



Università degli Studi di Napoli  
"L'Orientale"



Unione europea  
Fondo sociale europeo



# Università degli Studi di Napoli "L'Orientale"

## Rapporto Tecnico

Metodi, Competenze e Soluzioni per la trasformazione e l'ottimizzazione dei  
processi produttivi e logistici I4.0

Redatto da

**Massimo Guarino**

Accordo tra Regione Campania e Comitato Universitario Regionale  
(Delibera di G.R. n. 513 del 27.09.16 e Decreto Dirigenziale n. 54 del 24.03.2017)

Seconda Linea Progettuale  
"Linee Guida e Proposte per I4.0 – Campania"

Progetto finanziato attraverso  
il POR FSE 2014-2020 Asse IV Obiettivo Tematico 11 –  
in attuazione alla DGR n. 743/2016

Titolo della Borsa di Studio  
"Strumenti quantitativi per I4.0"

Responsabile scientifico  
Prof. Michele Gallo

## Sommario

1	Finalità del documento .....	4
2	Introduzione ed obiettivi del progetto .....	5
3	Le attività di progetto de “l’Orientale” .....	6
4	Modelli e strumenti del processo di <i>assessment</i> e <i>improvement</i> nell’industria 4.0 .....	6
4.1	Introduzione.....	6
4.2	Obiettivi e fasi del processo di <i>assessment</i> 4.0.....	7
4.3	Caratteristiche e classificazione dei modelli di <i>assessment</i> 4.0 .....	8
4.4	Aree funzionali, dimensioni di analisi ed indicatori di misurazione per l’ <i>assessment</i> I4.0 .....	12
4.5	Livelli di maturità e posizionamento I4.0 .....	17
4.6	Il processo di <i>improvement</i> 4.0. ....	18
4.7	Settori di applicazione.....	21
4.8	Soggetti erogatori e modalità di erogazione .....	22
4.9	Sintesi dei modelli di <i>assessment</i> e <i>improvement</i> .....	23
5	Risorse umane e competenze .....	25
5.1	Metodi e strumenti per il miglioramento continuo delle competenze.....	25
6	Tipologie di intervento .....	27
6.1	Mappatura degli interventi per i processi di <i>assessment</i> e <i>Improvement</i> .....	29
6.1.1	Interventi di formazione .....	29
6.1.2	Trasferimento tecnologico.....	29
6.1.3	Programmi e progetti finalizzati.....	30
6.1.4	Interventi di supporto di diffusione e promozione .....	30
6.2	Mappatura degli interventi per le risorse umane .....	30
6.2.1	Interventi di formazione .....	30
6.2.2	Programmi e progetti finalizzati.....	31
6.2.3	Interventi di supporto di diffusione e promozione .....	31
7	Un modello statistico per il miglioramento delle prestazioni nell’ambito del controllo e <i>scheduling</i> delle operazioni di un processo di produzione nel settore manifatturiero .....	31
7.1	Introduzione.....	31

7.2	Il modello statistico .....	33
7.3	Il modello lineare di probabilità (Linear Probability Model - LPM) .....	34
7.4	Il modello logistico di probabilità .....	36
7.4.1	Il modello <i>Logit binomiale</i> .....	37
7.4.2	Variabili dipendenti politomiche ordinali: il modello <i>logistico ordinale</i> .....	39
8	Conclusione .....	40
9	Bibliografia.....	41
10	APPENDICE .....	42

## Indice delle Tabelle:

Tabella 1	Principali modelli di <i>assessment</i> I4.0.....	8
Tabella 2.	Principi per lo sviluppo continuo del modello Acatech. ....	18
Tabella 3:	Action Items identificati per i <i>New Comers</i> .....	19
Tabella 4:	Action Items identificati per i <i>Learners</i> .....	20
Tabella 5:	Action items identificati per i <i>Leaders</i> .....	20
Tabella 6	Sintesi dei Modelli .....	23
Tabella 7	Mappatura Interventi previsti VS Obiettivi Legge Regionale n. 22/2016 “Manifattura@Campania: Industria 4.0” .....	27
Tabella 8	Tipologie di Intervento Previste .....	28
Tabella 9:	il termine d’errore.....	35

## Indice delle Figure

Figura 1:	I modelli statistici per variabili dipendenti politomiche.....	34
Figura 2:	Grafico LPM – <i>unconstrained</i> .....	36
Figura 3:	La funzione logistica cumulata .....	37

# 1 Finalità del documento

Il presente documento, in accordo con quanto delineato dal decreto direttoriale per la costituzione di centri di competenza ad alta specializzazione che accompagnano l'attuazione di iniziative nazionali per lo sviluppo di I4.0 e che sottolineano la necessità di fornire servizi di orientamento alle imprese per valutare il loro livello di maturità digitale e tecnologico, ma con ovvia specializzazione ed integrazione dettate dal fabbisogno della realtà produttiva della Regione Campania, intende fornire un framework di riferimento per la definizione e delimitazione di:

**Metodi, strumenti e soluzioni per la valutazione e il miglioramento continuo dei processi produttivi e logistici I4.0** che forniti ed utilizzati nelle strutture produttive campane possono supportare:

- la valutazione del livello di maturità I4.0 dei processi produttivi;
- la valutazione del livello di maturità I4.0 dei processi logistici;
- la valutazione del livello di maturità I4.0 dei prodotti;
- la definizione di strategie per l'evoluzione I4.0 di processi, prodotti e servizi;
- la definizione di strategie di miglioramento continuo per l'ottimizzazione dei processi I4.0;
- la qualificazione e la riqualificazione delle risorse umane.

Il documento vuole essere uno strumento comune e di riferimento che può essere utilizzato e referenziato:

- dalle competenti strutture regionali nella selezione e definizione degli obiettivi e delle caratteristiche tecniche di interventi, azioni e misure attuative della legge regionale con riferimento alle metodologie ed agli strumenti per l'*assessment* del livello di maturità I4.0 e delle competenze I4.0 delle risorse umane usati da aziende ed imprese campane o operanti in Campania.
- dagli uffici e dal personale regionale per la definizione, con riferimento ai modelli di valutazione e miglioramento continuo I4.0, di caratteristiche, livelli di maturità I4.0, gap digitali tecnologici e di competenze da colmare per la messa a punto di bandi e contratti attuativi di interventi azioni e misure;
- da attori e referenti di strutture produttive campane che potranno utilizzarli per orientare e supportare interventi e progetti di acquisizione di apparecchiature, macchinari, strumenti e sistemi software per I4.0, nonché progetti formativi di qualificazione e la riqualificazione digitale del personale all'interno delle imprese, candidabili al supporto di iniziative ed azioni regionali;
- nell'interscambio e nella comunicazione tra attori delle strutture regionali (uffici, impiegati e tecnici, altri operatori) e gli attori del sistema produttivo (responsabili e tecnici di innovazione I4.0, progettisti e consulenti, altri operatori).

## 2 Introduzione ed obiettivi del progetto

Le imprese stanno affrontando sfide importanti per quanto riguarda l'Industria 4.0. Una tra tutte è l'incertezza rispetto alle capacità organizzative e tecnologiche delle stesse, derivante dalla complessità crescente riscontrabile ad ogni livello aziendale ed area di business, che genera a sua volta un'ulteriore incertezza circa le strategie da adottare per sviluppare le *core competency*. Il sistema I4.0, infatti, rappresenta un cambiamento significativo non solo sul piano tecnologico ma anche nelle modalità di lavoro. Essere impresa 4.0 significa non solo acquisire nuove tecnologie ma attivare un processo di cambiamento che interessa la gestione dell'azienda; significa perseguire congiuntamente obiettivi di flessibilità, velocità, produttività, qualità, maggiore competitività dei prodotti e saper combinare diverse tecnologie in modo da integrare il sistema fabbrica e le filiere produttive interessate in un sistema connesso (IRPET, 2017). Per la gestione dei processi secondo il paradigma I4.0 le singole imprese devono individuare la propria *roadmap* che partendo dalla mappatura attuale dei processi aziendali ne determini una strutturazione – non solo produttiva – evoluta e più competitiva, nel contesto nazionale ed internazionale. Inoltre, le tecnologie e gli approcci propri di I4.0 impattano sugli skill professionali, che richiedono continui e frequenti aggiornamenti, facendo ricorso a modelli di formazione interdisciplinari.

Le aziende hanno, quindi, bisogno di una metodologia concreta che consenta loro di definire la propria strategia digitale e tecnologica I4.0 e di individuare le azioni e le tecnologie necessarie alla completa trasformazione 4.0, oltre ad individuare i propri punti di forza e di debolezza su cui far leva per migliorare la propria situazione attuale. In tal senso, è necessaria una valutazione della maturità delle imprese in tema di I4.0, ovvero una individuazione della fase del proprio processo di trasformazione in impresa agile e capace di apprendere (Carcary *et al.* 2016).

È importante a tale scopo fornire innanzitutto degli strumenti utili ad effettuare un *assessment* per la valutazione del livello di maturità 4.0. Tali strumenti devono essere in grado di fornire una valutazione oggettiva del posizionamento delle singole imprese in ottica I4.0. Allo stesso tempo è necessario fornire supporto alle aziende nella valutazione delle opportunità di investimento e sviluppo digitale e tecnologico, individuandone le priorità e la fattibilità, attraverso la definizione di opportune *roadmap* strategiche. La presente linea guida si pone l'obiettivo di fornire una ricognizione completa di metodi, modelli, tecniche e tecnologie per l'*assessment* e l'*improvement* dei processi produttivi, di servizio e logistici in ottica I4.0, per la valutazione dell'impatto delle risorse umane sui processi produttivi e per la definizione di opportuni piani formativi per il superamento dei gap di competenze per I4.0.

In particolare, il documento riporta uno stato dell'arte sui principali modelli di maturità I4.0 esistenti sia a livello nazionale sia internazionale. Questa disamina permette di analizzare le dimensioni e gli *items* utilizzati per la valutazione del livello di maturità 4.0 e di individuare possibili gap che consentono il superamento e l'adattamento di tali modelli a forme specifiche d'impresa (es. adattamento a settori specifici o differenziazione dei modelli per tipologia di impresa - micro, piccola, media, grande). Il processo di analisi e valutazione della maturità digitale è finalizzata alla comprensione degli strumenti più adatti all'implementazione dell'industria 4.0.

La prima fase si definisce di *assessment* che consente prima di tutto l'individuazione del profilo d'impresa, le aree funzionali, la struttura organizzativa, i valori culturali ed il livello di maturità digitale eventualmente raggiunto attraverso la formulazione e la somministrazione di questionari strutturati e visite aziendali di monitoraggio ex-ante, in itinere ed ex-post. La fase di *assessment* produce un quadro sinottico sul livello di avanzamento digitale esistente in un'impresa e consente l'implementazione della fase successiva, definita di *improvement*, ovvero di scelta degli strumenti più adatti a migliorare i processi produttivi e logistici in ottica I4.0, il ruolo delle risorse umane e le competenze necessarie nella nuova configurazione dell'impresa.

Lo studio intende fornire una panoramica dei metodi a supporto delle aziende interessate a sviluppare una conoscenza pratica del tema I4.0, pertanto gli obiettivi principali sono:

- Una classificazione il più possibile esaustiva degli strumenti per la valutazione dei processi in ottica I4.0;
- I possibili livelli di maturità digitale dei processi di produzione e/o servizi;
- L'individuazione dei gap e dei bisogni 4.0 delle singole imprese;
- Gli enti e i soggetti erogatori dei metodi di supporto al processo di *assessment*;
- I metodi per il miglioramento continuo delle competenze.

La realizzazione degli obiettivi individuati richiede l'articolazione di interventi mirati allo sviluppo del territorio regionale attraverso Interventi di Formazione (IF); Interventi di Trasferimento Tecnologico (ITT); Programmi e Progetti Finalizzati (PPF); Interventi di Supporto di Diffusione e Promozione (ISDP) opportunamente sviluppati in accordo con gli obiettivi definiti dalla legge regionale Manifattura@Campania:Industria 4.0 (Bollettino regionale,

2016) all'art.17 nonché alle iniziative e le azioni definite agli articoli 18, 20, 21, 23, 25. Tali misure sono riportate in maggior dettaglio nella sezione 5 "Tipologie di interventi".

### 3 Le attività di progetto de "l'Orientale"

Il coinvolgimento dell'Università "L'Orientale" di Napoli si è articolato in due fasi. Durante la fase iniziale del progetto, l'Università "L'Orientale" ha contribuito alla redazione del *Deliverable 1.4*, analizzando il ruolo attivo delle moderne tecnologie I4.0 nel processo di trasformazione dei processi produttivi ed evidenziando, per la regione Campania, la necessità di dotarsi di un valido strumento di valutazione del grado di maturità digitale delle imprese.

A tal fine si è reputato opportuno soffermarsi sui Modelli di Maturità Digitale esistenti in letteratura, analizzando per ciascuno di essi le caratteristiche portanti e il diverso approccio alla valutazione (es. *self-assessment* o consulenziale). In questo modo si è inteso dotare la regione di una linea guida completa, utile ai fini della scelta di uno strumento operativo fondamentale per la calibrazione delle politiche locali a sostegno dello sviluppo 4.0 delle imprese campane.

La seconda fase del coinvolgimento dell'Università "L'Orientale" ha riguardato l'elaborazione di un modello statistico volto al miglioramento delle prestazioni di un sistema di produzione manifatturiero. Nello specifico si è inteso soffermarsi sui problemi delle imprese manifatturiere inerenti alla fase di *scheduling* delle varie fasi di produzione, offrendo una metodologia idonea ad individuare le fasi maggiormente dispendiose in termini temporali e provvedendo, di conseguenza, alla creazione di un opportuno supporto analitico alla scelta strategica di un'impresa che miri al progressivo efficientamento della sua organizzazione.

Il modello elaborato è inoltre particolarmente indicato in contesti altamente tecnologici in cui è possibile sfruttare i vantaggi derivanti dalla disponibilità di grandi quantità di dati (*Big Data*). Infatti il modello statistico proposto provvede alla stima dell'impatto delle eventuali fasi inefficienti di un processo industriale sui tempi di consegna dei singoli lotti di produzione ai clienti e dunque sui costi d'impresa, potenziali ed effettivi (perdita di fiducia del cliente, penali elevate, etc...).

La trattazione formale del problema affrontato, in termini di programmazione lineare, e la definizione matematica del modello statistico presentato sono oggetto del capitolo settimo di questa relazione tecnica.

## 4 Modelli e strumenti del processo di *assessment* e *improvement* nell'industria 4.0

### 4.1 Introduzione

Le imprese hanno bisogno di individuare i propri punti di forza e di debolezza per capire su cosa far leva per migliorare la propria situazione attuale. L'*assessment* è una metodologia di indagine utile ad analizzare, attraverso l'analisi dei processi interni, lo stato di maturità 4.0 e la sua capacità di implementare tecnologie abilitanti ed innovazioni organizzative per modificare e rendere efficiente il proprio modello di business. Sia tale valutazione, sia il successivo adeguamento richiedono un supporto di skill ed expertise che le imprese, in particolar modo le PMI, usualmente non posseggono (Bharadwaj, 2013). In tale contesto centri di ricerca, università, player nel campo della consulenza, addentrate nella digitalizzazione e nell'innovazione dei processi produttivi, hanno sviluppato metodologie di analisi in grado di valutare il grado di evoluzione 4.0 delle imprese. I modelli sviluppati negli ultimi anni consentono alle aziende, ed in particolare modo alle PMI, di valutare il proprio livello di maturità I4.0 e pianificare al meglio l'applicazione del piano Industria 4.0. Le piattaforme sviluppate e già disponibili permettono alle aziende di analizzare le carenze e le esigenze per raggiungere un maggior grado di innovazione digitale e tecnologica. I modelli di *assessment* in linea con il Piano Nazionale Industria 4.0 e con la Legge Regionale Manifattura@Campania: Industria 4.0 (Bollettino Regione Campania, 2016) rappresentano gli strumenti atti a valutare rapidamente ed efficacemente il livello di maturità 4.0 delle singole imprese. Una panoramica il più possibile esaustiva dei metodi sviluppati ed utilizzati per la valutazione della maturità 4.0 delle aziende è riportata nella presente linea guida. Tali metodi e/o strumenti facilitano il processo decisionale delle imprese e dell'amministrazione regionale nella valutazione dello stato I4.0, delle politiche di sviluppo mirate per l'analisi rapida dei cluster e del mercato del lavoro.

Nelle sezioni successive sono riportati:

- gli obiettivi e le fasi del processo di *assessment* 4.0 che caratterizzano i principali modelli disponibili per tale valutazione;
- le principali caratteristiche dei metodi e una ricognizione esaustiva dello stato dell'arte corrente;
- la descrizione delle aree funzionali, dimensioni di analisi ed indicatori di misurazione per l'*assessment* I4.0;
- i livelli di maturità I4.0;
- gli obiettivi e le fasi del processo di *improvement* I4.0;
- i settori di applicazione delle metodologie;
- una sintesi dei soggetti erogatori e delle modalità di erogazione possibili;
- una sintesi conclusiva dei metodi presentati.

## 4.2 Obiettivi e fasi del processo di *assessment* 4.0

Il processo di *assessment* permette alle imprese di analizzare, comprendere e valutare, il livello di maturità digitale in funzione del traguardo Industria 4.0 attraverso l'intervento di esperti esterni ed una autovalutazione mediante questionari strutturati (Bharadwaj, 2000). I dati e le informazioni raccolti da questo processo permettono di individuare il livello di conoscenza digitale, propedeutica per valutare la strategia e gli strumenti più adatti all'implementazione dei processi di industria 4.0. Quest'analisi consente, inoltre, di analizzare il posizionamento dell'azienda rispetto ai principali indicatori di maturità 4.0 e confrontarla con il campione delle altre imprese del territorio sottoposte alla stessa tipologia di valutazione.

Questa metodologia è implementata nei cosiddetti modelli di maturità digitale (*Digital Maturity Model*) capaci proprio di fornire linee guida per un percorso chiaro verso la trasformazione in impresa digitale. Essi traggono la loro origine dai preesistenti modelli per la verifica del più generale grado di maturità dei processi industriali (Capability Maturity Model – CMM – e Capability Maturity Model Integration - CMMI) (Crosby, 1996; Juran, 1988; Deming, 1986; Humphrey, 1989; Kulpa and Johnson, 2003).

Nello specifico, tali modelli permettono agli imprenditori di:

1. Valutare a che punto sono nel loro percorso di trasformazione in ottica I4.0.
2. Creare obiettivi e piani d'azione nel breve, medio e lungo periodo.
3. Realizzare investimenti per progetti di trasformazione di grande impatto.

I modelli esistenti, più o meno complessi, si concentrano proprio sull'analisi delle capacità attuali e dei processi aziendali esistenti attraverso tre fasi principali (Kane *et. al.*, 2017).

**La prima fase è di analisi della posizione attuale dell'impresa:** in questo primo *step*, ci si concentra sulla valutazione dell'ambiente interno ed esterno all'impresa dal quale si giunge alla valutazione dei principali punti di forza e di debolezza. In particolare, questa fase si articola nei seguenti passaggi:

- a. Valutazione del livello di maturità e delle competenze aziendali relative al paradigma 4.0.
- b. Valutazione ed analisi delle tecnologie.
- c. Valutazione dei *benchmark* di settore (*best practice, competitors level, best technology*).
- d. Individuazione dei target da raggiungere e i relativi gap da colmare.

**La seconda fase è relativa alla valutazione delle competenze possedute da ciascuna area funzionale,** in relazione alle caratteristiche identificate nella prima fase.

**Successivamente, si procede con l'analisi dei risultati** per individuare il livello di maturità I4.0 esistente e riuscire ad intervenire sugli aspetti che possano accelerare la trasformazione o migliorarla in termini di performance. In particolare:

- a. Indentificare delle possibili soluzioni digitali, tecnologiche e organizzative 4.0 attuabili, valutando costi e benefici attesi nelle aree d'applicazione identificate, quindi, scegliere i nuovi modelli operativi e le migliori tecnologie al loro supporto.
- b. Individuare una *roadmap* strategica che includa specifici *Key Performance Indicators* (KPI) finalizzati a fornire una misura dei livelli di *improvement* ottenuti.

