.
- Calderini, M., & Scellato, C. (2003). *Interpretare l’innovazione – fattori di successo, misure di prestazione*. Edizioni Fondazione Giovanni Agnelli.
- Caputo, A.C., & Pelagagge, P.M. (2008). Parametric and neural methods for cost estimation of process vessels. *International Journal of Production Economics*, 112(2).
- CIMA (2008). *Improving Decision Making in Organizations Un-Locking Business Intelligence*.
- CIMA (2012). *Professional Identity of Management Accountants: Leadership in Changing Environments*.
- Cokins, G. (2013). Enterprise Performance Management: Making it Work, EDPACS: The EDP Audit, Control, and Security Newsletter, 48:6.
- Collier, P.M., Berry, A.J., & Burke, G.T. (2007). Risk and Management Accounting: Best Practice Guidelines for Enterprise-wide Internal Control Procedures, CIMA Publication.
- Darroch, J. (2005). Knowledge management, innovation and firm performance. *Journal of Knowledge Management*, 9(3), 101-115.
- Davenport, T.H., & Harris, J.G. (2007). The Dark side of Analytics. *Harvard Business Review*.
- Davenport, T.H., & Kim, J. (2013). *Keeping Up with the Quants*.
- Davenport, T.H., Harris, J.G., & Cantrell, S. (2002). The Return of Enterprise Solutions: The Director's Cut. Accenture.
- Deindl, M. (2013). Gestaltung des Einsatzes von intelligenten Objekten. *Produktion und Logistik*. Apprimus-Verl.
- Deputy Undersecretary of defence for Science and Technology (2009). Technology readiness Assessment (TRA). Department of Energy of Washington.
- Dorst, W., & Scheibe, A. (2015). *Umsetzungsstrategie Industry 4.0. Ergebnisbericht der Plattform Industry 4.0*.
- EARTO impact delivered (2014). *The TRL Scale as a research & Innovation Policy Tool, EARTO Recommendations*.

- Evans, J.R., & Lindner, C.H. (2012). Business Analytics: The Next Frontier for Decision Sciences. *Decision Line*, 43(2).
- Foussier, P.M.M. (2006). *From Product description to Cost: A practical Approach*. Springer.
- Gartner (2012). *Business Intelligence, Analytics and Performance Management Market Trends and Dynamics*.
- Gartner (2013). *The CFO's Six Technology Imperatives Results of the 2013 Technology Issues For Financial Executives Survey*.
- Geisberger, E., & Broy, M. (2015). *Living in a networked world. Integrated research agenda Cyber-Physical Systems*. Herbert Utz Verlag.
- German Committee of Experts (2014). *Industry 4.0*.
- Harris, J.G., & Davenport, T.H. (2006). *New Growth from Enterprise Systems: Achieving High Performance through Distinctive Capabilities*. Accenture.
- Hussain, S., Jahanzaib, M. (2018). Sustainable manufacturing – An overview and a conceptual framework for continuous transformation and competitiveness Advances. *Production Engineering & Management*, 13(3), 237-253.
- IFAC (2011). *Predictive Business Analytics: Improving Business Performance with Forward-Looking Measures*.
- James, P. A. (2006). *Measuring Innovation*. The Boston Consulting Group.
- Johnson, H.T., Kaplan, R. (1987). *Relevance Lost: The Rise and Fall of Management Accounting*. Harvard Business School Press.
- Journier, L. (1999). L'idealité des significations empiriques. *G.F. Duportail*. Intentionnalité et langage. Presses Universitaires de Rennes.
- Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J. (2013). Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt industry 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industry 4.0. Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern. *Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft*. Wissenschaft.
- Kamble, S.S., Gunasekaran, A., Ghadge, A., & Raut, R. (2020). A performance measurement system for industry 4.0 enabled smart manufacturing system in SMMES- A review and empirical investigation. *International Journal of Production Economics*, 229.
- Karsten Schweichhart, *Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0)*, https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/a2-schweichhart-reference_architectural_model_industry_4.0_rami_4.0.pdf
- Kiron, D., & Shockley, R. (2011). Creating business value analytics. *MIT Sloan Management Review*, 53(1).
- Kiron, D., Prentice, P.K., Ferguson, R.B. (2014). The Analytics Mandate. *MIT Sloan Management Review*.