Quasi tutti i modelli disponibili sono descritti lungo una scala di maturità lineare, cioè assumono che tutte le imprese passino attraverso lo stesso percorso di trasformazione digitale, in virtù dello stesso traguardo finale, cioè una completa trasformazione al termine della quale le aziende diventeranno digitali, con prodotti fisici alla base,

caratterizzate da interfacce digitali e da servizi innovativi. In una visione 4.0 queste imprese digitali collaboreranno anche con clienti e fornitori in ecosistemi digitali industriali (Chianas e Hess, 2016).

Il processo di *assessment* deve essere condotto in maniera integrata su: processi, modello di business, struttura organizzativa ed infine livello di cultura e *competence core*.

Come riportato nella sezione successiva 3.3 il processo di *assessment* può essere implementato attraverso differenti modelli applicativi, per essere aderenti alla tipologia di impresa, alla sua dimensione e all'attività svolta.

### 4.3 Caratteristiche e classificazione dei modelli di *assessment* 4.0

Diversi modelli e strumenti per l'*assessment* e l'*improvement*, che sviluppano indici di maturità e *readiness* in riferimento ad Industria 4.0, sono stati sviluppati a livello nazionale ed internazionale.

I modelli comunemente utilizzati per la valutazione o l'autovalutazione sono modelli di maturità (*Maturity Model MM*; *Capability Maturity Model CMM*; *Digital Maturity Model DMM*) o i modelli di prontezza (*Readiness Assessment Model*) ampiamente proposti nella letteratura scientifica e in parte sviluppati e applicati alle realtà operative attraverso toolbox o strumenti online.

Con il termine "**maturità**" ci si riferisce a uno "stato di essere completo, perfetto o pronto" e implica alcuni progressi nello sviluppo di un sistema. La maturità può essere raggiunta qualitativamente o quantitativamente in modo discreto o continuo. I modelli di maturità sono comunemente usati come uno strumento per concettualizzare e misurare la maturità di un'organizzazione o di un processo rispetto ad uno specifico stato obiettivo, catturando lo stato *as-it-is* dei processi organizzativi. I **modelli di prontezza**, sebbene siano sovente considerati sinonimi, hanno l'obiettivo di catturare il punto di partenza e consentire l'inizializzazione del processo di sviluppo.

I diversi tipi di modelli di maturità condividono alcune proprietà comuni:

- i livelli di maturità (tipicamente da tre a sei);
- un descrittore per ogni livello, che dà un nome significativo a ciascun livello;
- una descrizione generica delle caratteristiche di ciascun livello;
- un numero di dimensioni o aree di processo;
- un numero di elementi o attività per ciascuna area di processo;
- una descrizione di ciascuna attività, che deve essere eseguita ad ogni livello di maturità 4.0.

I Modelli di Maturità possono essere raggruppati generalmente in 3 classi funzionali:

1. Descrittiva.
2. Prescrittiva.
3. Comparativa.

La prima funzione è espressione di un modello relativo all'individuazione dello stato attuale di un'impresa in merito al grado di maturità I4.0 raggiunto (*assessment*). Tali modelli riflettono l'importanza di fornire alle imprese un quadro esaustivo del livello corrente della digitalizzazione dei loro processi e dell'evoluzione verso Industria 4.0. La funzione prescrittiva e comparativa verrà approfondita nella sezione relativa al processo di *improvement* (Pöppelbus e Röglinger, 2011)

Nell'ambito di tali metodologie si annoverano questionari sviluppati, oltre che da società di consulenza ed associazioni di imprese, anche da Università, Istituti di ricerca, organizzazioni governative in accordo con Enti ed Associazioni.

La tabella 1 riporta i principali modelli di *assessment* I4.0, esistenti a livello nazionale ed internazionali, con le relative caratteristiche.

Tabella 1 Principali modelli di *assessment* I4.0

Metodo/ modello/ indice/ strumento	Descrizione	Tipologia	Soggetto erogatore	Riferimento
---	-------------	-----------	--------------------	-------------



<b>ACATECH Industrie 4.0 Maturity Index - Managing the Digital Transformation of Companies (2017)</b>	Il modello, che si compone di 3 fasi successive, comprende la misurazione della maturità digitale delle aziende ed anche la definizione di una roadmap con suggerimenti per incrementare il loro livello di maturità 4.0.	Assessment Industria 4.0 (Maturity model)	Accademia Nazionale Tedesca di Scienze ed Ingegneria (acatech)	Schuh <i>et al.</i> 2017
<b>Bussola Digitale (2017)</b>	Partendo da un set di domande specifiche sugli aspetti tecnologici, gestionali e organizzativi dell'Industria 4.0, la Bussola Digitale individua lo status dell'impresa rispetto alle potenzialità emergenti, evidenzia i passi già fatti e gli obiettivi da raggiungere e suggerisce le azioni e i progetti che possono avviare o rafforzare il processo di trasformazione digitale.	Assessment Industria 4.0	DiEX – Digital Innovation Hun e Polo tecnologico di Pordenone	<a href="http://www.bussoladigitale.it/#home">http://www.bussoladigitale.it/#home</a>
<b>Digital Readiness Assessment (DRA) (2018)</b>	Digital Readiness Assessment (DRA), comprende un'intervista strutturata ai vertici aziendali sia di PMI che di grandi aziende, unita ad un lavoro di back office in cui si valuta la situazione iniziale dell'azienda e si caratterizzano criticità ed opportunità, concludendo con la stesura di un report che viene infine presentato all'azienda, in modo da puntare al miglioramento dei prodotti e dei processi e dar spazio alla generazione di nuovi modelli di business.	Assessment Industria 4.0 (Digital Maturity model)	DIHP – Digital Innovation Hub Piemonte	<a href="https://dih.piemonte.it/digitalreadinessassessment/">https://dih.piemonte.it/digitalreadinessassessment/</a>
<b>Digital REadiness Assessment MaturitY model 4.0 - DREAMY 4.0 (2017)</b>	Strumento che valuta il livello di digitalizzazione dell'impresa. Consente di misurare la maturità digitale di tutte le aree dell'impresa: progettazione, prodotto, gestione della qualità, manutenzione, produzione, logistica interna ed esterna, skill e competenze.	Assessment Industria 4.0 (Digital Maturity e Readiness model)	Confindustria-Assoconsult in collaborazione con Il Politecnico di Milano	De Carolis <i>et al.</i> 2017

<b>Industrie 4.0 Assessment (2016)</b>	Strumento che consente di individuare il posizionamento dell'azienda per quanto riguarda le possibilità applicative degli elementi di Industria 4.0.	Assessment 4.0	KPMG ATLAS	<a href="https://atlas.kpmg.de/businessassessments/industrie-4-0-readinessassessment">https://atlas.kpmg.de/businessassessments/industrie-4-0-readinessassessment</a> . Html
<b>Industry 4 readiness assessment tool-WMG (2017)</b>	Strumento semplice ed intuitivo che consente alle aziende di valutare la loro prontezza e la loro futura ambizione a sfruttare il potenziale dell'era cyber-fisica.	Assessment Industria 4.0 (Digital Maturity e Readiness model)	Università di Warwick (WMG)	<a href="https://warwick.ac.uk/fac/sci/wmg/research/scip/industry4report/">https://warwick.ac.uk/fac/sci/wmg/research/scip/industry4report/</a>
<b>Industry 4.0 / Digital operation self assessment</b>	Questionario di self assessment reso disponibile online, che, attraverso 6 dimensioni di indagine e 4 livelli di maturità, consente di mappare il livello attuale per i processi identificati e, valutati i benchmark di settore (best practice, competitors level, best technology) si condividono i target da raggiungere in linea con la strategia aziendale. Valutati i gap da colmare, si identificano le possibili soluzioni digitali e organizzative attuabili.	Assessment e Improvement 4.0	PricewaterhouseCoopers International Limited (PwCII)	<a href="https://i4-0-self-assessment.pwc.nl/i40/landing/">https://i4-0-self-assessment.pwc.nl/i40/landing/</a>
<b>Modelli Schumacher – Sihn – Erol (2016)</b>	“A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises” è il primo dei due ed ha un duplice scopo. Uno scopo scientifico, cioè quello di ottenere dati solidi sullo stato attuale delle imprese e le loro strategie I4.0 per estrarre potenziali fattori di successo, ed uno scopo pratico, al fine di consentire alle aziende di valutare in maniera rigorosa la propria prontezza all'I4.0 e di riflettere circa l'adeguatezza delle strategie attuali.	Assessment 4.0 (Maturity model)	Pubblicazione Scientifica	Schumacher <i>et. al.</i> , 2016
	Il secondo modello che gli autori propongono, dal titolo “Strategic guidance towards Industry 4.0 – a three-stage process model” è stato sviluppato con l'intento specifico di fornire alle imprese una guida per la pianificazione di una strategia in grado di affrontare l'innovazione radicale, qual è l'Industria 4.0.	Assessment and Improvement 4.0		Erol <i>et al.</i> 2016

<b>Readiness Model – IMPULS (2015)</b>	Modello che consente di rilevare il potenziale individuale di un'impresa per la trasformazione in industria 4.0.	Readiness Model I4.0	Fondazione VDMA (Associazione tedesca di ingegneria)	Lichtblau et al. 2015.
<b>RISE e InnexHUB - Innovation Experience HUB (2018)</b>	Strumento di autovalutazione che permette, attraverso la compilazione di un questionario, di avere una prima indicazione sullo stato di “preparazione” delle imprese in merito ai modelli e ai fattori che abilitano alla Rivoluzione 4.0. Esso restituisce un report che evidenzia il livello di maturità digitale dell'impresa sia in relazione alla totalità del campione delle imprese partecipanti che in relazione alle imprese con caratteristiche simili.	Assessment Industria 4.0	Laboratorio RISE e dall'Innovation Experience HUB,	<a href="https://www.industry4business.it/servitization/come-misurare-subitola-maturitadigitale-4-0-dellatua-impresa/">https://www.industry4business.it/servitization/come-misurare-subitola-maturitadigitale-4-0-dellatua-impresa/</a>
<b>Singapore Smart Industry Readiness Index</b>	Modello che definisce un readiness index, il quale si compone di tre livelli. Il livello più alto è costituito da tre elementi fondamentali di industria 4.0: tecnologia, processo e organizzazione. Alla base di questi (terzo livello) ci sono 16 dimensioni di valutazione.	Readiness model I4.0	Un'azienda globale di test, ispezione, certificazione e formazione, la TÜV SÜD e convalidato da un gruppo consultivo di esperti del settore e accademici.	The Singapore Smart Industry Readiness Index: Catalysing the transformation of manufacturing <a href="http://www.edb.gov">www.edb.gov</a>
<b>System Integration Maturity Model Industry 4.0 - SIMMI 4.0 (2016)</b>	Il modello analizza l'architettura digitale delle PMI al fine di valutare la propensione all'introduzione di sistemi 4.0. Si compone di quattro dimensioni: 1. Vertical level, ovvero i livelli operativi dell'impresa che necessitano di un avanzamento digitale; 2. Horizontal level, ovvero il grado di integrazione tra i diversi dipartimenti dell'impresa; 3. Digital Product Development Dimension, ossia per la continuità digitale, è importante che ogni fase del processo produttivo sia rappresentata digitalmente; 4. Cross-sectional Technology Criteria Dimension, ovvero la valutazione delle tecnologie che vengono utilizzate nei diversi settori	Assessment industria 4.0 (Maturity model)	Pubblicazione scientifica	Leyh <i>et. al</i> 2016

	<p>dell'Industria 4.0. Tali dimensioni di analisi costituiscono la base del calcolo del livello di maturità. I possibili livelli di maturità digitale sono i seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Livello 1: livello basico di digitalizzazione;</li> <li>- Livello 2: digitalizzazione cross dipartimentale;</li> <li>- Livello 3: digitalizzazione orizzontale e verticale;</li> <li>- Livello 4: completa digitalizzazione;</li> <li>- Livello 5: digitalizzazione completa ottimizzata.</li> </ul>			
<b>SEIFI 4.0 (2018)</b>	<p>Attraverso un questionario compilabile online, consente a ciascuna impresa di ottenere una fotografia del grado di maturità 4.0 insieme ad utili indicazioni per poterlo elevare. In seguito ad esso, l'azienda può richiedere un assessment più approfondito, guidato da un digital promoter.</p>	Maturity Assessment ed Improvement Industria 4.0	Punti Impresa Digitali (PID) delle Camere di Commercio	<a href="https://www.puntoimpresadigitale.comcom.it/">https://www.puntoimpresadigitale.comcom.it/</a>
<b>Università di Pisa &amp; Regione Toscana (2017)</b>	<p>Il modello prevede tre strumenti tra loro complementari:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pre-valutazione: breve questionario online per un primo breve bilancio della maturità digitale.</li> <li>2. Assessment: questionario compilato in azienda, mediante il supporto di un consulente o personale interno, che riprende le dimensioni di analisi del modello Acatech e restituisce una classificazione in livelli di maturità secondo la nomenclatura di Impuls.</li> <li>3. Audit: questionario più strategico, tattico, che indaga la volontà di intraprendere un percorso di crescita 4.0.</li> </ol>	Assessment Industria 4.0	Dipartimento di ingegneria civile e industriale dell'Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria Informatica e Matematica dell'Università di Siena, IRPET (Istituto Regionale per la Programmazione Economica della Toscana),	Zingone e Pucci, 2017

#### **4.4 Aree funzionali, dimensioni di analisi ed indicatori di misurazione per l'assessment I4.0**

Elemento comune a quasi tutte le metodologie è la suddivisione della valutazione per aree funzionali dell'azienda. Per ciascuna delle aree individuate, le metodologie forniscono un criterio di attribuzione di un punteggio funzione delle tecnologie digitali reperite durante l'analisi. I punteggi possono essere aggregati o considerati singolarmente. Alcuni metodi si pongono ad un livello gestionale più elevato, considerando dimensioni di analisi, tra cui ad es. Cultura, Strategia, Tecnologie.

Inoltre, i modelli presentano un diverso livello di dettaglio relativamente ai processi aziendali che possono essere analizzati. Questo rende importante la scelta dello strumento ed anche la successiva analisi. Il paradigma e le tecnologie 4.0 non possono essere limitate alla sola produzione ma devono coinvolgere l'intero sistema produttivo e/o di erogazione servizi, nonché la filiera logistico distributiva. Non per tutti i modelli sono accessibili indicazioni relative alle aree funzionali sulle quali è condotta l'analisi.

Vengono di seguito fornite le descrizioni di sintesi dei modelli di valutazione oggi disponibili.

Il modello **Acatech** suddivide l'azienda nelle seguenti 4 dimensioni di analisi:

- Risorse;
- Sistemi Informativi;
- Organizzazione;
- Cultura.

L'*assessment* per la misurazione del livello di maturità analizza poi le seguenti 5 aree funzionali:

1. Sviluppo;
2. Produzione;
3. Logistica;
4. Servizi;
5. Marketing & Vendite.

In tale approccio le informazioni vengono raccolte in un questionario che permette di analizzare ognuna di queste 5 aree funzionali secondo le 4 dimensioni indicate in precedenza. Ogni funzione viene scomposta su 4 assi, ognuno valutato singolarmente ed il punteggio finale su ogni funzione aziendale è dato dall'aggregazione delle valutazioni su ogni asse. Il modello proposto dall'**Università di Pisa e dalla Regione Toscana** segue e riprende la metodologia proposta da Acatech. L'*assessment* viene quindi condotto in riferimento a due livelli fondamentali: 1. Livello Organizzativo (corrispondente ai due quadranti "Struttura organizzativa" e "Cultura" di Acatech) e 2. Livello Operativo (corrispondente ai due quadranti "Risorse" e "Sistemi informativi" di Acatech). La **Bussola Digitale** è un tool che con una serie di 18 domande permette di analizzare l'azienda e valutarne punti di forza e debolezza. Tale modello analizza l'azienda secondo 4 quadranti su cui si dividono le domande:

#### **1. Quadrante nord: Mercato/clienti**

- Prosumer;
- Big Data Customer.

#### **2. Quadrante ovest: Piattaforme tecnologiche**

- Big data analytics.

#### **3. Quadrante Sud: Processi produttivi**

- Production One-to-One;
- Simulazione/Digital Twin/Product & Process;
- Product ONE TO ONE;
- Cybersecurity;
- Tecnologie abilitanti;
- IoT;
- Additive Manufacturing 3D;
- VR & wearable devices.

#### **4. Quadrante Est: Supply chain**

- Digital Muda;
- Robot e cobot;
- E-commerce & e-procurement;
- Risorse umane;
- Sensori smart;
- Co-progettazione virtuale;

- Artificial Intelligence.

Tale approccio non prevede la suddivisione in aree funzionali. Esso prevede invece domande specifiche su tecnologie ritenute abilitanti per I.4.0 e informazioni sui tipi di processi, sulle risorse umane, sul tipo di clienti etc.

Il **DRA** identifica il livello di digitalizzazione dell'impresa misurandone la maturità digitale in tutti gli ambiti in cui essa opera. Tale strumento valuta in modo oggettivo le seguenti dimensioni:

- la maturità dei processi aziendali e del sistema informativo a supporto di essi;
- la cultura aziendale e le competenze interne;
- il modello di business utilizzato.

Le aree aziendali scelte, invece, per la valutazione di maturità sono:

1. Progettazione;
2. Produzione;
3. Logistica;
4. Qualità;
5. Manutenzione;
6. Marketing;
7. Risorse Umane;
8. IT.

Il modello **DREAMY** si sviluppa su 8 aree, che coprono le seguenti attività:

1. Progettazione ed ingegneria;
2. Manutenzione;
3. Risorse umane;
4. Produzione;
5. Supply-chain;
6. Qualità;
7. Logistica;
8. Marketing, customer care e vendite.

Ciascuna area viene valutata rispetto a quattro dimensioni di analisi:

- Monitoraggio e controllo: informazioni su come il processo è monitorato e controllato;
- Tecnologie: informazioni su ICT, hardware, e software utilizzati a supporto dei processi;
- Esecuzione: informazioni su come il processo è eseguito e gestito;
- Organizzazione: informazioni sulla struttura organizzativa che sottende l'esecuzione dei processi.

Tale modello consente la determinazione di un *digital readiness index* per ciascuna area funzionale analizzata e infine di un *general readiness index*.

Il modello **Industrie 4.0 Assessment** proposto da KPMG ATLAS effettua una valutazione secondo cinque dimensioni:

- Strategia e modello di business;
- Dipendenti e competenze;
- Finanza e gestione dei rischi;
- Sistemi e processi;
- Servizi e reti.

Un benchmark mostra confronti con concorrenti, altre industrie e con i "pionieri" di Industria 4.0.

Il **Digital Operations Self Assessment** di Pwc è uno strumento innovativo che, mediante l'utilizzo di applicazioni e programmi intuitivi, consente di avviare il processo di comprensione e trasformazione digitale analizzando sei aree:

1. Business Models; Product & Service Portfolio;
2. Market & Customer Access;
3. Value Chains & Processes;
4. IT Architecture;
5. Compliance, Legal, Risk, Security & Tax;
6. Organization Culture.

Ciascuna area viene valutata secondo quattro dimensioni:

- Processo: valutazione della digitalizzazione e dell'integrazione digitale tra i processi;
- Clienti: informazioni sull'utilizzo dei dati dei clienti, sulla digitalizzazione delle vendite / servizi;
- Operazione: informazioni sulla modellizzazione e virtualizzazione dei processi di lavorazione;
- Tecnologia: valutare la presenza di ICT innovative, l'utilizzo di dispositivi mobili e la comunicazione machine to machine.

L'attribuzione del punteggio è effettuata sulla base delle precedenti 4 dimensioni.

Il modello **IMPULS** analizza l'azienda rispetto a 6 dimensioni:

- Strategia e organizzazione;
- Smart factory;
- Smart operations;
- Smart products;
- Servizi *datadriven*;
- Impiegati.

Ciascuna di queste 6 dimensioni comprende dai 2 ai 4 campi associati per la valutazione del livello generale di maturità.

Le aree analizzate sono invece:

1. Risorse umane
2. IT, ICT
3. Produzione.

Il modello proposto da **RISE E INNEXHUB-Innovation Experience HUB** si basa su un questionario che permette di verificare il posizionamento dell'impresa, il livello di conoscenza e utilizzo delle seguenti tecnologie digitali:

- Internet of Things;
- Stampa 3D;
- Big Data;
- Robotica collaborativa;
- Realtà aumentata, virtuale & simulazione;
- Cloud manufacturing.

Una volta compilato il questionario, l'impresa riceve un report di posizionamento rispetto al campione generale di imprese che hanno partecipato all'indagine, in funzione della classe dimensionale, della localizzazione geografica e del comparto (es. Industria, Artigianato, Agricoltura, ecc.).

Il modello si sviluppa su 9 aree, che coprono le seguenti attività:

1. R&S;
2. Marketing, customer care e vendite;
3. ICT;
4. Risorse umane;
5. Direzione, amministrazione e controllo;
6. Acquisti;

7. Produzione;
8. Logistica e distribuzione;
9. Qualità.

L'**Indice Singapore Smart Industry Readiness Index** copre tutti gli elementi chiave dell'Industria 4.0 e cerca di trovare un equilibrio tra rigore tecnico e praticità. Esso è costituito da tre livelli; nel più alto si hanno 3 elementi fondamentali di Industria 4.0:

- Processo: analisi del processo, delle operazioni e della gestione del ciclo di vita del prodotto;
- Tecnologia: quale è il grado di automazione, connettività e utilizzo dei sistemi intelligenti di un'azienda;
- Organizzazione: quanto un'azienda adatta le strutture organizzative e i processi per tenere il passo.

Alla base di questi 3 elementi costitutivi ci sono 8 punti di riferimento. Gli 8 pilastri prevedono, a loro volta, 16 dimensioni di valutazione che le aziende possono utilizzare per valutare le proprie strutture.

L'indice prevede quattro step fondamentali:

- Imparare i concetti chiave di industria 4.0.

Lo scopo è quello di aumentare non solo il livello di comprensione dei concetti I.4.0 ma stabilire anche un linguaggio comune tra individui, unità aziendali e partner.

- Valutare lo stato attuale delle loro strutture.

Le aziende possono utilizzare le 16 dimensioni per valutare lo stato attuale delle loro strutture. Attraverso ciascuna di esse, possono essere esaminati i processi, i sistemi e le strutture attuali, inserendosi in una delle sei possibili fasce. Va sottolineato che, mentre tutte le dimensioni devono essere prese in considerazione, l'importanza relativa di ciascuna di esse varia a seconda delle esigenze dell'azienda e del settore in cui opera.

- Architettare una *roadmap* di trasformazione completa.

L'indice agisce come una lista di controllo per garantire che tutti gli elementi costitutivi, i pilastri e le dimensioni siano stati considerati. Esso funge da guida di miglioramento passo-passo.

- Fornire e sostenere iniziative di trasformazione.

Una volta che una società ha sviluppato la sua *roadmap* di trasformazione, l'indice può essere utilizzato per misurare e perfezionare le iniziative I4.0 in un periodo di molti anni.

Il Singapore Smart Industry Readiness si focalizza sui seguenti processi:

1. Produzione;
2. Supply Chain;
3. Automazione;
4. Structure and Management.

Lo strumento **Industry 4 readiness assessment tool** di WMG considera sei dimensioni di indagine con 37 sotto-dimensioni per valutare il grado di prontezza ad industria 4.0. Le sei dimensioni sono le seguenti:

Prodotti e servizi, che a sua volta si scompone in sotto-dimensioni, quali:

- Personalizzazione del prodotto;
- Caratteristiche digitali dei prodotti;
- Servizi basati sui dati;
- Livello di utilizzo dei dati del prodotto;
- Quota di entrate.

Produzione e operazioni, le cui sotto-dimensioni possono essere sintetizzate in 4 aree chiave:

- Integrazione tecnologica;
- Postazione di lavoro autonoma;
- Dati;
- Capacità delle risorse.

Strategia e organizzazione, le cui sotto-dimensioni sono:



- Grado di implementazione della strategia;
- Misurazione;
- Investimenti;
- Capacità delle persone;
- Collaborazione
- Leadership;
- Finanza.

Supply Chain, che si scompone in:

- Controllo dell'inventario utilizzando una gestione dei dati in tempo reale;
- Integrazione della supply chain;
- Visibilità della supply chain;
- Tempi di consegna.

Modello di business, le cui sotto-dimensioni sono:

- Modalità di business “come servizio”;
- Decisioni basate sui dati;
- Tracciamento in tempo reale;
- Schedulazione automatica ed in tempo reale;
- Canali di marketing integrati;
- Business supportato dall'IT.

Considerazioni legali, che si scompone in:

- Amministrazione dei contratti;
- Rischio;
- Protezione dei dati;
- Proprietà intellettuale.

Il modello permette la determinazione di un indice di *readiness* per ciascuna delle sei dimensioni di analisi (*current readiness*) e di un indice di prontezza generale (*overall readiness*) relativo all'intera azienda, entrambi definiti secondo quattro possibili livelli di maturità.

#### 4.5 Livelli di maturità e posizionamento I4.0

I modelli di *assessment* permettono di individuare il livello di maturità e il posizionamento delle aziende rispetto ai principi e alle caratteristiche di Industria 4.0. I risultati del processo di *assessment* possono essere forniti con l'indicazione di:

- uno stage di maturità che va dall'azienda non digitalizzata fino all'azienda che possiede tutte le caratteristiche dell'industria 4.0 (**ACATECH, DRA, Singapore Smart Industry Readiness Index**).
- un livello di maturità digitale crescente, con riferimento ai livelli standard dei modelli di maturità (**DREAMY 4.0**).
- una classificazione della propensione dell'azienda alla digitalizzazione e all'Industria 4.0 (**IMPULS, Università di Pisa & Regione Toscana, Industry 4 readiness assessment tool-WMG, Industry 4.0 / Digital operation self assessment, RISE e InnexHUB - Innovation Experience HUB, SELFI 4.0**);
- un quadro complessivo del posizionamento dell'impresa rispetto agli indicatori I4.0 valutati (**Bussola Digitale**).

L'Appendice A riporta in dettaglio i livelli di maturità 4.0 dei singoli metodi.

#### 4.6 Il processo di *improvement* 4.0.

Insieme ai risultati dell'*assessment*, i modelli forniscono anche misure per permettere all'azienda di intraprendere un percorso di digitalizzazione e innovazione verso Industria 4.0.

Le funzioni prescrittive e comparative di tali modelli acquistano rilievo nella fase successiva alla raccolta dei dati, quando si hanno informazioni relative al grado di maturità digitale corrente per un ampio numero di imprese partecipanti. In questo senso, la funzione comparativa risponde all'esigenza di confrontare tra loro imprese simili che insistono sugli stessi mercati o su mercati tra loro connessi. La clusterizzazione delle imprese e la misurazione del livello di maturità digitale raggiunto consentono l'elaborazione di importanti KPI, tra i quali, a mero titolo di esempio, la quantificazione del gap digitale per le singole imprese interessate e il grado di omogeneità dei livelli di maturità 4.0 all'interno di ogni gruppo d'impresa.

Gli strumenti di autovalutazione devono essere funzionali all'ottenimento di informazioni per:

- Individuare i gap rispetto a prodotto, processi, modelli di business ed organizzativi e cultura e competenze.
- Individuare le strategie e i progetti per colmare i gap.
- Valutare i progetti definendone costi e benefici.
- Definire le priorità per gli investimenti.
- Definire una tabella di marcia per le implementazioni future per ottenere le funzionalità complete di Industria 4.0.
- Tali informazioni devono essere funzionali a decisioni sulle strategie di investimento per l'espansione e/o ammodernamento dei propri sistemi di produzione, erogazione servizi e/o logistici.

Il processo di *improvement* risiede nell'opportunità di illustrare agli utenti valide indicazioni su come migliorare i processi per ogni possibile livello di maturità 4.0, in modo da consentire loro l'elaborazione di una roadmap strategica in vista del raggiungimento degli obiettivi I4.0 prefissati. In particolare, a valle della fase di *assessment*, nella fase prescrittiva un modello di maturità digitale dovrebbe:

- misurare i progressi che si possono ottenere per ogni possibile livello e sub-livello di maturità digitale (*granularity level*) in termini di *best practice* da seguire ai fini del miglioramento continuo.
- includere la possibilità per i singoli utenti del DMM di valutare differenti alternative di scelta in modo da identificare la scelta migliore in relazione agli obiettivi prefissati (ovvero il modello prescrittivo deve prevedere un calcolo delle decisioni possibili); in particolare, ogni alternativa deve contenere un set di misure implementabili. Inoltre, la selezione della scelta ottimale, e quindi delle misure da adottare, dovrebbe dipendere dallo specifico contesto di business dell'impresa. In questo senso, se possibile, il calcolo decisionale dovrebbe evidenziare non solo i KPI relativi alla *corporate performance* ma anche il modo in cui questi possono essere influenzati, a loro volta, dall'implementazione delle diverse misure di progresso (*improvement measures*). Non solo, il calcolo decisionale dovrebbe essere in grado di distinguere i *driver* soggettivi della maturità digitale, ovvero le principali motivazioni alla base del cambiamento tecnologico, in merito alla loro natura interna o esterna all'organizzazione (es. aumento della produttività (motivazione interna) / personalizzazione delle richieste da parte dei clienti (motivazione esterna)).

Ad esempio, la metodologia ACATECH permette l'elaborazione di una roadmap 4.0 per tutte le aree d'interesse, con un approccio al conseguimento dei benefici passo per passo, che consenta all'azienda di ridurre i rischi d'investimento e d'implementazione. La roadmap consente all'impresa di comprendere l'importanza di sviluppare una strategia digitale comune per tutte le aree di attività. Rispetto alle 4 aree strutturali di risorse, sistemi informativi, cultura e struttura organizzativa vengono individuati dei principi per lo sviluppo continuo.

Tabella 2. Principi per lo sviluppo continuo del modello Acatech.

RISORSE	SISTEMI INFORMATIVI
1. <u>Competenze digitali</u> : ✓ Acquisizione di dati mediante sensori e attuatori;	1. <u>Elaborazione delle informazioni</u> : ✓ Analisi automatica dei dati; ✓ Autoapprendimento;

<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Elaborazione decentrata dei dati forniti dai sensori.</li> </ul> <p>2. <u>Comunicazione strutturata:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Comunicazione efficiente;</li> <li>✓ Progettazione di interfacce basate sui compiti (<i>task-based</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Informazioni contestualizzate;</li> <li>✓ Interfacce specifiche per task;</li> <li>✓ Infrastruttura IT resiliente.</li> </ul> <p>2. <u>Integrazione dei sistemi informativi:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Integrazione verticale e orizzontale dei sistemi informativi;</li> <li>✓ Standardizzazione delle interfacce di dati;</li> <li>✓ Implementazione governance dei dati.</li> </ul>
<b>STRUTTURA ORGANIZZATIVA</b>	<b>CULTURA</b>
<p>1. <u>Organizzazione interna organica:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Comunità flessibili;</li> <li>✓ Gestione dei diritti decisionali;</li> <li>✓ Sistema di obiettivi motivazionale;</li> <li>✓ Gestione agile.</li> </ul> <p>2. <u>Collaborazione dinamica nella rete del valore:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Concentrazione sui vantaggi del cliente;</li> <li>✓ Cooperazione all'interno della rete.</li> </ul>	<p>1. <u>Desiderio di cambiamento:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Riconoscere il valore degli errori;</li> <li>✓ Apertura all'innovazione;</li> <li>✓ Apprendimento e decisioni basati sui dati;</li> <li>✓ Sviluppo professionale continuo;</li> <li>✓ Dare forma al cambiamento.</li> </ul> <p>2. <u>Collaborazione sociale:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Leadership di stile democratico;</li> <li>✓ Comunicazione aperta;</li> <li>✓ Fiducia nei processi e nei sistemi informativi.</li> </ul>

Il modello IMPULS, invece, propone degli *action items* per ognuna delle categorie (newcomers, learners e leaders) partendo dai principali ostacoli riscontrati, come riportato nelle seguenti Tabelle 3, 4,5.

Tabella 3: Action Items identificati per i *New Comers*

	Strategia e Organizzazione	Smart Factory	Smart Operations	Smart Products	Servizi data-driven	Dipendenti
<b>Attuali principali ostacoli</b>	-Industria 4.0 gioca poco o nessun ruolo nell'orientamento strategico	-L'infrastruttura delle apparecchiature non è collegata ai sistemi IT di livello superiore  -Dati di macchina e di processo non raccolti	-Scarsa o inesistente condivisione di informazioni integrate di sistema	-I prodotti dispongono di poche o nulle funzionalità aggiuntive ICT	-Focus sui prodotti tradizionali, non sono offerti servizi basati sui dati o non sono integrati con i consumatori	-Poche o nessuna skill industria 4.0 posseduta dai dipendenti
<b>Ostacoli</b>	Incertezza sul vantaggio economico  -Incertezza generale su I4.0			Nessun bisogno di mercato  Mancanza di abilità		
<b>Action Items</b>	-Creare consapevolezza su industria 4.0  -Definire una strategia	-Collegare gradualmente l'infrastruttura delle apparecchiature ai sistemi IT di livello superiore	-Pianificare i passaggi iniziali per la condivisione delle informazioni integrate all'interno dell'azienda e all'esterno del sistema	Analizzare il potenziale delle funzionalità aggiuntive ICT	-Riallineare il portafoglio di prodotti  -Definire servizi basati sui dati	-Eseguire una valutazione sistematica delle esigenze  -Adattare i programmi di formazione e di sviluppo professionale

Tabella 4: Action Items identificati per i *Learners*

	Strategia e Organizzazione	Smart Factory	Smart Operations	Smart Products	Servizi data-driven	Dipendenti
<b>Attuali principali ostacoli</b>	- Industria 4.0 è parte del processo strategico, ma una strategia specifica non è stata ancora definita	- L'Infrastruttura delle apparecchiature non è completamente collegata ai sistemi IT  - Capacità limitata di aggiornamento dell'infrastruttura delle apparecchiature	-Nessun passo verso la condivisione delle informazioni integrate di sistema con partner esterni	-I dati raccolti non sono analizzati o utilizzati per ottimizzare i prodotti o i processi (sviluppo del prodotto, supporto alle vendite, postvendita)	-Livello di utilizzo dei dati del 20-50% non ancora raggiunto	-Set di competenze specifiche industria 4.0 non ancora adeguate in alcune aree chiave
<b>Ostacoli</b>	-Incertezza sul vantaggio economico - Incertezza generale su I4.0			- Nessun bisogno di mercato - Mancanza di abilità		
<b>Action Items</b>	Definire ed implementare una strategia	Pianificare e installare l'infrastruttura IT integrata	-Espandere la condivisione delle informazioni integrate di sistema sia in azienda che esternamente	-Analizzare sistematicamente i potenziali usi dei dati raccolti	-Aumentare il livello di utilizzo dei dati -Creare più servizi basati sui dati	-Eseguire una valutazione sistematica delle esigenze  -Adattare i programmi di formazione e di sviluppo professionale

Tabella 5: Action items identificati per i *Leaders*

	Strategia e Organizzazione	Smart Factory	Smart Operations	Smart Products	Servizi data-driven	Dipendenti
<b>Attuali principali ostacoli</b>	- Una ben definita strategia Industria 4.0 non è stata ancora implementata  - Il sistema di indicatori non è stato ancora integrato nel processo strategico	- L'infrastruttura delle apparecchiature non soddisfa ancora tutti i requisiti futuri -La raccolta dei dati macchina e processo non è ancora digitalizzata in	-Nessun passo verso la condivisione delle informazioni integrate di sistema con partner esterni	-I dati raccolti non sono analizzati o utilizzati per ottimizzare i prodotti o i processi (sviluppo del prodotto, supporto alle vendite, postvendita)	-Livello di utilizzo dei dati del 20-50% non ancora raggiunto	-Set di competenze specifiche industria 4.0 non ancora adeguate in alcune aree chiave

		modo coerente				
<b>Ostacoli</b>	-Incertezza sul vantaggio economico  -Incertezza generale su I4.0			-Nessun bisogno di mercato  -Mancanza di abilità		
<b>Action Items</b>	-Definire ed implementare una strategia	-Pianificare e installare l'infrastruttura IT integrata	-Espandere la condivisione delle informazioni integrate di sistema sia in azienda che esternamente	-Analizzare sistematicamente i potenziali usi dei dati raccolti	-Aumentare il livello di utilizzo dei dati -Creare più servizi basati sui dati	-Eseguire una valutazione sistematica delle esigenze -Adattare i programmi di formazione e di sviluppo professionale

#### 4.7 Settori di applicazione

I diversi modelli di *assessment* analizzati possono essere, in una prima analisi, classificati in:

- **multisettoriali:** tarati per rilevare il posizionamento in ottica 4.0 delle imprese, di qualsiasi settore produttivo e dimensione.
- **specifici:** messi a punto per rilevare il posizionamento 4.0 di aziende appartenenti a determinati comparti aziendali, ossia modelli definiti per specifici settori produttivi, specifiche dimensioni aziendali, grado di conoscenza I4.0 o tecnologie abilitanti su cui focalizzare maggiormente l'attenzione.

Nella prima categoria rientrano:

- DREAMY 4.0: lo strumento messo a disposizione dal Politecnico di Milano prevede due versioni: una più approfondita, per aziende di medie e grandi dimensioni, ed una più snella e ridotta, per aziende di piccole dimensioni. Entrambe le versioni si concentrano sul tessuto industriale globale.
- Industry 4.0 / Digital operation *self-assessment*: il questionario messo a punto e proposto online dalla società, può essere applicato a molteplici settori produttivi: Automotive, Energia, Servizi finanziari, Sanitario e Farmaceutico, Prodotti industriali, Private Equity, Settore Pubblico, Vendita al dettaglio, Tecnologia media e telecomunicazioni, Trasporti e logistica.
- RISE e InnexHUB: tale modello, terminata la compilazione, restituisce un report di posizionamento rispetto al campione generale di imprese che già hanno partecipato all'indagine e ad un campione segmentato in funzione della classe dimensionale, della localizzazione geografica e del comparto (es. Industria, Artigianato, Agricoltura, ecc.). Esso, quindi, può ritenersi un approccio perseguibile da ogni azienda.
- Singapore Smart Industry Readiness Index: concepito come uno strumento completo per tutte le società, indipendentemente dalle loro dimensioni o dal settore in cui esse operano.

Alla seconda categoria appartengono quei modelli che non possono essere impiegati da qualunque impresa ma che presentano dei vincoli all'utilizzo, poiché si rivolgono a specifici comparti aziendali o rispondono a caratteristiche ed esigenze specifiche dell'azienda. All'interno di tale categoria rientrano tutti i modelli analizzati che non sono multisettoriali, in particolare, tra questi è possibile effettuare un'ulteriore suddivisione in:

##### I. MODELLI RIVOLTI AD IMPRESE MANIFATTURIERE:

- **ACATECH:** l'indice di maturità elaborato è rivolto prevalentemente alle imprese manifatturiere. Esso

propone una guida su come disegnare il percorso che porterà tali imprese ad essere agili e capaci d'apprendere e all'individuazione di misure foriere di benefici concreti.

- **IMPULS:** è indirizzato esclusivamente ad aziende manifatturiere, in particolare di ingegneria meccanica o di impiantistica e quindi esclude le aziende fornitrici di servizi. Esso mira ad individuare dove si trovano le aziende dell'ingegneria meccanica ed impiantistica tedesca rispetto al percorso industria 4.0, quali condizioni devono essere create e quali modificate per il successo dell'implementazione di I4.0 in esse.
- **Università di Pisa & Regione Toscana:** è uno degli strumenti di *assessment* più completi in circolazione, che, attraverso tre strumenti tra loro complementari, riesce a adattarsi alle esigenze di ogni azienda. Esso si configura, però, come modello secondario, che scaturisce da due modelli già esistenti: quello di Acatech e quello di Impuls, entrambi rivolti a aziende manifatturiere. Per tale motivo, anche questo quest'ultimo, riprendendo i due citati approcci, risulta essere focalizzato su tale comparto.

## II. MODELLI RIVOLTI ALLE PICCOLE E MEDIE IMPRESE:

- **SELFI 4.0:** Il modello di *assessment* utilizzato dai PID delle Camere di Commercio è specificatamente tarato per rilevare le esigenze delle *Micro Piccole Medie Imprese* nei diversi settori produttivi (manifatturiero, servizi, agricoltura, ecc.).
- **Bussola digitale:** lo strumento proposto dal Diex, si configura come un check-up digitale completo (tecnologico, organizzativo, gestionale), rivolto alle *PMI*.
- **DRA:** lo strumento, utilizzato dal Digital Innovation Hub Piemonte, nasce per valutare il grado di prontezza digitale in modo particolare delle *PMI*, estendendosi anche a quelle di dimensioni leggermente maggiori.