- Kishk, M., & Al-Hajj, A. (1999). An integrated framework for life cycle costing in buildings, Proceedings of COBRA 1999 - The challenge of change: construction and building for the new millennium, RICS, 2.
- Kobielus, J. (2010). *The Forrester Wave: Predictive Analytics and Data Mining Solutions*. Forrester Research.
- Kogan, M., Appelbaum, D., Vasarhelyi, M., & Yan Z. (2017). Impact of Business Analytics and enterprise systems on managerial accounting. *International Journal of Accounting Information Systems*, 25, 29-44.
- LaValle, S., Hopkins, M.S., Lesser, E., Schokley, R., & Kruschwitz, N. (2010). Analytics: The new Path to Value: How the Smartest Organizations are Embedding Analytics to Transform Insights into Action. *MIT Sloan Magazine Review*.
- Layer, A., Brinke, E.T., Van Houten, F.J.A.M., Kals, H., & Haasis S. (2002). Recent and future trends in cost estimation. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 15(5).
- Lee, E.A. (2008). *Cyber Physical Systems: Design Challenges*.
- Liberatore, M.J., & Luo, W. (2010). *The Analytics Movement: Implications for Operations Research*. *Interfaces* 4.0.
- Luo, Z. (2013). Introduction to mechanism design for sustainability. *Mechanism design for sustainability: Techniques and cases*. Springer.
- Mason, R.O., & Swanson, E.B. (1979). Gli indici di valutazione per le decisioni aziendali. *Problemi di gestione*, XI(10).
- McKinsey (2011). *Competing through data: Three experts offer their game plans*.
- Mitchell, A.S. (2002). Antipodean assessment: activities, actions, and achievements. *International Journal for Technology Assessment in Health Care* 18(2).
- Monostori, L., Váncza, J., & Kumara, S.R.T. (2006). Agent-based systems for manufacturing, *CIRP Annals*, 55(2), 697-720.
- Moore, K., Sharma, D. (1998). The influence of environmental uncertainty on performance evaluation style and managerial performance. *Accountability and Performance*, 4(2).
- Morris, H., Graham, S., Andersen, P., Moser, K., Blumstein, R., Vesset, D., Martinez, N., & Carr, M. (2003). The Financial Impact of Business Analytics. *Teradata software/technology*.
- Motiltzisa, D, Gargallisa, A., & Zogopoulou, V. (2019). Modelling of Customer Oriented Applications in Product Lifecycle using RAMI 4.0. *Procedia Manufacturing*, 28, 31-36.
- Nachtmann, H., & Nedy, K.L. (2001). Fuzzy Activity Based Costing: A Methodology for Handling Uncertainty in Activity Based Costing Systems. *The Engineering Economist*, 46(4).

- Nalchigar, S., & Yu, E. (2020). Designing Business Analytics Solutions. A Model-Driven Approach. *Business & Information Systems Engineering*, 62, 61-75.
- Nielsen, L. B., Mitchell, F., & Nørreklit, H. (2015). *Management accounting and decision making: Two case studies of outsourcing*. Paper presented at the Accounting Forum.
- Ramen, S., Dursun, D., & Efraim, T. (2004). *Business intelligence and analytics: systems for decision support*. Pearson.
- Resman, M., Turk, M., & Herakovi, N. (2021). Methodology for planning smart factory. *Procedia CIRP*, 97, 401-406
- Romanenko, A., & Artamonov, A. (2014). Big Data: Using analytics to make powerful business decisions. *Analytics Informa*.
- Roy, R., Bendall, D., Taylor, J.P., Jones, P., Madariaga, A.P., Crossland, J., Hamel, J., & Taylor, I.M. (1999). Identifying and capturing the qualitative cost drivers within a concurrent engineering environment. *Advances in Concurrent Engineering*. Technomic Publishing Co. Inc.
- Russell, K.A., Siegel, G.H., Kulesza, C.S. (1999). Counting More, Counting Less: Transformations in the Management Accounting Profession. *Strategic Finance*, 81(3), 38-44.
- Schläfke, M., Silvi, R., & Möller, K. (2013). A framework for business analytics in performance management. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 110–22.
- Schmeisser, W., Mohnkopf, H., Harthmann, M., & Metze, G. (2010). *Innovation performance Accounting*. Springer.
- Schulz-Schaeffer, I. (2008). Formen und Dimensionen der Verselbständigung. *Die Verselbständigung des Computers*.
- Shehab, E., Abdalla, H. (2002). An intelligent knowledge-based system for product cost modelling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 19(1).
- Shmueli, G., & Koppius O. (2011). Predictive Analytics in Information Systems Research. *MIS Quarterly*, 35(3).
- Silvi, R., Bartolini, M., Raffoni, A., & Visani, F. (2011). Business Performance Analytics: Il Valore Nei Sistemi Di Management Accounting. *Management Control*. Franco Angeli.
- Silvi, R., Moeller, K., & Schlaefke M. (2010). *Performance Management Analytics - The Next Extension in Managerial Accounting*.
- Silvi, R., Raffoni, A., Visani, F., Bartolini M. (2017). Business Performance Analytics: Exploring the Potential for Performance Management Systems. *Production Planning and Control*, 29 (3), 1-17.

- Sohrabi, M. (2017). The Relationship between Non-Financial Innovative Management Accounting Tools and Risk and Return of Iranian Stock Market Listed Companies. *Dutch Journal of Finance and Management*, 1, 1-7.
- Soroosh, N., & Yu, E. (2020). Designing Business Analytics Solutions. *Business Information Systems Engineering*, 61–75.
- Taleizadeh, A. A., Kalantari, S. S., & Cárdenas-Barrón, L. E. (2015). Determining optimal price, replenishment lot size and number of shipments for an EPQ model with rework and multiple shipments. *Journal of Industrial & Management Optimization*, 11 (4).
- Ting, P.K., Zhang, C., Wang, B., Deshmukh, A., & DuBrosky, B. (1999). Product and process cost estimation with fuzzy multi-attribute utility theory. *Engineering Economist*, 44(4).
- Vasseur, J.P., & Dunkels, A. (2010). *Interconnecting smart objects with IP. The next Internet*. Morgan Kaufmann Publishers/Elsevier.
- Wierda, F.W. (1991). *Developing Interorganizational Information Systems*. Eburon.
- Windt, K. (2006). Selbststeuerung intelligenter Objekte in der Logistik In: Vec M., Hütt M., Freund A. (Eds.): Selbstorganisation. Ein Denksystem für Natur und Gesellschaft. Köln, Weimar, Wien: Böhlau.
- Wong, C.Y., McFarlane, D., Ahmad Zaharudin, A., & Agarwal, V. (2002). *The intelligent product driven supply chain*. IEEE.
- Zarowin, S. (1997). Finance’s Future: Challenge or Threat? *Journal of Accountancy*, 4.