Non tutti i modelli analizzati sono stati inquadrati in una delle due principali classi individuate, poiché per alcuni di essi, quali ad esempio **Industry 4 readiness assessment tool-WMG** e **Industrie 4.0 Assessment di KPMG ATLAS**, non è specificato il settore di applicazione nei documenti disponibili. Di conseguenza, si può ritenere con elevata probabilità che essi siano modelli multisettoriali.

### 4.8 Soggetti erogatori e modalità di erogazione

I suddetti strumenti per l'*assessment* potranno essere erogati da soggetti adeguatamente qualificati quali:

1. Competence Center,
2. Digital Innovation Hub, PID (punti di impresa digitali),
3. Assoconsult e Confindustria,
4. Player nel campo della consulenza aziendale.

Le imprese possono accedere all'*assessment* attraverso una duplice modalità: l'autovalutazione con piattaforma online a disposizione delle aziende o tramite l'*assessment* guidato fornito dai soggetti erogatori.

Nel primo caso il *self-assessment* può essere effettuato con la somministrazione di un questionario online. Questa modalità solitamente fornisce un primo generale bilancio del livello di maturità I4.0 delle aziende attraverso brevi report o radar chart. I questionari solitamente esplorano i seguenti aspetti:

- Caratteristiche generali delle aziende (settore, dimensione, fatturato, etc).
- Domande generali sulla conoscenza di Industria 4.0 e sulle tecnologie abilitanti (KET).
- Autovalutazione sullo stato di implementazione di Industria 4.0.
- Grado in cui le aziende soddisfano le dimensioni di Industria 4.0
- Motivazione e ostacoli sulla strada per Industria 4.0.

Nel secondo caso i soggetti erogatori supportano e guidano le imprese attraverso personale appositamente formato che svolge diverse visite aziendali in base alla dimensione della stessa. Durante le visite, condotte da uno o più

auditors, è necessaria anche la presenza di una part rappresentativa della dirigenza aziendale, selezionata solitamente attraverso questionari valutativi.

#### 4.9 Sintesi dei modelli di *assessment e improvement*

Di seguito in Tabella 6 vengono riportate le principali caratteristiche dei metodi.

Tabella 6 Sintesi dei Modelli

Modelli	Struttura	Settore Applicativo	Livelli di Maturità 4.0	Modalità di erogazione
<b>ACATECH Industrie 4.0 Maturity Index - Managing the Digital Transformation of Companies</b>	<b>3 fasi:</b> misura dell'attuale predisposizione dell'azienda; identificazione della capacità di sviluppare, identificazione <i>roadmap</i> . <b>5 aree funzionali</b> ognuna delle quali valutata in funzione di <b>4 principi:</b> risorse, sistemi informativi, cultura e struttura organizzativa.	Imprese manifatturiere	<b>6 livelli di maturità:</b> computerizzazione, connettività, visibilità trasparenza, capacità predittiva, adattabilità.	Assessment + Audit
<b>Bussola Digitale</b>	<b>4 aree funzionali:</b> mercato/clienti, piattaforme tecnologiche, processi produttivi e supply chain	Multisetoriale con focus sulle PMI. Già applicato a 70 imprese (64% metalmeccanica, 8% servizi, 6 % alimentare e 22% altro).	Valori da 1 a 10 per ogni dimensione.	Audit
<b>Industry 4.0 / Digital operation self assessment</b>	<b>6 aree analizzate:</b> Business Models; Product & Service Portfolio; Market & Customer Access; Value Chains & Processes; IT Architecture; Compliance, Legal, Risk, Security & Tax; Organization Culture <b>6 dimensioni di analisi:</b> Processo, Clienti, Operazione, Tecnologia.	Multisetoriale: Automotive, Energia, Servizi finanziari, Sanitario e Farmaceutico, Prodotti industriali, Private Equity, Settore Pubblico, Vendita al dettaglio, Tecnologia media e telecomunicazioni, Trasporti e logistica.	<b>4 livelli di maturità:</b> Apprendista Digitale, Integratore Verticale, Collaboratore Orizzontale, Campione Digitale.	Self Assessment
<b>Digital Readiness Assessment (DRA)</b>	<b>Aree aziendali:</b> Progettazione, Produzione, Logistica, Qualità, Manutenzione,	Focus su PMI	<b>6 livelli di maturità:</b> livello 0, livello 1, livello 2, livello 3, livello 4, livello 5.	Audit

	Marketing, Risorse Umane, IT.			
<b>Digital REadiness Assessment MaturitY model 4.0 - DREAMY 4.0</b>	<b>4 fasi:</b> analisi della maturità digitale; identificazione dei punti di forza e di debolezza; identificazione delle opportunità; definizione della strategia di trasformazione digitale.  <b>4 dimensioni</b> per ciascuna area di processo: monitoraggio e controllo; tecnologie; esecuzione e organizzazione.	Multisetoriale	<b>5 livelli di maturità per 8 aree di processo:</b> iniziale; gestito; definito; integrato e interoperabile; orientato alla digitalizzazione. <b>5 livelli di maturità per prodotto:</b> semplice, monitorato, avanzato, intelligente, connesso.	Assessment+ Audit
<b>Industrie 4.0 Assessment</b>	<b>5 dimensioni di valutazione:</b> strategia e modello di business, Dipendenti e competenze, Finanza e gestione dei rischi Sistemi e processi, Servizi e reti.	Multisetoriale	<b>Nessun livello di maturità</b> (viene fornita una presentazione grafica multidimensionale dei risultati insieme alle relative conclusioni dell'analisi)	Assessment
<b>Industry 4 readiness assessment tool-WMG</b>	<b>6 dimensioni principali di analisi:</b> Prodotti e servizi, produzione e operazioni, Strategia e organizzazione, supply chain, modello di business, considerazioni legali. Ciascuna dimensione si scompone in sottodimensioni, per un totale di 37 sottodimensioni di analisi.	Multisetoriale	<b>4 livelli di maturità:</b> beginner, intermediate, experieced, expert.	Assessment
<b>Readiness Model – IMPULS</b>	<b>6 dimensioni chiave:</b> strategia e organizzazione, smart factory, smart operations, smart products, servizi data driven, e dipendenti.	Imprese manifatturiere	<b>6 livelli di maturità:</b> estraneo, principiante, intermedio, pratico, esperto e top performer.	Self-Assessment
<b>RISE e InnexHUB - Innovation Experience HUB</b>	<b>6 dimensioni di analisi:</b> internet delle cose, stampa 3D, big data, robotica collaborativa, realtà aumentata, cloud manufacturing.	Multisetoriale	<b>Nessun livello di maturità</b> (viene restituita una valutazione complessiva).	Self-Assessment
<b>Singapore Smart Industry Readiness Index</b>	<b>3 dimensioni:</b> processo, tecnologia, organizzazione.	Multisetoriale	<b>5 livelli di maturità:</b> livello field, livello di controllo, livello di produzione, livello operativo, livello di pianificazione aziendale.	Assessment+ Audit
<b>SELFIE 4.0</b>	-	PMI	<b>5 livelli di maturità:</b> esordiente, apprendisti, specialisti, esperti, campioni.	Self-Assessment



<b>Università di Pisa &amp; Regione Toscana</b>	<b>3 step di analisi:</b> pre- valutazione, assessment e audit. <b>4 principi:</b> risorse, sistemi informativi, cultura e struttura organizzativa (come acatech).	Imprese manifatturiere	<b>6 livelli di maturità:</b> estraneo, principiante, intermedio, pratico, esperto e top performer.	Assessment + Audit
---	---	---------------------------	---	-----------------------

## 5 Risorse umane e competenze

In uno scenario in cui solo flessibilità e processi di adattamento permettono alle organizzazioni di fronteggiare le mutate esigenze tecnologiche, è evidente che diventa sempre più importante e strategico riconoscere e valorizzare la dimensione dinamica a disposizione dell'organizzazione, ovvero l'apporto professionale dell'individuo, il capitale intellettuale rappresentato dalle conoscenze e competenze (Knowledge base) possedute dalle persone e dalla capacità individuale di acquisire, governare e applicare tale patrimonio. Perdere o non valorizzare adeguatamente una risorsa per una media o piccola organizzazione in momenti di forte competitività e nell'ambito di mercati molto specializzati, può essere una questione di sopravvivenza della stessa; agire tempestivamente per adeguare il personale a cambiamenti spesso molto rapidi degli obiettivi aziendali e quindi dei processi e mansioni coinvolti per il loro raggiungimento, richiede innanzitutto di avere una chiara visione dello stato dell'arte e delle necessità a breve e medio termine. Se un tempo i lavoratori imparavano tutto il necessario per lo svolgimento del proprio ruolo all'inizio della carriera, e quelle competenze erano sufficienti per decenni fino al pensionamento, oggi invece le competenze vanno rinnovate di anno in anno e necessitano di aggiornamento continuo. La formazione continua è volta a migliorare il livello di qualificazione e di sviluppo professionale delle persone che lavorano, assicurando alle imprese e agli operatori economici, sia pubblici che privati, capacità competitiva dunque adattabilità ai cambiamenti. Le Risorse Umane, infatti, saranno sempre più coinvolte nella gestione del cambiamento e nello sviluppo dell'apprendimento continuo. Il bisogno di competenze per il paradigma 4.0 segue due declinazioni complementari soft skills e hard skills. Le hard skills (skill tecnologiche, tecniche specifiche e di business) sono ricercate non solo in ambito ICT ma anche in altri settori produttivi e comprendono competenze rispetto ai sistemi ERP, CAD, Java, Html, piattaforme CMS ma anche le capacità di interazione con gli strumenti digitali e progettazione sviluppo e utilizzo degli stessi, conoscenza e competenza rispetto alle tecnologie abilitanti.

Le *soft skills* comprendono capacità relazionali, di generazione di consenso, di negoziazione, di comunicazione, di gestione dei problemi complessi. Al lavoratore della fabbrica del futuro sarà richiesta la capacità di gestire la molteplicità d'informazioni generate dalla linea di produzione: tutte le decisioni, dovranno essere prese in tempo reale e sulla base di informazioni dettagliate. Occorre, quindi, che il lavoratore trovi e faccia proprie, nuove opportunità per massimizzare la produttività, l'efficienza e la flessibilità delle risorse, velocizzando i processi di *decision making* e *problem solving*. Risulta necessario quindi investire nella formazione di profili professionali coerenti con i fabbisogni espressi dai nuovi mercati del lavoro, sempre più fluidi e flessibili. Il contesto di Industria 4.0 richiede l'aggiornamento delle competenze dei lavoratori oggi occupati nelle imprese manifatturiere, attraverso la diffusione della cultura della formazione come diritto individuale e come investimento sulla persona e sul capitale umano. In questo modo la formazione diventa un investimento per l'impresa e anche per il lavoratore se dovesse perdere il posto di lavoro o se dovesse decidere di cambiare occupazione. Il Contratto Nazionale dei metalmeccanici, ad esempio, del 26 Novembre 2017, ha fatto un primo passo importante verso questa consapevolezza, sancendo punti qualificanti per la preparazione alla transizione verso Industria 4.0: diritto soggettivo alla formazione partendo dal gap delle competenze digitali, sperimentazione di un nuovo inquadramento professionale, sistema di welfare integrativo più forte, nonché nuove normative sullo smart working e sperimentazione di forme di partecipazione strategica nelle aziende sopra i 1500 dipendenti. Muovendosi in questa direzione, tra gli obiettivi promossi dalla legge regionale art.17 rientrano *la promozione della qualificazione e la riqualificazione digitale del personale all'interno delle imprese, nonché la creazione di centri di competenza sulla manifattura digitale in grado di supportare: l'alta formazione, in particolare con la creazione di dottorati industriali e al coinvolgimento dei ricercatori nelle attività industriali; interventi diretti di potenziamento della formazione professionale e creazione di canali di alta formazione professionale e specializzazione dedicati all'innovazione 4.0; interventi diretti alla sensibilizzazione sia di docenti che di allievi delle scuole sullo studio dei temi del manifatturiero digitale; interventi volti alla riqualificazione del personale in esubero derivante dai processi di riconversione e riorganizzazione produttiva.*

### 5.1 Metodi e strumenti per il miglioramento continuo delle competenze

Nell'era di I4.0, più che in altri periodi di discontinuità che hanno in qualche modo interessato il panorama

industriale nazionale, nonché regionale, le risorse umane determinano la differenza tra il risultato effettivo e il massimo teoricamente possibile da una determinata configurazione del processo. Gli ultimi dati OCSE sulle High Performance Work Practices, ovvero le modalità di organizzazione del lavoro e di management considerate innovative, posizionano l'Italia all'ultimo posto e l'ultimo Rapporto annuale sulla Formazione continua mostra come solo il 6,4% dei lavoratori partecipa alle attività di formazione non formale all'interno delle aziende e come la maggior parte di questi appartenga ai lavoratori altamente qualificati. Dal punto di vista delle risorse umane, le principali criticità, soprattutto per le PMI del territorio, possono essere riassunte nei seguenti punti:

- le tecnologie innovative proprie di I4.0 necessitano di figure professionali che non esistono in azienda e devono essere acquisite dal mercato o create internamente;
- il reperimento di tali risorse può essere costoso e complesso perché si manifesta per tutte le aziende contemporaneamente (quando il mercato si accorge della potenzialità offerta da una certa tecnologia);
- la formazione degli utenti pone molti problemi gestionali:
  - o gli utenti devono superare l'avversione al cambiamento;
  - o spesso i vantaggi delle nuove soluzioni non sono subito evidenti;
  - o il rischio maggiore è di introdurre un cambiamento maggiore delle capacità individuali di adattamento inducendo il rifiuto del nuovo sistema.
- i cambiamenti demografici e la globalizzazione stanno modificando radicalmente la composizione della popolazione lavorativa italiana con un continuo innalzamento dell'età media della forza lavoro.

Appare evidente che per far fronte a tali criticità è necessaria da parte dell'azienda un'attenta valutazione delle competenze delle proprie risorse ed un'altrettanta attenta pianificazione dei fabbisogni formativi. La base per una gestione corretta e flessibile delle Competenze è ovviamente la creazione di un modello aziendale che si basi sull'individuazione delle competenze necessarie all'azienda e la loro "mappatura" sui ruoli, al fine di garantire la realizzazione delle performance attese e degli obiettivi di business pianificati. Per la valutazione delle competenze nello scenario appena descritto, si identificano quindi i seguenti livelli fondamentali di "conoscenza" delle risorse:

1. Non conosce  
Mancanza delle conoscenze di base anche teoriche necessarie per svolgere correttamente il lavoro
2. Conosce, ma non è in grado di applicare  
Conoscenze di base anche teoriche necessarie per svolgere correttamente il lavoro
3. Sa applicare, ma non con un buon livello di confidenza  
Sa applicare ma non è in grado di riprodurre in modo standard e accurato. Necessita ancora di una supervisione
4. Sa applicare  
Sa applicare ed è in grado di riprodurre in diverse situazioni in modo standard e accurato.
5. Specialista anche in grado di insegnare  
Conosce a fondo e sa applicare in maniera accurata. Conosce la teoria sottostante ed è in grado di insegnare ad altri.

Un sistema aziendale di gestione per competenze ha come scopo chiave la valutazione dell'adeguatezza al ruolo del personale dell'organizzazione ed è costituito essenzialmente da:

- Un Modello delle Competenze aziendali.
- Un Sistema di Valutazione delle competenze espresse (e potenziali) del personale.
- Un sistema di Sviluppo e superamento dei gap.

Un Modello delle Competenze aziendali è un set strutturato e coerente di informazioni che:

- identifica e mappa le competenze, conoscenze ed abilità ottimali/ideali richieste alle persone in ciascuno dei ruoli previsti nell'organizzazione;
- definisce i livelli attesi (rispetto ad una scala di misurazione predefinita) per ciascuna delle competenze previste nel ruolo;
- stabilisce la pesatura relativa delle competenze complessive nell'ambito del ruolo.

Esistono vari metodi per l'individuazione di un modello aziendale di competenze che si sviluppano di norma su interviste semi-strutturate e strumenti di raccolta codificata delle informazioni, sui quali sono poi applicati metodi di indagine statistica ed analisi qualitativa.

I metodi consulenziali di mappatura delle competenze più "precisi" dal punto di vista teorico, mirano invece a creare una rappresentazione puntuale delle necessità di ogni ruolo organizzativo e quindi necessitano di interventi di indagine ed analisi molto impegnativi e di conseguenza onerosi sia in termini di tempo che economici.

## 6 Tipologie di intervento

Gli obiettivi definiti dalla legge regionale all'art.17 nonché le iniziative e le azioni definite agli articoli 18, 20, 21, 23, 25 possono vedere la loro attivazione attraverso la progettazione e la esecuzione di interventi che possono ricadere in una o più delle seguenti tipologie:

1. Interventi di Formazione (IF);
2. Interventi di Trasferimento Tecnologico (ITT);
3. Programmi e Progetti Finalizzati (PPF);
4. Interventi di Supporto di Diffusione e Promozione (ISDP).

Gli interventi sopraelencati sono definiti in attuazione degli obiettivi individuati nella legge Regionale n. 22/2016 su "Manifattura@Campania: Industria 4.0",

- art. 17 comma 1 alle lettere m) ed n);
- art. 18 comma 1 alle lettere: e), e g);
- art. 20; art. 23; ed art. 25.

Tabella 7 Mappatura Interventi previsti VS Obiettivi Legge Regionale n. 22/2016  
"Manifattura@Campania: Industria 4.0"

IF interventi di formazione	ITT interventi di trasferimento tecnologico	PPF Programmi e Progetti finanziati	ISDP Interventi di Supporto, di Diffusione e di Promozione
art. 17 comma 1 alle lettere c) d) ed e)		art. 17 comma 1 alla lettera b) g) h) i) l) n) o)	art. 17 comma 1 alle lettere m) ed n)
art. 18 comma 1 alla lettera c)	art. 17 comma 1 alla lettera e) f) h)	art. 18 comma 1 alla lettera a) c) d) e) f)g)	art. 18 comma 1 alle lettere: b), e), g);
art. 20		art. 21	art. 20 art. 23 art. 25

Tra tali obiettivi strategici, gli obiettivi caratterizzanti il tema dell'*assessment* e dell'*improvement* nonché della qualificazione e riqualificazione delle risorse umane ricadono nei seguenti punti della legge regionale:

- promuovere l'incontro tra tecnologie digitali di produzione e realtà manifatturiere tradizionali, garantendo un'evoluzione del know-how e delle competenze digitali delle piccole e medie imprese;
- favorire l'integrazione tra formazione professionale, università, ricerca, imprese manifatturiere e lavoro artigiano digitale;
- promuovere la qualificazione e la riqualificazione digitale del personale all'interno delle imprese;
- sviluppare competenze integrate in tema di manifattura digitale, innovazione e trasferimento di tecnologie digitali applicate al manifatturiero, in stretta sinergia con le università, i centri di ricerca, le grandi imprese, le piccole e medie imprese e le nuove imprese innovative, anche in ambito internazionale;
- sperimentare nuovi percorsi per promuovere l'innovazione diffusa e aperta, di processo, organizzativa e di prodotto delle imprese, favorendo programmi di Open Innovation, corporate venture capital e trasferimento tecnologico e di brevetti verso le nuove imprese;
- supportare la collaborazione e lo scambio di competenze e conoscenze digitali e telematiche, favorendo

- sinergie alternative delle imprese;
- promuovere il raccordo tra le università, i centri di ricerca, le imprese manifatturiere e del lavoro artigiano digitale, anche in ambito internazionale, per accrescere la competitività e sviluppare l'innovazione del sistema industriale;
  - sviluppare un programma organico di medio e lungo periodo per la promozione dei processi innovativi nei settori strategici dell'economia campana, che definisca in modo puntuale gli obiettivi di semplificazione da perseguire, gli indicatori di valutazione del raggiungimento degli obiettivi, gli strumenti e le risorse da impiegare.

Obiettivi garantiti dagli interventi individuati in tabella 8 per i processi di *assessment* ed *improvement* e per la valutazione e qualificazione delle risorse umane.

Tabella 8 Tipologie di Intervento Previste

Tipologie di intervento	Processo di Assessment	Processo di Improvement	Risorse e Competenze
Intervento 1.1: Formazione frontale	X	X	X
Intervento 1.2: Formazione telematica realizzata con lezioni ed attività integrative	X	X	X
Intervento 1.3: Formazione By Doing	X	X	X
Intervento 1.4: Formazione On the Job	X	X	X
Intervento 1.5: Alta Formazione	X	X	X
Intervento 2.1: Trasferimento da Università/Centro di ricerca/Centro di Competenze tecnologiche	X	X	X
Intervento 2.2: Trasferimento da Grandi Imprese a PMI di conoscenze e competenze tecnologiche	X	X	X
Intervento 2.3: Trasferimento da PMI a PMI di conoscenze e competenze tecnologiche	X	X	X
Intervento 2.4: Trasferimento da Start Up innovative a PMI di conoscenze e competenze tecnologiche	X	X	X
Costituzioni Reti di Impresa			
Attrazioni di Capitali			
Cooperazione e condivisione di Tecnologie e Prodotti Tecnologici I4.0			
Sviluppo di Brevetti			
Start-Up innovative			
Sviluppo Locale e Innovazione (Officine della manifattura Innovativa)			
Acquisizione di beni strumentali e software I4.0			X
Processi di assessment ed Improvement per Evoluzione I4.0	X	X	

Portali e Siti regionali della Fabbrica Intelligente: Presentazione di esperienze e risultati di manifattura ed artigianato 4.0	X	X	X
Internazionalizzazione: convegni, fiere, accordi e programmi internazionali	X	X	X
Costituzione Reti di Imprese allo sviluppo coordinato di una rete di iniziative, attività e strutture per la ricerca di interesse industriale e l'innovazione tecnologica			

## 6.1 Mappatura degli interventi per i processi di *assessment* e *improvement*

Le metodologie sviluppate per l'*assessment* e l'*improvement* 4.0 sono state sviluppate e spesso rilasciate soltanto in una versione preliminare negli ultimi tre anni con l'avvento e la diffusione della quarta rivoluzione industriale. Lo stato dell'arte presentato nella sezione 2 evidenzia la recente evoluzione dei metodi. Lo stesso concetto di valutazione e autovalutazione del livello di prontezza e maturità 4.0 non è ampiamente diffuso nell'imprenditoria regionale. Pertanto risulta necessario intervenire con misure mirate ai processi di *assessment* ed *improvement* per permettere la corretta e strategica trasformazione delle aziende regionali in ottica 4.0.

### 6.1.1 Interventi di formazione

Gli interventi previsti in tema di formazione avranno ad oggetto i modelli e gli strumenti di *assessment* e *improvement* nel rispetto delle richieste del contesto produttivo regionale, nelle forme di:

- **Intervento 1.1:** Formazione Frontale.
- **Intervento 1.2:** Formazione Telematica realizzata con lezioni ed attività integrative.
- **Intervento 1.3:** Formazione *By Doing*.
- **Intervento 1.4:** Formazione *On the Job*.
- **Intervento 1.5:** Alta formazione.

**Fruitori.** Tali interventi sono mirati alla formazione ed all'aggiornamento di: giovani, studenti universitari e neo-laureati, per l'immissione nel mondo del lavoro; personale dipendente PMI, per la gestione interna del processo; personale dipendente società di consulenza; personale da convertire o aggiornare. L'alta formazione sarà prevalentemente orientata al processo di *improvement* per lo sviluppo di specifici modelli/metodi e strumenti per la definizione di *roadmap* strategiche 4.0.

**Erogatori.** I suddetti interventi di formazione potranno essere erogati da soggetti adeguatamente qualificati quali:

- Centri di Competenza ad alta Specializzazione, Università, Centri di Ricerca;
- Grandi player di prodotti per I4.0 (tali soggetti potranno erogare esclusivamente attività di formazione on the job, tipo Learning by doing);
- Istituti di Formazione Professionale (tali soggetti potranno erogare esclusivamente attività di formazione tipo Learning by doing).

### 6.1.2 Trasferimento tecnologico

In attuazione dell'art. 17 legge regionale n. 22/2016 sono individuate le seguenti tipologie di interventi a sostegno delle attività di trasferimento tecnologico:

- **Intervento 2.1:** Trasferimento da Università/Centro di Ricerca/Centro di Competenza ad Impresa, finalizzato allo sviluppo del sistema produttivo regionale anche in riferimento alla qualificazione della produzione;
- **Intervento 2.2:** Trasferimento da Grandi Imprese a PMI di conoscenze e competenze tecnologiche;

- **Intervento 2.3:** Trasferimento da PMI a PMI di conoscenze e competenze tecnologiche;
- **Intervento 2.4:** Trasferimento da Start Up Innovativa a PMI di conoscenze e competenze tecnologiche.

**Oggetto del trasferimento.** Le conoscenze, le metodologie e gli strumenti sviluppati verranno rese accessibili alle imprese per valutare il proprio livello di maturità 4.0 e definire la strategia di sviluppo in ottica I4.0.

### **6.1.3 Programmi e progetti finalizzati**

La realizzazione degli obiettivi individuati richiede l'articolazione di interventi mirati allo sviluppo del territorio regionale attraverso programmi e progetti.

Gli interventi devono prevedere il sostegno a progetti e programmi promossi da imprese, singole o associate, associazioni di imprese o altri soggetti, pubblici o privati interessati, realizzati in collaborazione con università, laboratori o centri di ricerca per la ricerca industriale o lo sviluppo di innovazione, finalizzati alla diffusione di conoscenze e competenze relative ai modelli di *Assessment* ed *Improvement* per Evoluzione I4.0, descritti nel presente documento, nonché allo sviluppo e all'implementazione di nuovi modelli e strumenti con le medesime finalità.

### **6.1.4 Interventi di supporto di diffusione e promozione**

L'attuazione della legge Regionale n. 22/2016, richiede la definizione di interventi specifici per la promozione ed il supporto alla realizzazione del piano attuativo. Per tale motivo è necessario prevedere degli interventi come di seguito riportati:

- Portali e Siti Regionali della Fabbrica Intelligente: Presentazione di esperienze e risultati di manifattura ed artigianato I4.0.
- Internazionalizzazione: convegni, fiere, accordi e programmi internazionali.
- Hackathon: accademici, di associazioni di categoria, locali, provinciali, nazionali ed internazionali.
- Costituzione Reti di Imprese allo sviluppo coordinato di una rete di iniziative, attività e strutture per la ricerca di interesse industriale e l'innovazione tecnologica.

## **6.2 Mappatura degli interventi per le risorse umane**

Le misure di intervento mirate al **superamento dei gap di competenze delle risorse umane** rientrano nelle seguenti tipologie.

### **6.2.1 Interventi di formazione**

Gli interventi previsti in tema di formazione per la qualificazione e la riqualificazione delle risorse umane nel rispetto delle richieste del contesto produttivo regionale sono previste nelle forme di:

- **Intervento 1.1:** Formazione Frontale.
- **Intervento 1.2:** Formazione Telematica realizzata con lezioni ed attività integrative.
- **Intervento 1.3:** Formazione By Doing.
- **Intervento 1.4:** Formazione On the Job.
- **Intervento 1.5:** Alta formazione.

**Fruitori.** Tali interventi sono mirati alla formazione ed all'aggiornamento di: giovani, studenti universitari e neo laureati; personale dipendente da convertire o aggiornare, manager d'azienda e imprenditori.

**Erogatori.** I suddetti interventi di formazione potranno essere erogati da soggetti adeguatamente qualificati quali:

- Centri di Competenza ad alta Specializzazione, Università, Centri di Ricerca;
- Grandi player di prodotti per I4.0 (tali soggetti potranno erogare esclusivamente attività di formazione on the job, tipo Learning by doing);
- Istituti di Formazione Professionale (tali soggetti potranno erogare esclusivamente attività di formazione tipo Learning by doing).

### 6.2.2 Programmi e progetti finalizzati

La realizzazione degli obiettivi individuati richiede l'articolazione di interventi mirati allo sviluppo del territorio regionale attraverso programmi e progetti, relativi all'acquisizione di beni strumentali e software I4.0 per il miglioramento continuo delle risorse umane.

### 6.2.3 Interventi di supporto di diffusione e promozione

L'attuazione della legge Regionale n. 22/2016, richiede la definizione di interventi specifici per la promozione ed il supporto alla realizzazione del piano attuativo. Per tale motivo è necessario prevedere degli interventi come di seguito riportati:

- Portali e Siti Regionali della Fabbrica Intelligente: Presentazione di esperienze e risultati di manifattura ed artigianato I4.0.
- Internazionalizzazione: convegni, fiere, accordi e programmi internazionali.
- Hackathon: accademici, di associazioni di categoria, locali, provinciali, nazionali ed internazionali.
- Costituzione Reti di Imprese allo sviluppo coordinato di una rete di iniziative, attività e strutture per la ricerca di interesse industriale e l'innovazione tecnologica.

## 7 Un modello statistico per il miglioramento delle prestazioni nell'ambito del controllo e *scheduling* delle operazioni di un processo di produzione nel settore manifatturiero

### 7.1 Introduzione

Il presente capitolo costituisce il secondo contributo, più specifico, dell'Università L'Orientale al tavolo regionale relativo all'ambito Industria 4.0 e consiste nella costruzione di un modello statistico per il miglioramento delle prestazioni di un sistema di produzione manifatturiero.

Il sequenziamento (in inglese *sequencing*) e la schedulazione (in inglese *scheduling*) sono processi decisionali mirati all'ottimizzazione di un dato obiettivo attraverso una più efficiente allocazione di risorse finite. In particolare il sequenziamento riguarda l'ordinamento delle varie operazioni da eseguire all'interno di un processo produttivo, mentre la schedulazione, contenendo anche informazioni temporali, sincronizza e tempifica la sequenza delle operazioni. Per questo motivo, in generale, l'attività di schedulazione costituisce un'estensione delle attività di sequenziamento e la soluzione ad un problema di *scheduling*, definita *schedula*, mira ad individuare la scelta ottimale relativamente ad un dato criterio adottato. Un esempio tipico è fornito dal problema dei tempi di consegna di  $n$  lotti di produzione con  $n$  date di consegna assegnate, che può essere formalmente rappresentato in termini di programmazione lineare assumendo la grandezza temporale come discreta. In specifico, l'algoritmo esaminato per la gestione delle date di consegna si pone l'obiettivo di individuare quella sequenza di attività che minimizza l'eventuale ritardo  $\sum_{i=1}^n R_i$  originato da una data sequenza iniziale e che si aggiunge al tempo di completamento teorico  $C_i$  del singolo lotto (Conway *et al.*, 2003). Formalmente, nell'ambito dell'attività di *scheduling* connesse ai problemi relativi ai tempi di consegna, la (1) rappresenta la F.O da minimizzare sotto opportuni vincoli definiti a priori per l'ammissibilità della schedula:

$$(1) \quad \min\{\sum_{i=1}^n C_i + \sum_{i=1}^n R_i\}$$

s. t.

$$\left\{ \begin{array}{l}
C_1 = \sum_{i=1}^n x_{i,1} \cdot p_i \\
C_2 = C_1 + \sum_{i=1}^n x_{i,2} \cdot p_i \\
\vdots \\
C_n = C_{n-1} + \sum_{i=1}^n x_{i,n} \cdot p_i \\
\\
T_1 = \sum_{i=1}^n x_{i,1} \cdot t_i \\
\vdots \\
T_n = \sum_{i=1}^n x_{i,n} \cdot t_i \\
R_n = C_n - T_n \\
\sum_{i=1}^n x_{i,k} = 1 \quad \forall k \\
\sum_{i=1}^n x_{i,k} = 1 \quad \forall i \\
C_i \geq 0 \quad \forall i \\
x_{i,k} \in \{0; 1\} \quad \forall i, k
\end{array} \right.$$

Relativamente ai vincoli,  $x_{ik}$  individua la variabile binaria che rappresenta la fase di produzione dell'  $i$ -esimo lotto (*job*) relativamente al  $k$ -esimo intervallo di tempo discreto di lavorazione (l'unità temporale del tempo di lavorazione costituisce in questo caso il *passo di discretizzazione* del tempo; l'algoritmo presentato prevede  $k = 1, 2, \dots, n$  intervalli di tempo costanti, pari al numero totale dei lotti considerati). A titolo esemplificativo, la stringa  $x_{i1} = 0; x_{i2} = 0; x_{i3} = 0; \dots; x_{ik} = 1; \dots; x_{in} = 0$  indica che il lotto  $i$ -esimo è entrato in produzione nel  $k$ -esimo intervallo di tempo sul macchinario considerato.

Proseguendo nella descrizione dei vincoli,  $p_i$  è il tempo per la lavorazione del lotto  $i$ -esimo,  $C_i$  indica il tempo in cui il lotto  $i$ -esimo è completato (naturalmente bisogna imporre  $C_i \geq 0 \quad \forall i$  affinché l'algoritmo non restituisca la soluzione banale),  $t_i$  rappresenta la data di consegna del lotto  $i$ -esimo da convertire in ore o giorni dall'inizio dell'attività di *scheduling*;  $T_n$  indica il tempo di consegna dei lotti sequenziati (*due date*) e verrà calcolato come il quantitativo di ore/giorni dalla data di schedulazione alla data di consegna richiesta dal cliente. In genere la violazione dei tempi di consegna è un fattore particolarmente critico per le imprese manifatturiere, comportando costi non di rado elevati (penale, perdita di fiducia da parte del cliente, etc...). Infine,  $R_i$  indica l'eventuale ritardo sulla consegna dell' $i$ -esimo lotto (*Lateness*) (Liu e Leiland, 1974).

Poiché per semplicità espositiva il modello specificato è relativo ad un singolo macchinario, si utilizzano alcuni vincoli aggiuntivi affinché la schedula sia ammissibile; in tal caso i vincoli eviteranno (Pinedo, 2012):

1. che due lotti (due *job*) siano contemporaneamente lavorati sullo stesso macchinario nello stesso intervallo di produzione:  $\sum_{i=1}^n x_{i,k} = 1 \quad \forall k$
2. che un lotto (o *job*) possa lavorato sullo stesso macchinario in più intervalli:  $\sum_{i=1}^n x_{i,k} = 1 \quad \forall i$  (tale vincolo è necessario per evitare che l'algoritmo di minimizzazione restituisca la soluzione banale con tutte le variabili nulle)

Per poter definire in modo compiuto l'algoritmo definiamo la variabile  $D_i = \max\{0; C_i - T_i\}$  (*Tardiness*) e la variabile *politomica*  $\alpha_i \in [0, 2] \quad \forall i$ . In questo modo, per il ritardo del generico  $i$ -esimo lotto di produzione, si avrà dunque:



$$(2) \quad \begin{cases} a_i = 2 \text{ se } (C_i - T_i) > v \\ a_i = 1 \text{ se } 0 < (C_i - T_i) \leq v \\ a_i = 0 \text{ se } (C_i - T_i) \leq 0 \end{cases}$$

in cui i valori (0,1 e 2) assunti dalla variabile  $a$  indicano rispettivamente: assenza di ritardo nella consegna ( $a = 0$ ), lieve ( $a = 1$ ) e grave ritardo ( $a = 2$ ) nella consegna del lotto al cliente.

Il parametro  $v > 0$  individua una soglia temporale oltre la quale la *Tardiness* comporta costi molto elevati per l'impresa responsabile della consegna (es. perdita definitiva del cliente, penale eccessivamente onerosa,..) ed il suo valore è definito dall'impresa committente, nella fase di stipula del contratto, insieme all'impresa fornitrice responsabile della consegna. In questa sede si offre solo una trattazione teorica dell'utilizzo di tale parametro all'interno di un modello statistico per il miglioramento prestazionale di un sistema di produzione. L'eventuale determinazione effettiva dei valori associati al parametro  $v$  è pertanto demandata a successivi e più approfonditi studi

## 7.2 Il modello statistico

Si supponga che un'impresa abbia applicato con successo l'algoritmo di cui all'equazione (1), individuando la soluzione ottimale al problema di schedulazione, e che conosca i singoli tempi di processamento di ogni operazione.

Si supponga inoltre che l'impresa non riesca comunque a ridurre i ritardi connessi alla consegna degli  $n$  lotti di produzione ai propri clienti. Se la gestione operativa dell'intero processo di produzione è stata ottimizzata, almeno teoricamente, un probabile problema del perdurare dei ritardi nelle consegne può essere attribuito a macchinari con ridotta capacità produttiva (guasti, criticità da sovraccarico del macchinario, etc...). L'individuazione del dispositivo da riconfigurare/rispristinare risulta allora di cruciale importanza ai fini del continuo miglioramento dell'efficienza operativa di un processo di produzione in ambito manifatturiero.

In sintesi, il modello statistico proposto in questo lavoro serve l'obiettivo specifico di individuare quel dispositivo che comporta il maggior dispendio di tempo all'interno di un processo produttivo teoricamente ottimizzato.

Si consideri il vettore  $\mathbf{A}$  relativo ai ritardi nei tempi di consegna ai clienti degli  $n$  lotti di produzione (espressi attraverso la variabile  $a$  che può assumere tre valori: 0,1 e 2) e la matrice  $\mathbf{Z}$  dei ritardi di produzione parziali per ciascun lotto ( $i = 1,2, \dots, n$ ) su ogni macchinario considerato nel processo di produzione ( $j = 1,2, \dots, m$ ):

$$(3) \quad \mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_i \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix}; \quad \mathbf{Z} = \begin{pmatrix} z_{11} & \cdots & z_{1j} & \cdots & z_{1m} \\ z_{21} & \cdots & z_{2j} & \cdots & z_{2m} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{i1} & \cdots & z_{ij} & \cdots & z_{im} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1} & \cdots & z_{nj} & \cdots & z_{nm} \end{pmatrix}; \quad \text{con } i = 1, \dots, n \wedge j = 1, \dots, m$$

Da un punto di vista metodologico, introduciamo due ulteriori precisazioni:

- In riferimento alla generica osservazione  $z_{ij}$  si ipotizza che l'impresa conosca il tempo di realizzazione teorico, per ogni macchinario, di un generico lotto  $i$ -esimo. Con tale assunto la generica osservazione  $z_{ij}$  corrisponde alla differenza tra il valore registrato del tempo di processamento ed il parametro  $h_j$  di riferimento teorico (il tempo che il  $j$ -esimo macchinario impiega a completare il suo lavoro su di un generico lotto in condizioni ottimali di funzionamento). Un valore pari a zero della variabile  $z_{ij}$  indica pertanto perfetto funzionamento sul  $j$ -esimo macchinario.
- i tempi di processamento qui presentati sono da intendersi in senso prettamente individuale, ovvero essi *non sono* relativi a lotti sequenziati (dunque, la matrice  $\mathbf{Z}$  è non diagonale). In altri termini,  $\mathbf{Z}$  registra solo eventuali ritardi per ciascuna fase di produzione (*i.e.* per ogni macchinario), intesa individualmente, e non il ritardo cumulato sulla  $j \leq m$  operazione di processo (in generale, il ritardo nel completamento di una fase di produzione implica il ritardo nel completamento della sua fase *successiva*). La scomposizione del

ritardo complessivo in  $m$  componenti *indipendenti*, oltre ad essere agevolmente rilevabile da un punto di vista operativo, è necessaria ai fini della validità del modello statistico presentato nel successivo paragrafo. Pertanto, in caso di malfunzionamento di uno o più macchinari si ha che ciascuna variabile della matrice  $\mathbf{Z}$  è aleatoria e di tipo *iid* (è indipendente ed identicamente distribuita: ad es. segue una distribuzione normale:  $z_{ij} \sim N(\mu; \sigma^2)$ ).

In termini più formali, il modello proposto deve essere in grado di individuare quale dispositivo (colonne della matrice  $\mathbf{Z}$ ) influenza positivamente la *probabilità* di incorrere in ritardi strutturali dei lotti da consegnare ai clienti (vettore  $\mathbf{A}$ ) secondo 3 diversi livelli di intensità.

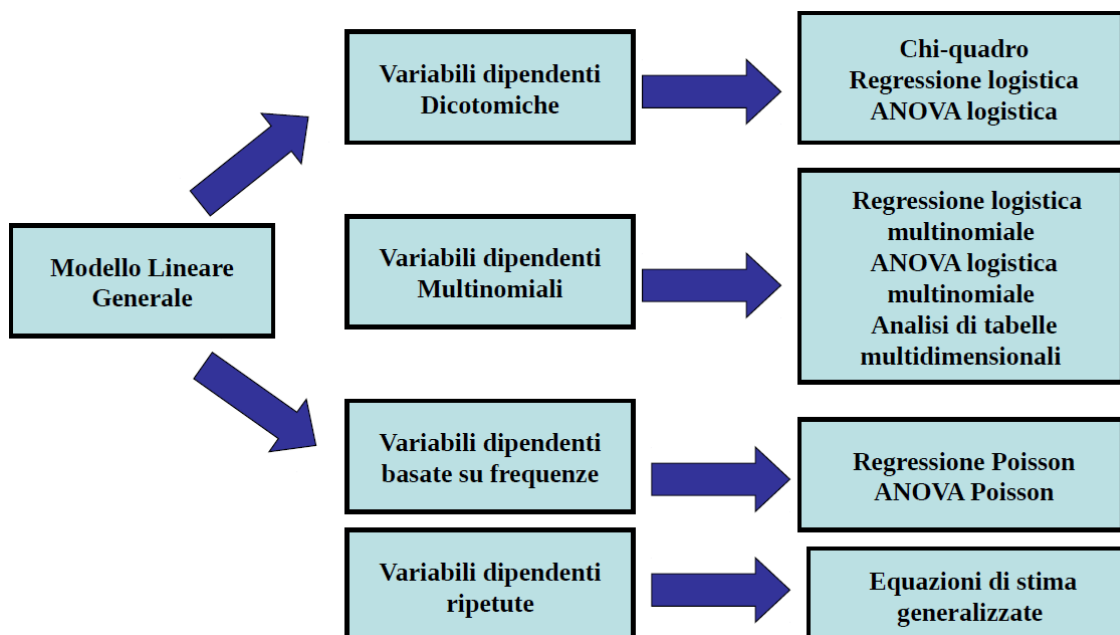
Tuttavia il problema presentato pone delle rilevanti criticità da un punto di vista statistico poiché, se da un lato la matrice  $\mathbf{Z}$  è rappresentata da tutte variabili quantitative (la differenza tra i tempi di produzione di ogni lotto ed il parametro  $b$  per ogni macchinario coinvolto nel processo), il vettore  $\mathbf{A}$  rappresenta i tempi di ritardo sulla consegna del lotto a partire da un certo valore della soglia individuata dal parametro  $k$  (*cut-off value*). La costruzione del modello statistico deve pertanto considerare che il vettore  $\mathbf{A}$  della variabile dipendente è di tipo categoriale, permettendo l'espressione di 3 distinte modalità (0,1 e 2). Da un punto di vista statistico la famiglia di modelli che trattano variabili dipendenti binarie o *politomiche* (oltre due modalità) appartengono alla macro area dei modelli generali non lineari di probabilità.

A tal fine, la sezione successiva, partendo dalla descrizione del modello lineare di probabilità, offre una sintetica esposizione dei principali vantaggi connessi all'utilizzo del modello logistico (logit), maggiormente indicato per modellare statisticamente il problema presentato in questo paragrafo.

### 7.3 Il modello lineare di probabilità (Linear Probability Model - LPM)

Gran parte delle più note tecniche statistiche volte ad individuare le relazioni fra variabili, quali correlazione, regressione, ANOVA etc., possono essere riferite al *Modello Lineare Generale* (GLM). Il GLM consente di studiare gli effetti di variabili indipendenti di vario tipo su variabili dipendenti quantitative (Neter *et. al*, 1996). Tuttavia la ricerca empirica abbonda di variabili dipendenti qualitative come scelte dicotomiche, scelte multiple, frequenze di eventi, classificazioni, etc... (Gallucci e Leone, 2012): i modelli lineari generalizzati permettono di analizzare gli effetti di variabili indipendenti (continue o qualitative) su variabili dipendenti qualitative attraverso modelli statistici consolidati (Maddala, 1983), come reso evidente in Fig. 1:

Figura 1: I modelli statistici per variabili dipendenti politomiche



Fonte: Galucci e Leone (2012)

In particolare, quando la variabile dipendente ha natura qualitativa nominale *dicotomica* o *politomica* (i.e. presenta un numero di modalità superiore a 2 gli assunti alla base del modello di regressione lineare sono violati).

Per semplicità, si consideri una variabile  $Y$  dicotomica (che presenta solo due modalità di risposta, 0 e 1) ed il seguente modello regressivo lineare multiplo:

$$(5) \quad Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \dots + \beta_k X_{ik} + \varepsilon_i ; \quad k = 0, 1, 2, \dots, K$$

dove  $X_i$  è il vettore delle  $k$  osservazioni sull' $i$ -esima unità statistica  $Y_i$ ,  $\beta_k$  il coefficiente di regressione per la generica variabile  $k$  e  $\varepsilon_i$  il termine d'errore. Poiché la variabile dipendente ha natura qualitativa dicotomica, la (5) definisce un modello di probabilità lineare (Linear Probability Model – LPM). Infatti il valore atteso di  $E(Y_i|X_i)$  può essere interpretato, ad esempio, come la probabilità condizionata che l'evento  $Y=1$  si realizzerà dato il set di informazioni  $\mathbf{X}$ , ovvero  $E(Y_i = 1|\mathbf{X})$ .

Assumendo  $E(\varepsilon_i) = 0$  allo scopo di ottenere stimatori corretti, dalla (5) si ottiene:

$$(6) \quad E(Y_i|\mathbf{X}) = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \dots + \beta_k X_{ik} ; \quad k = 0, 1, 2, \dots, K$$

Se  $P_i$  è eguale alla probabilità che  $Y_i = 1$  e  $(1-P_i)$  è la probabilità che  $Y_i$  assuma un valore pari a 0, la distribuzione di probabilità della variabile  $Y$  è chiaramente di tipo bernoulliano. Inoltre, poiché si ha che:

$$(7) \quad E(Y) = 0(1 - P_i) + 1(P_i) = P_i$$

dal confronto della (6) e della (7) otteniamo:

$$(8) \quad E(Y_i|\mathbf{X}) = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \dots + \beta_k X_{ik} = P_i$$

Ovvero l'aspettativa di  $Y$  condizionata al verificarsi di  $X$  può essere interpretata come la probabilità condizionata di  $Y$ .

Inoltre, poiché la probabilità  $P_i$  è compresa nell'intervallo  $[0,1]$  è necessario vincolare anche la variabilità del valore atteso di  $Y$  affinché sia riferita a tale intervallo.

Quanto affermato implica che l'OLS sembra poter essere esteso anche al caso delle variabili dipendenti dicotomiche (o, come vedremo, *politomiche*), tuttavia l'applicazione pratica del modello LPM pone alcune difficoltà metodologiche.

1. Sebbene la tecnica dei minimi quadrati (OLS) per la regressione lineare non richieda l'assunto di normalità per la distribuzione del termine d'errore  $\varepsilon_i$ , tale assunto è tuttavia necessario ai fini dell'inferenza statistica del modello. In questo caso, infatti, dalla (5) si ricava che il termine d'errore è dato da:

$$(9) \quad \varepsilon_i = Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_{i1} - \dots - \beta_k X_{ik}$$

ed è facile verificare che anche il termine d'errore segue la distribuzione di probabilità di Bernoulli:

Tabella 9: il termine d'errore

	$E$	Probabilità
$Y=1$	$1 - \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \dots + \beta_k X_{ik}$	$P_i$
$Y=0$	$-\beta_0 - \beta_1 X_{i1} - \dots - \beta_k X_{ik}$	$(1-P_i)$

Il mancato rispetto dell'assunto di normalità non è tuttavia un problema quando l'obiettivo è l'utilizzo del modello lineare per effettuare una stima puntuale<sup>1</sup>. Non solo, all'aumentare del numero di unità statistiche considerate, la funzione di distribuzione di probabilità di Bernoulli converge alla funzione normale.

<sup>1</sup> Infatti in questo caso non è richiesto l'assunto di normalità (Gujarati e Sangeetha, 2007).

2. Anche considerando  $E(\varepsilon_i) = 0$  e  $cov(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0$  il modello LP non assicura l'omoschedasticità del termine d'errore. Infatti la varianza di una variabile aleatoria che si distribuisce secondo una bernoulliana è data da

$$(10) \quad var(\varepsilon_i) = p_i(1 - p_i)$$

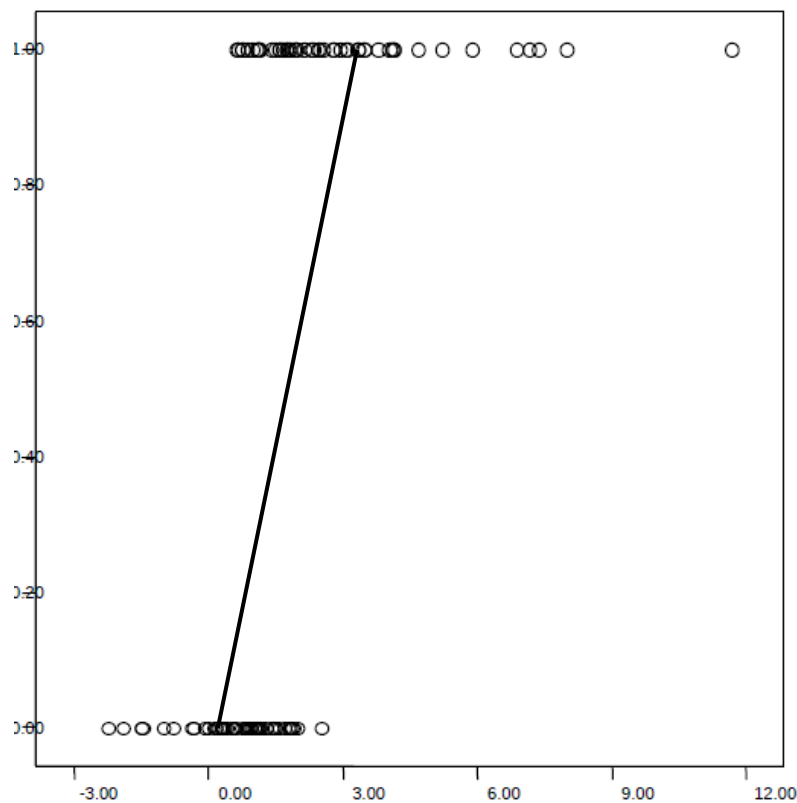
in cui  $P_i = E(Y_i|\mathbf{X}) = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_k X_{ki}$ . Pertanto la varianza del termine d'errore dipende dai valori di  $\mathbf{X}$  e, di conseguenza, non può essere reputata costante.

Anche questa criticità può tuttavia essere risolta attraverso la standardizzazione dei dati (ovvero dividendo le variabili aleatorie per  $p_i(1 - p_i)$ ) e, successivamente, la stima di un modello regressivo tramite la procedura OLS che, in questo caso specifico, diventa semplicemente un *WLS* (*Weighted Least Squares*).

3. I due principali problemi della stima OLS del Linear Probability Model sono dati dalla possibilità che i valori di  $E(Y_i|\mathbf{X})$  cadano al di fuori dell'intervallo  $[0,1]$  e che il valore dell' $R^2$  non abbia praticamente significato per questa metodologia di stima (Aldrich and Nelson, 1984), come si evince in Fig. 2.

Nel primo caso è sicuramente possibile imporre  $E(Y_i|\mathbf{X}) = 1$  per tutti quei valori stimati superiori ad uno e  $E(Y_i|\mathbf{X}) = 0$  per tutti quei valori inferiori a zero; tuttavia, permanendo le criticità connesse all' $R^2$ , è preferibile utilizzare delle tecniche di stima che garantiscono il rispetto degli assiomi classici sulla probabilità (Logit e Probit), come sarà mostrato nel successivo paragrafo.

Figura 2: Grafico LPM – *unconstrained*



#### 7.4 Il modello logistico di probabilità

Come si è visto nel paragrafo precedente, il modello lineare (LPM) comporta non poche criticità strutturali:

1. non normalità del termine d'errore
2. eteroschedasticità del termine d'errore

3. i valori stimati dal modello potrebbero non essere compresi nel canonico intervallo [0,1] nel quale in modo assiomatico è definito il concetto di probabilità
4. valori molto bassi per l'indice  $R^2$

Questi problemi, come si è osservato, sono risolvibili attraverso opportune trasformazioni dei dati disponibili e/o l'impiego di tecniche algoritmiche.

Il limite insormontabile alla base di un LPM è tuttavia l'assunto di linearità, per il quale  $P_i = E(Y_i = 1|\mathbf{X})$  aumenta linearmente con  $\mathbf{X}$ , ovvero l'effetto marginale di  $\mathbf{X}$  su  $p_i$  resta costante per ogni livello di  $\mathbf{X}$ .

È quest'ultima considerazione che, in particolare, risulta essere manifestamente irrealistica nell'analisi di molti fenomeni aleatori e conduce all'adozione di modelli statistici più idonei a rappresentare relazioni di tipo non lineare nei parametri (Gujarati e Sangeetha, 2007).

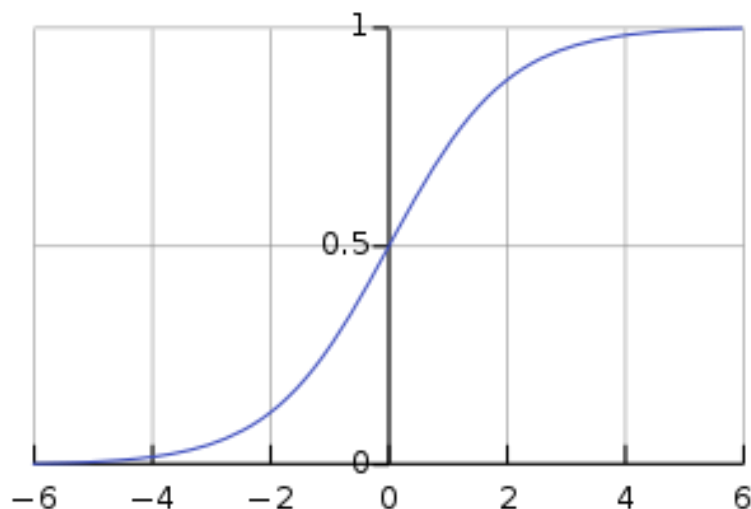
Per ovviare agli inconvenienti del LPM sono stati introdotti in letteratura i modelli **logit** e **probit**.

In generale, un opportuno modello probabilistico dovrebbe avere due caratteristiche importanti:

- all'aumentare di  $\mathbf{X}$ ,  $P_i = E(Y_i = 1|\mathbf{X})$  aumenta ma non cade mai esternamente all'intervallo [0,1]
- $P_i = E(Y_i = 1|\mathbf{X})$  si avvicina ad uno (zero) in modo sempre meno proporzionale (ovvero sempre più lentamente) all'aumentare (diminuire) di  $\mathbf{X}$ . La relazione tra  $P_i$  e  $\mathbf{X}$  è dunque di tipo non lineare.

Un siffatto modello probabilistico è raffigurato graficamente in Fig. 3 (*Sigmoide* o curva a forma di S), in cui si può facilmente riconoscere la funzione di probabilità cumulata di una variabile casuale. Storicamente due sono le funzioni di ripartizione maggiormente utilizzate per modellare le regressioni con variabili dipendenti binarie: quella relativa alla distribuzione logistica (da cui origina il modello **logit**) e alla normale (che caratterizza il modello **probit** o **normit**)

Figura 3: La funzione logistica cumulata



#### 7.4.1 Il modello **Logit binomiale**

Consideriamo il seguente modello di regressione:

$$(11) \quad P_i = E(Y_i = 1|\mathbf{X}) = \frac{1}{1+e^{-(\beta_0+\beta_1X_{i1}+\dots+\beta_kX_{ik})}}$$

Per semplicità espositiva possiamo riscrivere tutto come:

$$(12) \quad P_i = E(Y_i = 1|\mathbf{X}) = \frac{1}{1+e^{-z_i}} = \frac{e^z}{1+e^z}$$

Dove  $Z_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \dots + \beta_k X_{ik}$

L'equazione (12) rappresenta la cosiddetta **funzione logistica di probabilità cumulata** (Kramer, 1991). Il vantaggio di una siffatta trasformazione risiede nell'immediata considerazione che, mentre  $Z$  può variare tra  $-\infty$  e  $+\infty$ ,  $P_i$  varia solo nell'intervallo  $[0,1]$  e, oltretutto, la relazione tra  $P_i$  e  $\mathbf{X}$  è di tipo non lineare.

Il problema maggiore del modello individuato dalla (12) è che non può essere utilizzata la classica procedura di stima OLS poiché  $P_i$  non è lineare neppure nei parametri. È tuttavia possibile *linearizzare* il modello rappresentato dalla (12) considerando il logaritmo naturale dell'**odd**:

In particolare, se:

$$(13) \quad 1 - P_i = \frac{1}{1 + e^{Z_i}}$$

Possiamo allora scrivere:

$$(14) \quad \frac{P_i}{1 - P_i} = \frac{1 + e^{Z_i}}{1 + e^{-Z_i}} = e^{Z_i}$$

Il rapporto tra la probabilità che si verifichi l'evento  $Y = 1$  e la probabilità che si verifichi l'evento complementare  $Y = 0$ , è definito **odd** e varia tra 0 e  $+\infty$ . Con l'introduzione dell'odd, l'intervallo di valori per la variabile dipendente è limitato solo inferiormente (zero), potendo assumere qualsiasi valore positivo maggiore di 1.

Tuttavia, se prendiamo in considerazione il logaritmo naturale dell'odd, denominato **Logit**, otteniamo:

$$(15) \quad L_i = \ln\left(\frac{P_i}{1 - P_i}\right) = Z_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \dots + \beta_k X_{ik}$$

L'equazione (15) implica alcune caratteristiche positive:

Come  $P_i$  assume valori da 0 a 1 (cioè  $Z$  varia tra  $-\infty$  e  $+\infty$ ),  $L_i$  può liberamente variare  $-\infty$  e  $+\infty$ .

Come si evince dalla (15), a differenza di  $P_i$ ,  $L_i$  è lineare in  $\mathbf{X}$  e nei parametri.

Il logit assume progressivamente un valore negativo in corrispondenza di odds che tendono a 0 e valori positivi sempre più elevati quando gli odds variano tra 1 e  $+\infty$ .

In generale e ai fini della procedura di stima, conviene scrivere la (15) nel modo seguente:

$$(16) \quad L_i = \ln\left(\frac{P_i}{1 - P_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \dots + \beta_k X_{ik} + \varepsilon_i$$

Poiché il modello logistico è per definizione non lineare (come mostrato in precedenza dal grafico in Fig. 3), la stima dei parametri, espressi nel modello logit dall'equazione (16), è condotta iterativamente attraverso il **metodo della massima verosimiglianza** (Maximum Likelihood Estimation - **MLE**), assumendo che ciascuna variabile casuale  $Y_i$  (che può assumere i valori 0 od 1) segua una distribuzione di tipo bernoulliano.

Per quanto riguarda l'interpretazione dei coefficienti di regressione, come nel modello lineare essi corrispondono alle variazioni della variabile dipendente ( $\mathbf{Y}$ ) rispetto alle variazioni delle variabili indipendenti del modello ( $\mathbf{X}$ ), analogamente nella regressione logistica essi esprimono la variazione della variabile dipendente in funzione di variazioni della variabile indipendente.

Nel caso semplificato di una variazione unitaria della  $k$ -esima variabile  $\mathbf{x}_k$  si avrà che il generico coefficiente  $b_k$  stimato sarà pari a:

$$(17) \quad b_k = \ln(e^{x_{ik+1}}) - \ln(e^{x_{ik}}) = \ln\left(\frac{\frac{P_{i(x_{k+1})}}{1-P_{i(x_{k+1})}}}{\frac{P_{i(x_k)}}{1-P_{i(x_k)}}}\right)$$

In cui l'ultimo termine a destra dell'equazione (17) restituisce il logaritmo naturale del rapporto tra gli odds, ovvero il logaritmo naturale dell'**odds ratio** (o **log-odds**). In generale, il log-odds esprime una misura del grado di correlazione tra le probabilità connesse ai due fattori (**Y** e **X**), ovvero in che misura il set delle variabili indipendenti **X** incide sulla probabilità che si manifesti (o non si manifesti) la variabile **Y** dipendente.

Se il valore di  $b_k$  è superiore a 1 significa che all'aumentare della variabile indipendente aumenta la probabilità di  $Y = 1$ . Al contrario, se il valore è inferiore a 1 significa che all'aumentare della variabile indipendente decresce la probabilità che  $Y = 1$ . È importante sottolineare sia che l'odds ratio ha la stessa interpretazione del coefficiente di regressione, sia che per confrontare i differenti livelli di probabilità ( $Y = 1$ ), nei diversi livelli delle variabili indipendenti, è necessario calcolare l'odds ratio (OR) e non basta rifarsi ai valori dell'odds; ciò riveste un'utilità pratica immediata, nella misura in cui molti software riportano nelle tabelle di output direttamente la misura EXP(B), ovvero il rapporto tra gli odds.

#### 7.4.2 Variabili dipendenti politomiche ordinali: il modello *logistico ordinale*

Il modello logistico binomiale è adatto al caso di una variabile dicotomica, che assume cioè solo valori 0 o 1. Nel nostro caso la variabile dipendente ha natura *politomica* (ovvero è caratterizzata da un numero di modalità superiore a 2). Inoltre le diverse modalità in cui si manifesta la variabile **A** presentano un ordine prestabilito (ad es. come nel nostro caso in cui  $a=0$  corrisponde a nessun ritardo nella consegna,  $a=1$  indica un lieve ritardo nella consegna e  $a=2$  un ritardo eccessivo). È tuttavia senz'altro possibile analizzare gli effetti del set **Z** delle variabili indipendenti considerate (dispositivi) sulla tipologia di ritardo gravante su ogni lotto di produzione. A tal fine è utilizzato il modello di regressione logistica ordinale (**ordered logit**).

La struttura del modello è essenzialmente la stessa di quella relativa al modello logit binomiale ma, a differenza di quest'ultimo, il calcolo dei logit, pur avvenendo per confronti a coppie di probabilità come nel modello logit binomiale, riguarderà le probabilità cumulate di ogni singolo evento e il suo evento complementare.

In genere le variabili dipendenti qualitative (**Y**) possono essere viste come manifestazione di una variabile continua latente sottostante ( $Y^*$ ). Da questo punto di vista, e facendo riferimento al nostro caso specifico, possiamo senz'altro definire le seguenti relazioni:

$$(18) \quad \begin{cases} y = 0 & \text{se } y^* \leq \tau_0 \\ y = 1 & \text{se } \tau_{c-2} < y^* < \tau_{c-1} \\ y = 2 & \text{se } y^* \geq \tau_{c-1} \end{cases}$$

L'esistenza di un ordinamento per le categorie della variabile dipendente comporta tuttavia un'ulteriore vincolo da aggiungere al modello, e cioè che all'aumentare dei valori assunti dalla variabile latente, i valori osservati per la variabile categoriale non possono in nessun modo *diminuire* di categoria. In altri termini le osservazioni relative alla variabile **Y** sono monotone crescenti rispetto ai valori assunti dalla variabile latente  $Y^*$ . A tal fine ogni software statistico provvede alla stima del parametro  $\tau_k$  (con  $c =$  numero di categorie  $= 1, 2, \dots, c-1$ ) che altro non rappresenta se non i singoli valori soglia utilizzati per distinguere lo "scatto" da una categoria alla successiva, all'aumentare dei valori assunti dalla variabile latente  $Y^*$  (Grilli e Rampichini, 2014)

Il modello logistico ordinale, per una generica variabile dipendente **Y** con  $c$  categorie, può essere pertanto espresso attraverso la forma canonica:

$$(19) \quad L_i = \ln\left(\frac{\Pr(Y_i \leq c_i)}{1 - \Pr(Y_i \leq c_i)}\right) = \tau_c - \beta_1 x_{i1} - \dots - \beta_k x_{ik} - \varepsilon_i \quad \text{con } c = 1, \dots, C-1 \wedge i = 1, \dots, n$$

Si noti inoltre che la probabilità cumulata relativa all'ultima categoria è necessariamente pari a 1. Di conseguenza, il modello logistico ordinale specifica al massimo  $C - 1$  equazioni. Come si evince dall'equazione (19) il modello comporta la stima del parametro  $\tau$  per ogni categoria della variabile dipendente. Non solo, come si può notare è

assente la stima dell'intercetta  $\beta_0$  in quanto il modello non può stimare simultaneamente i valori del parametro soglia e dell'intercetta (che è anch'essa un parametro). Il segno negativo (-) davanti ai coefficienti di regressione non è un errore: nel caso in cui il valore stimato del parametro sia positivo l'aumentare del valore assunto da una covariata  $x_{ik}$  implica una maggiore probabilità di categorie alte della variabile dipendente; nel caso che, viceversa, tale stima abbia segno negativo, un aumento di  $x_{ik}$  genera una tendenza di rispondere categorie basse della variabile risposta  $y_i$ .

Relativamente alla risoluzione del problema di efficientamento di cui al paragrafo 7.1 è possibile dunque adottare un modello logistico ordinabile caratterizzato dalla seguente equazione:

$$(20) L_i = \ln \left( \frac{\Pr(a_i \leq c_i)}{1 - \Pr(a_i \leq c_i)} \right) = \tau_c - \beta_1 Z_{i1} - \dots - \beta_k Z_{ik} - \varepsilon_i \quad \text{con } c = 0,1 ; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$$

In cui  $i$  è il numero di intervalli di produzione e  $m$  è il numero di macchinari considerati impiegati; ne consegue che  $Z_{ik}$  è il vettore riga associato ai tempi di produzione dell' $i$ -esimo lotto (*job*) su ogni macchinario.

$a_i \in \mathbf{A}$  è la variabile politomica con tre categorie ordinabili  $c = 0,1,2$ , per le quali si ha rispettivamente: assenza di ritardo, ritardo lieve, ritardo elevato della consegna dell' $i$ -esimo lotto al cliente.

Per interpretare in modo più compiuto il vettore  $\beta$  dei coefficienti è possibile dalla (20) ottenere la seguente equazione:

$$(21) \quad \Pr(a_i \leq c_i | \mathbf{Z}_i) = \frac{e^{\tau_c - \beta_1 Z_{i1} - \dots - \beta_k Z_{ik} - \varepsilon_i}}{1 + e^{\tau_c - \beta_1 Z_{i1} - \dots - \beta_k Z_{ik} - \varepsilon_i}} = \frac{1}{1 + e^{-\tau_c + \beta_1 Z_{i1} + \dots + \beta_k Z_{ik} + \varepsilon_i}}$$

in cui è più agevole comprendere che i coefficienti di regressione individuano l'effetto di una variazione positiva delle rispettive variabili esplicative (tempi di produzione su ogni macchinario) sulla probabilità che i ritardi nella consegna dei lotti ai clienti assumano valori progressivamente elevati (passando ad esempio da un livello lieve di ritardo, per il quale si ha  $a = 1$  a uno decisamente più critico, per il quale risulta  $a = 2$ ).

In conclusione, si è visto che l'utilizzo di un siffatto modello statistico permette l'individuazione di quei dispositivi che, per guasti o malfunzionamenti operativi (ad es. logorio da eccessivo carico), o per entrambi i motivi, procurano elevati dispendi di tempo nel completamento di un singolo lotto, adducendo oneri eccessivi alle imprese fornitrici. Un'ulteriore estensione del presente lavoro potrebbe contemplare tecniche e metriche più avanzate per l'analisi dei disturbi di un articolato processo industriale a più macchine (ad. es. processi a macchine parallele). Il presente lavoro non costituisce altro che un embrionale tentativo di fornire un supporto analitico di tipo statistico (attraverso l'analisi anche di quantità rilevanti di dati) al processo decisionale volto al miglioramento delle prestazioni di un sistema produttivo in ambito manifatturiero.

## 8 Conclusione

Il presente lavoro costituisce una linea guida per la regione Campania ai fini della definizione degli strumenti necessari al supporto delle imprese durante la fase di transizione verso Industria 4.0.

I vantaggi connessi all'utilizzo delle tecnologie comprese nel programma nazionale Industria 4.0 rappresentano un'importante opportunità in termini di produttività e competitività non solamente per le imprese del comparto manifatturiero, tuttavia l'individuazione di un percorso virtuoso di evoluzione dei processi organizzativi verso i nuovi traguardi dell'era digitale (la cosiddetta *roadmap strategica*) resta ancora un punto debole per gran parte delle PMI Campanie.

L'esistenza dei Modelli di Maturità Digitale, complessi strumenti operativi tesi a verificare il grado di sviluppo digitale dei processi aziendali per ogni singola funzione, consentono alle imprese interessate, da un lato, di monitorare lo stato dell'arte corrente dei loro processi produttivi (interni ed esterni), dall'altro, di tracciare nel tempo una strategia individuale che consenta il raggiungimento di un più elevato e rapido sviluppo delle tecnologie afferenti al programma Industria 4.0. Il presente documento è stato inoltre inteso come strumento ausiliario non solo per la regione e gli enti regionali preposti alle politiche di incentivazione delle attività economiche ma anche per tutti gli attori e referenti di strutture produttive campane che potranno utilizzarlo per orientare e supportare



interventi e progetti di acquisizione di apparecchiature, macchinari, strumenti e sistemi software per I4.0. Un ulteriore contributo della presente guida è anche la definizione di un quadro d'azione a livello regionale per il miglioramento continuo delle competenze del personale impiegato nelle PMI campane. In questo senso, in accordo con la legge regionale del 08-08-2016 n.22 ("Manifattura@Campania: Industria 4.0"), le imprese potranno essere supportate anche nella fase di elaborazione di progetti formativi di qualificazione e la riqualificazione digitale del personale, candidabili al supporto di iniziative ed azioni regionali. Sono proposti pertanto interventi mirati allo sviluppo del territorio regionale attraverso Interventi di Formazione (IF); Interventi di Trasferimento Tecnologico (ITT); Programmi e Progetti Finalizzati (PPF); Interventi di Supporto di Diffusione e Promozione (ISDP) opportunamente sviluppati.

La seconda parte del documento è diretta espressione del lavoro svolto dal Dipartimento di Scienze Umane e Sociali dell'università "L'Orientale", relativo all'elaborazione di un modello statistico capace di supportare le scelte strategiche delle imprese campane nell'ambito di un maggiore efficientamento dei processi di produzione aziendali. Tale modello, particolarmente adatto nei contesti produttivi attuali caratterizzati da una vasta disponibilità di dati, consente l'individuazione rapida delle operazioni meno efficienti in termini temporali che, nell'ottica di una sempre maggiore attenzione al cliente finale, possono comportare sostanziali ritardi nelle consegne dei lotti di produzione con eventuali aggravii di costi effettivi e potenziali per le imprese fornitrici (penali, perdita del cliente, etc...).

## 9 Bibliografia

- Aldrich, John H., and Forrest D. Nelson. Linear Probability, Logit, and Probit Models. Sage University Paper Series on Quantitative Application in the Social Sciences, No. 07-045. Newbury Park, CA: Sage.(1984)
- Bharadwaj, A., El Sawy, O.A., Pavlou, P.A., Venkatraman, N.: Digital Business Strategy: Toward a Next Generation of Insights, *MIS Quarterly*, 37(2), 471-482 (2013)
- Bharadwaj, A.S.: A resource-based perspective on information technology capability and performance: an empirical investigation. *MIS quarterly*, 169-196 (2000)
- Bollettino Ufficiale della Regione Campania, n.54 del 08-08-2016 riportante il testo della Legge Regionale 8 agosto 2016, n. 22. "Legge annuale di semplificazione 2016 - Manifattura@ Campania: Industria 4.0".
- Carcary, M., Doherty, E., Conway, G.: A dynamic capability approach to digital transformation: a focus on key foundational themes. In: *The European Conference on Information Systems Management, Academic Conferences International Limited*, 20 (2016)
- Chanias, S., Hess, T.: Understanding digital transformation strategy formation: Insights from Europe's automotive industry. In: *PACIS*, p 296 (2016)
- Conway, Richard Walter, William L. Maxwell, and Louis W. Miller. *Theory of scheduling*. Courier Corporation, 2003.
- Crosby, P.: *Quality is free*. McGraw-Hill New York (1996)
- De Carolis, A., Macchi, M., Negri, E., and Terzi, S.: A maturity model for assessing the digital readiness of manufacturing companies. In *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*. Cham: Springer (2017)
- Deming, W.E.: *Out of crisis, centre for advanced engineering study*. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA (1986)
- Erol, S., Schumacher, A., Sihni, W.: Strategic guidance towards industry 4.0{a three-stage process model. In: *International conference on competitive manufacturing*, 9, 495-501 (2016)
- Gallucci, M., & Leone, L. *Modelli statistici per le scienze sociali*. Pearson Education (2012).
- Grilli, Leonardo & Rampichini, Carla. *Ordered Logit Model*. (2014) 10.1007/978-94-007-0753-5\_2023.
- Gujarati, D. N. *Basic econometrics*. Tata McGraw-Hill Education (2009).
- Humphrey, W.S.: *Managing the software process*. Addison-Wesley: Reading M.A. (1989)
- IRPET – Fabbrica 4.0: i processi innovativi nel "multiverso" fisico-digitale-Rapporti e Ricerche (2017)
- Juran, J.M.: *Juran on planning for quality*. Collier MacMillan (1988)
- Kane, G.C., Palmer, D., Nguyen-Phillips, A., Kiron, D., Buckley, N.: Achieving digital maturity. *MIT Sloan Management Review*, 59(1) (2017)
- Kramer, J.S., *The Logit Model for Economists*, Edward Arnold Publishers, London, 1991

- Kulpa, M.K., Johnson, K.A.: Interpreting the CMMI (R): A Process Improvement Approach. Auerbach Publications (2003)
- Leyh, Christian, et al. "SIMMI 4.0-a maturity model for classifying the enterprise-wide it and software landscape focusing on Industry 4.0." *2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*. IEEE, 2016.
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., ... & Schröter, M. IMPULS-industrie 4.0-readiness. *Impuls-Stiftung des VDMA, Aachen-Köln*. (2015)
- Liu, Chung Laung, and James W. Layland. "Scheduling algorithms for multiprogramming in a hard-real-time environment." *Journal of the ACM (JACM)* 20.1 (1973): 46-61.
- Maddala, G.S., Limited-Dependent and Qualitative Variables in Econometrics, Cambridge University Press, 1983
- Neter, J., et al. *Applied linear statistical models*. Vol. 4. Chicago: Irwin, (1996).
- Pinedo, Michael. *Scheduling*. New York: Springer, 2012.
- Pöppelbus, J., Röglinger, M.: What makes a useful maturity model? A framework of general design principles for maturity models and its demonstration in business process management. In: ECIS, (2011)
- Schuh, G., et al. "Industrie 4.0 Maturity Index: Managing the Digital Transformation of Companies; acatech STUDY: Munich." (2017).
- Schumacher A., Erol S., and Sihm W.. "A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises." *Procedia Cirp* 52 (2016): 161-166.
- Wendler, R.: The maturity of maturity model research: A systematic mapping study, *Information and Software Technology*, 54(12), 1317-1339 (2012)
- Zingone, Roberto, and Tommaso Pucci. "Impresa 4.0: siamo pronti alla quarta rivoluzione industriale?" Ed. Towel Publishing S.r.l.s Pisa, ISBN: 9788894901030, (2017)

*Ai fini della stesura del presente rapporto si ringraziano tutti i soggetti partecipanti al Tavolo Regionale "Industria 4.0" per i loro preziosi contributi e suggerimenti*

## 10 APPENDICE

ACATECH  
INDUSTRIE 4.0  
MATURITY INDEX -  
MANAGING THE  
DIGITAL  
TRANSFORMATION  
OF COMPANIES

Stage 1 – INFORMATIZZAZIONE: in questa fase inizia la digitalizzazione dell'impresa attraverso investimenti in tecnologie informative isolate (es: macchina a controllo numerico). Le aziende adottano tecnologie atte a rendere efficienti azioni ripetitive e a raggiungere livelli di accuratezza dei prodotti maggiore. Tuttavia si trovano ancora macchine prive di interfacce digitali e di collegamento con il sistema informativo aziendale.

Stage 2 – CONNETTIVITÀ: in questa fase la tecnologia informatica utilizza e integra componenti ed elementi che consentono la connettività di sistemi e impianti. Le applicazioni aziendali sono interconnesse e rispecchiano il *core business* dell'impresa (es: *Manufacturing Execution System*). Comunque non si è ancora raggiunta la completa integrazione tra il livello di Tecnologia Operativa (OT) ed Informatica (IT).

Stage 3 – VISIBILITÀ: In questa fase si riscontra la presenza di sensori che consentono di acquisire dati da tutti i processi. È possibile cominciare a parlare di "ombra digitale" che consente di raffigurare e monitorare costantemente ciò che accade all'interno dell'azienda. I dati saranno un prezioso supporto per i manager nell'assumere decisioni maggiormente informate.

Stage 4 – TRASPARENZA: in questa fase l'azienda utilizza tecnologie per l'analisi dei dati (es: tecnologie semantiche) finalizzate a comprendere le interazioni presenti tra gli elementi dell'ombra digitale. La manutenzione predittiva è un esempio di attività per cui la trasparenza - ovvero la conoscenza delle relazioni tra eventi ed effetti - è un prerequisito imprescindibile.

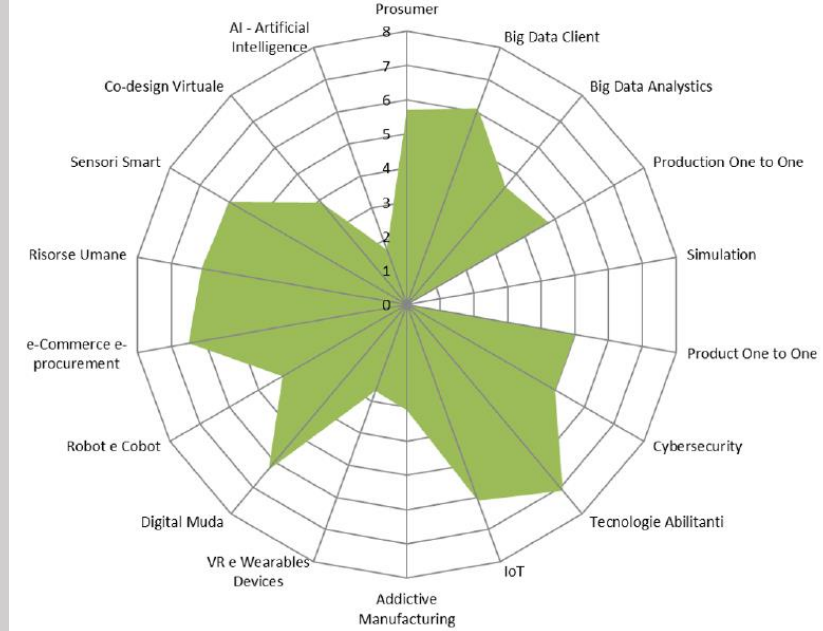
Stage 5 – CAPACITÀ PREDITTIVA: Dopo aver compreso le relazioni tra gli elementi è possibile simulare scenari futuri e individuarne i più probabili. In questa fase le imprese saranno in grado di anticipare gli eventi e implementare misure idonee in tempi utili.

Stage 6 – ADATTABILITÀ: dopo aver previsto gli eventi, l'adattabilità consiste nell'automatizzazione del processo decisionale al fine di adattarsi ai cambiamenti. L'onere di prendere alcune decisioni, nei casi in cui l'intervento umano è sostituibile, viene demandato al sistema IT.

In particolare, i primi due livelli non possono ancora indentificare l'azienda come 4.0, e vengono pertanto indicati come facenti parte del percorso di digitalizzazione. Dal terzo al sesto stage invece si è in ambito 4.0.

## BUSSOLA DIGITALE

Ad ogni risposta al questionario viene associato un punteggio che varia da un minimo di 1 ad un massimo di 10. Alle aziende è restituito un diagramma radar attraverso il quale sono immediatamente disponibili le informazioni di maggiore rilievo aziendale per il grado di digitalizzazione dei 18 ambiti analizzati.



**DELOITTE'S  
DIGITAL  
MATURITY MODEL**

INIZIALE (Initiating): si comincia a parlare di digitalizzazione ma solo in modo superficiale e solo pochi obiettivi cominciano ad essere incorporati in alcune operazioni aziendali

EMERGENTE (Emerging): l'organizzazione comincia ad incorporare gli obiettivi più rilevanti in tutte le operazioni quotidiane

PLANIFICATO (Performing): l'organizzazione ha stabilito un preciso set di obiettivi da raggiungere e, relativamente ad essi, ha elaborato un piano strategico che tutta la società segue ai fini del loro raggiungimento.

INCREMENTALE (Advancing): l'organizzazione è capace di riadattare, espandendoli, il piano strategico e gli obiettivi prefissati, al fine di incorporare altre idee innovative in grado di aumentare ulteriormente le capacità aziendali in determinate aree.

GUIDA (Leading): l'organizzazione è in grado di guidare l'elaborazione di nuove soluzioni in determinate aree d'interesse; promuove dibattiti su specifici topic ed è punto di riferimento per il relativo settore industriale

**DIGITAL  
READINESS  
ASSESSMENT  
MATURITY MODEL  
4.0 - DREAMY 4.0**

Livello 1 - INIZIALE: Il processo è scarsamente controllato o non controllato, la gestione dei processi è reattiva e non ha gli strumenti organizzativi e tecnologici adeguati per costruire un'infrastruttura che consenta la ripetibilità/l'usabilità/l'estensibilità delle soluzioni utilizzate.

Livello 2 - GESTITO: Il processo è parzialmente pianificato e implementato. La gestione dei processi è debole a causa di carenze nell'organizzazione e/o nelle tecnologie abilitanti. Le scelte sono guidate da obiettivi specifici di singoli progetti di integrazione e/o dall'esperienza del progettista, che dimostra una parziale maturità nella gestione dello sviluppo dell'infrastruttura.

Livello 3 - DEFINITO: Il processo è definito grazie alla pianificazione e all'implementazione di buone pratiche e procedure di gestione. La gestione del processo è limitata da alcuni vincoli sulle responsabilità organizzative e/o sulle tecnologie abilitanti. Pertanto, la pianificazione e l'attuazione del processo evidenziano alcune lacune/mancanze di integrazione e interoperabilità nelle applicazioni e nello scambio di informazioni.

Livello 4 - INTEGRATO E INTEROPERABILE: Essendo il processo costruito sull'integrazione e sull'interoperabilità di alcune applicazioni e sullo scambio di informazioni, è completamente pianificato e implementato. L'integrazione e l'interoperabilità sono basate su standard comuni e condivisi all'interno dell'azienda, mutuati da standard de facto intra- e/o cross-industry, in relazione alle migliori pratiche nell'industria in entrambi i campi dell'organizzazione e nelle tecnologie abilitanti.

Livello 5 - ORIENTATO ALLA DIGITALIZZAZIONE: Il processo è orientato al digitale e si basa su una solida infrastruttura tecnologica e su un'organizzazione ad alto

potenziale di crescita, che supporta - attraverso un alto livello di integrazione e interoperabilità - velocità, robustezza e sicurezza nello scambio di informazioni, in collaborazione tra le funzioni aziendali e nel il processo decisionale.

## FORRESTER'S DIGITAL MATURITY MODEL 4.0 E 5.0

Livello 1 – SCETTICI: sono tipicamente aziende B2B, manifatturiere, farmaceutiche e di servizi finanziari e non credono che la perturbazione digitale sia importante per loro. Resistono al cambiamento, vendono in minima parte attraverso i canali digitali e spendono di più rispetto alla pubblicità tradizionale rispetto alla media dello studio.

Livello 2 – ADOTTANTI: sono la categoria di utilizzatori più ampia dello studio ed abbracciano il digitale lentamente. Gli adottanti spendono di più nei programmi di marketing digitale e quasi i tre quarti ritengono che la loro strategia competitiva dipenda dal digitale. Ma gli Adottanti non soddisfano un requisito fondamentale per l'ossessione del cliente: la velocità. Per essere maturi, gli adottanti dovrebbero avvicinarsi al digitale al ritmo dei loro clienti.

Livello 3 – COLLABORATORI: essi sostengono investimenti aggressivi nell'innovazione e nella tecnologia di marketing. I marketers e i team aziendali digitali lavorano bene con i colleghi della gestione tecnica, ma danno ancora la priorità alle prestazioni dei singoli canali rispetto alla creazione di esperienze cliente unificate. Questo, combinato con misurazione e analisi insufficienti, significa che spendono meno giudiziosamente rispetto ai loro coetanei più maturi.

Livello 4 – DIFFERENZIATORI: coerentemente con le scoperte del passato, i differenziatori si orientano pesantemente verso i rivenditori focalizzati online, tanto che quasi la metà dei loro ricavi proviene da canali digitali. Le aziende integrano il loro marketing, l'esperienza con il cliente ed i team di approfondimento per creare esperienze incentrate sul cliente. Tuttavia, i differenziatori non dimostrano ancora le migliori pratiche digitali in modo coerente, ogni volta, in ogni processo.

## MANUFACTURING OPERATIONS MANAGEMENT - MOM

I livelli di maturità sono 6, di cui un livello zero corrispondente alla decisione di non procedere ad alcuna valutazione:

Nessuna valutazione.

Iniziale (Initial): Caratterizzato da caos ed instabilità, questo livello riguarda processi non gestiti formalmente e che, spesso variabili, non sono soggetti a controllo formale. Le organizzazioni afferenti a questo livello tendono a dipendere molto dagli sforzi individuali del personale ai quali, dopotutto, è attribuito largamente il successo dell'azienda. Questa condizione personalizzante rende le aziende maggiormente vulnerabili a shock esogeni nell'eventualità che suddetti individui diventino improvvisamente indisponibili. Non si nota in questa fase il ricorso a software in linea con l'esigenza dell'azienda e, mancando un sistema efficiente di scambio delle informazioni, spesso le attività interne risultano separate le une dalle altre.

Gestita (Managed): Questo stadio è caratterizzato da un aspetto gestionale embrionale, i processi sono ancora lontani da un'integrazione efficiente anche se le qualità professionali individuali sono quanto meno prese in considerazione (tuttavia l'organizzazione sconta ancora una preponderanza delle qualità individuali dei singoli membri nella realizzazione delle attività interne). La presenza di software non è ancora in linea con le esigenze dell'organizzazione ed il personale potrebbe non avere ancora le competenze necessarie al dispiegamento del loro potenziale.

Definita (Defined): Tutte le attività sono definite ed i processi standardizzati (ovvero non variano significativamente tra i vari gruppi dell'organizzazione). La formazione del personale comincia ad avere un ruolo determinante e si nota, di norma, un ricorso più estensivo ai software (es. ERP): risultato, quest'ultimo, raggiunto grazie alla presenza di personale formato ad hoc.

Gestione Quantitativa (Quantitatively Managed). La gestione quantitativa comprende tutte le caratteristiche del livello 3 e, in aggiunta ad esse, i processi sono gestiti ricorrendo a metriche efficaci in grado di monitorare tutti i gruppi interni all'organizzazione. Strumenti specifici quali software (es. ERP) trovano largo impiego all'interno dell'azienda ed è disponibile personale specializzato nel loro impiego; relativamente ad esso, molta importanza è inoltre attribuita alla formazione professionale continua.

Ottimizzata (Optimized). L'organizzazione ha raggiunto ed implementato tutte le caratteristiche del livello 4 e continua a migliorare i suoi processi in modi diversi ed innovativi (ricorrendo ad es. all'introduzione di nuove tecnologie). Relativamente a questo livello è molto usata la statistica e l'analisi dei dati, con l'elaborazione di specifici KPI al

## READINESS MODEL - IMPULS

Il punteggio finale dell'azienda è una media pesata dei 6 fattori chiave, che colloca l'azienda in 6 possibili livelli:

- Level 0 – ESTRANEO (Outsider): una società a questo livello non soddisfa nessuno dei requisiti per Industrie 4.0. Il livello 0 viene assegnato automaticamente anche alle società che hanno indicato Industria 4.0 come sconosciuta o irrilevante per loro.
- Level 1 – PRINCIPIANTE (Beginner): un'azienda di questo livello è coinvolta in Industria 4.0 attraverso iniziative pilota in vari dipartimenti e investimenti riguardanti un'unica area. Solo alcuni dei processi di produzione sono supportati dai sistemi IT, le infrastrutture soddisfano solo parzialmente i requisiti di integrazione e comunicazione. Le abilità necessarie per espandersi in ottica di Industria 4.0 si trovano solo in alcune aree dell'azienda.
- Level 2 – INTERMEDIO (intermediate): una società di livello intermedio incorpora Industria 4.0 nel suo orientamento strategico. Sta sviluppando una strategia per implementare Industria 4.0. Sono stati realizzati investimenti rilevanti per industria 4.0 in alcune aree. La condivisione delle informazioni è integrata nel sistema in una certa misura. In alcune aree, i dipendenti possiedono le competenze necessarie per espandere Industria 4.0.
- Level 3 – PRATICO (Experienced): le compagnie di questo livello hanno formulato una strategia industria 4.0., stanno facendo Industria 4.0. Gli investimenti riguardano più aree al fine di promuovere l'introduzione di Industria 4.0. I sistemi IT in produzione sono collegati tramite interfaccia e supportano i processi di produzione, i dati nelle aree chiave vengono raccolti automaticamente. La società, però, non è ancora integrata con i suoi clienti.
- Level 4 – ESPERTO (Expert): una compagnia esperta sta già utilizzando una strategia Industria 4.0 e la sta monitorando con indicatori appropriati. Gli investimenti vengono fatti in quasi tutte le aree rilevanti. I sistemi IT supportano la maggior parte dei processi di produzione e raccolgono grandi quantità di dati, che vengono usati per l'ottimizzazione. La condivisione delle informazioni sia internamente che con partner commerciali esterni è ampiamente integrata nel sistema. Il pezzo in lavorazione e il prodotto finito dispongono di funzionalità aggiuntive basate su IT che consentono la raccolta di dati e analisi mirate durante la fase di utilizzo.
- Level 5 – TOP PERFORMER: un'azienda a questo livello ha già implementato la sua strategia Industria 4.0 e monitora regolarmente lo stato di implementazione dei progetti. Tutto ciò è supportato dagli investimenti effettuati in tutta l'azienda. La società ha stabilito una gestione dell'innovazione a livello aziendale. Ha implementato il supporto completo del sistema IT nella sua produzione e automaticamente raccoglie tutti i dati rilevanti. L'infrastruttura soddisfa tutti i requisiti per l'integrazione e comunicazione integrata nel sistema. Le informazioni vengono condivise sia internamente che con i soci in affari. Alcune aree di produzione utilizzano già pezzi in lavorazione autonomi e processi che reagiscono autonomamente. I pezzi in lavorazione e i prodotti presentano funzionalità aggiuntive basate sull'IT e i dati raccolti in questo modo nella fase di utilizzo vengono utilizzati per funzioni come lo sviluppo del prodotto. Il produttore è integrato con il cliente. La società ha le competenze interne necessarie in tutte le aree critiche e può andare avanti con Industria 4.0.

Questi 5 livelli vengono poi raggruppati in 3 distinte categorie, affinché si abbia una rappresentazione più compatta dei risultati:

- NUOVI ARRIVATI (Newcomers, Livelli 0 – 1): sono i nuovi arrivati, cioè le aziende che non hanno affatto o solo parzialmente affrontato l'I 4.0
- APPRENDISTI (Learners, Livello 2): come principianti, le società sono definite nel livello 2 e quindi hanno già adottato le prime misure Industry 4.0.
- LEADERS (Livelli 3 – 5): tra i pionieri ci sono le aziende che raggiungono almeno il livello 3 nel modello di prontezza. Sono già in fase avanzata



nell'implementazione di Industry 4.0 e finora sono in vantaggio sulla maggior parte dei concorrenti. Costituiscono il gruppo di riferimento.

Il modello non è costituito da livelli di maturità ma classifica le aziende incrociando le tecnologie utilizzate (colonne) con quelle conosciute (righe), ottenendo diversi cluster:

	# TECNOLOGIE UTILIZZATE		
	Meno di 2	Tra 2 e 4	Maggiore di 4
Meno di 2	RITARDATARI	PRATICONI	
Tra 2 e 4	TEORICI	IN CAMMINO	
Maggiore di 4		FOCALIZZATI	POLIVALENTI
		STELLE	

**RISE E INNEXHUB  
- INNOVATION  
EXPERIENCE HUB**

- **RITARDATARI:** aziende che hanno approfondito al più una tecnologia, senza assegnare ad essa una significativa rilevanza e senza svolgere alcuna azione empirica. Sono le aziende più lontane dalla configurazione 4.0.
- **PRATICONI:** aziende che, pur poco propense allo studio e all'approfondimento delle tecnologie, hanno deciso di lanciare almeno 2 pilota allo scopo di verificare direttamente sul campo la rilevanza. Per tali aziende si riscontra una duplice accezione di "rischio": positiva la componente che permette di "gettare il cuore oltre l'ostacolo" in virtù della richiesta da parte del mercato di "essere veloci", negativa quella che considera l'assenza di approfondimento teorico come la probabile anticamera dell'insuccesso, visto che l'eccessiva fretta potrebbe generare un impiego non ottimale delle tecnologie, quindi risultati al di sotto delle aspettative e il conseguente abbandono delle stesse.
- **TEORICI:** aziende che adottano un approccio rigoroso e strutturato e che svolgono intense e accurate fasi di analisi per comprendere quali delle tecnologie disponibili possano essere impiegate con soddisfazione. Approcciano, quindi, teoricamente tutte (o quasi) le tecnologie disponibili, latitando però nella realizzazione di progetti implementativi.
- **FOCALIZZATI:** aziende che sono certamente già "in cammino" verso il paradigma 4.0. Come i teorici, non disdegnano la teoria, ma la sanno applicare concretamente, almeno all'interno di un sotto-insieme di tecnologie considerate più rilevanti.
- **POLIVALENTI:** queste aziende, "in cammino" come i FOCALIZZATI, hanno elementi di comunanza con i PRATICONI, perché hanno un approccio prevalentemente pratico. Studiano il giusto, poi fanno partire concreti casi pilota, di cui misurano attentamente i benefici. Rispetto ai FOCALIZZATI, sono aziende che hanno deciso di intraprendere progetti su un numero maggiore di tecnologie (>4), tendenzialmente superiore a quelle per le quali è stata svolta una fase di studio teorico.
- **STELLE:** sono le aziende che stanno effettivamente applicando il paradigma 4.0. Applicano in modo pervasivo all'interno dei processi diverse tecnologie digitali, in grado di comunicare e scambiare dati e informazioni per prendere decisioni rapide e consapevoli, gestire in tempo reale cambiamenti improvvisi del contesto, essere flessibili nell'applicare le modifiche necessarie, nonché garantire livelli di efficienza e sostenibilità sufficientemente elevati.

**ROCKWELL  
AUTOMATION -  
CONNECTED  
ENTERPRISE  
MATURITY MODEL**

Il modello non prevede l'uso di livelli di maturità digitale, bensì si compone di 5 fasi analitiche sequenziali

**FASE 1 – Assessment:** la fase di valutazione del modello di maturità di un'azienda connessa analizza tutti gli aspetti della rete OT/IT esistente di un'organizzazione:

- Infrastruttura informatica (hardware e software)
- Controlli e dispositivi (sensori, attuatori, controlli motore, switch ecc.) che inviano e ricevono dati
- Reti che trasmettono tutte queste informazioni
- Criteri di sicurezza (comprensione, organizzazione, applicazione)

**FASE 2 – Rete e controlli sicuri e aggiornati:** dopo aver individuato le lacune e le debolezze della rete OT/IT e dei processi operativi esistenti, lo studio degli aggiornamenti comincia con una visione a lungo termine di come dovranno essere implementate le espansioni degli impianti e le nuove tecnologie. Durante questa fase, l'organizzazione si

trasforma e/o costruisce la sua dorsale OT/IT, che dovrà garantire una connettività adattabile e sicura, dai processi produttivi fino ad arrivare ai sistemi gestionali aziendali.

FASE 3 – Insieme dei dati di lavoro (*WDC, Working Data Capital*) definito e organizzato: i team riuniti per l'aggiornamento OT/IT, definiscono e organizzano i dati di lavoro (WDC), vale a dire tutti i dati disponibili per il miglioramento dei processi aziendali, e stabiliscono come sfruttarli al meglio per ottimizzare la redditività.

FASE 4 – Analisi: l'attenzione si sposta dall'hardware, dai dispositivi, dal software e dalle reti al concetto di miglioramento continuo. A livello operativo, l'analisi che utilizza il WDC identificato aiuta a definire con precisione le informazioni in tempo reale, i destinatari autorizzati delle informazioni che sono in grado di operare sui dati e i protocolli standard che le informazioni attivano, molti dei quali sono proattivi e automatici.

FASE 5 – Collaborazione: creazione di un ambiente in grado di anticipare le attività in tutta l'azienda e all'interno della catena di distribuzione e della domanda. Nell'azienda emergono così capacità predittive che assicurano maggiore efficienza nella pianificazione della produzione e nell'asset management, tempestività e omogeneità nell'evasione degli ordini, migliore qualità e ottimizzazione delle prestazioni tra impianti. Le informazioni in tempo reale consentono di rilevare e immediatamente modificare i processi degli impianti.

#### SIMMI 4.0

Livello 1 – Livello basico di digitalizzazione: la società non ha affrontato l'industria 4.0. I requisiti non sono o sono solo parzialmente soddisfatti.

Livello 2 – Digitalizzazione cross-dipartimentale: la società è attivamente impegnata con argomenti di Industria 4.0. La digitalizzazione è implementata in tutti i reparti; i primi requisiti Industry 4.0 sono implementati nell'azienda.

Livello 3 – Digitalizzazione orizzontale e verticale: l'azienda è digitalizzata orizzontalmente e verticalmente. I requisiti di Industry 4.0 sono stati implementati all'interno dell'azienda e i flussi di informazioni sono stati automatizzati.

Livello 4 – Completa digitalizzazione: l'azienda è completamente digitalizzata anche oltre i confini aziendali e integrata nelle reti di valore. Gli approcci di Industria 4.0 sono attivamente seguiti e ancorati all'interno della strategia aziendale.

Livello 5 – Digitalizzazione completa ottimizzata: l'azienda è una vetrina per le attività di Industria 4.0. Collabora fortemente con i suoi partner commerciali e quindi ottimizza le sue reti di valore.

#### SINGAPORE SMART INDUSTRY READINESS INDEX

Livello 0 – LIVELLO FIELD: i sensori e gli attuatori si interfacciano direttamente con i processi di produzione fisici.

Livello 1 – LIVELLO DI CONTROLLO: macchine e sistemi sono operativi e gestiti. Questo livello include sistemi di controllo come PLC e SDCD.

Livello 2 – LIVELLO DI PRODUZIONE: le linee di prodotto sono monitorate, supervisionate e controllate. Questo livello include sistemi di supervisione come SCADA e PIMS.

Livello 3 – LIVELLO OPERATIVO: la pianificazione della produzione e la gestione della qualità sono gestite da strumenti come Manufacturing Execution Systems (MES).

Livello 4 – LIVELLO DI PIANIFICAZIONE AZIENDALE: la gestione degli ordini e altri processi a livello aziendale sono gestiti da strumenti di pianificazione aziendale. Questo livello include strumenti come gli ERP.

#### UNIONCAMERE

Livello 1 – ESORDIENTE: aziende che utilizzano ancora sistemi tradizionali in operazioni come la gestione e l'archiviazione dei propri dati.

Livello 2 – APPRENDISTI: attività che impiegano unicamente strumenti informatici di base (posta elettronica, suite per l'office automation, etc.).

Livello 3 – SPECIALISTI: le imprese hanno digitalizzato buona parte dei processi e si possono definire già 4.0.

Livello 4 – ESPERTI: le imprese applicano con successo i principi dell'Impresa 4.0.

Livello 5 – CAMPIONI: aziende nativamente digitali o già completamente trasformate dal punto di vista digitale, attività che sono riuscite ad adottare le tecnologie più innovative, le sanno utilizzare in ogni aspetto del workflow e grazie ad esse gestiscono tutte le fasi del proprio business.



Livello 1 – OUTSIDER: l'impresa non sta ancora mettendo in atto nessun progetto relativo a I4.0.

Livello 2 – BEGINNER: l'impresa sta conducendo progetti pilota su I4.0.

Livello 3 – INTERMEDIATE: l'impresa ha cambiato orientamento strategico e sta sviluppando una strategia di I4.0.

Livello 4 – EXPERIENCED: l'impresa ha formulato una sua strategia su I4.0.

Livello 5 – EXPERT: l'impresa sta mettendo in atto una strategia di I4.0 e utilizza indicatori appropriati per il monitoraggio.

Livello 6 – TOP PERFORMER: l'impresa ha già implementato una strategia di I4.0 e monitora costantemente i progetti.