

**Jack C Chaplin • Claudia Pagano**  
**Santi Fort *Editori***

# **Produzione Digitale per PMI**

**Un'introduzione**



*Editori*

Jack C Chaplin  
Institute for Advanced Manufacturing  
University of Nottingham  
Nottingham  
Regno Unito

Claudia Pagano  
Istituto di Sistemi e Tecnologie Industriali  
Intelligenti per il Manifatturiero Avanzato  
Consiglio Nazionale delle Ricerche  
Milano  
Italia

Santi Fort  
Eurecat  
Barcellona  
Spagna



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

“Il supporto della Commissione europea per la produzione di questa pubblicazione non costituisce un'approvazione dei contenuti che riflettono solo le opinioni degli autori e la Commissione non può essere ritenuta responsabile per l'uso che può essere fatto delle informazioni in essa contenute”

ISBN: 978-0-85358-341-7

© Gli Editori (se applicabile) e gli Autori 2020, 2021. Questo libro è pubblicato in modalità accesso aperto.

**Accesso Aperto** L'autore(i) ed il detentore(i) dei diritti relativi ai contributi di tale capitolo garantiscono a tutti gli utilizzatori il diritto d'accesso gratuito, irrevocabile ed universale e l'autorizzazione a riprodurlo, utilizzarlo, distribuirlo, trasmetterlo e mostrarlo pubblicamente e a produrre e distribuire lavori da esso derivati in ogni formato digitale per ogni scopo responsabile, soggetto all'attribuzione autentica della paternità, nonché il diritto di riprodurre una quantità limitata di copie stampate per il proprio uso personale.

Se non diversamente indicato le immagini e il materiale di terze persone inclusi in questo capitolo sono sotto la licenza Creative Common. Il materiale con diritti riservati necessita la richiesta di un permesso per poter essere riprodotto, utilizzato o distribuito.

L'uso di nomi descrittivi generali, nomi registrati, marchi, marchi di servizio, ecc. nella presente pubblicazione non implica, anche in assenza di una dichiarazione specifica, che tali nomi siano esenti dalle leggi e dai regolamenti di protezione pertinenti e quindi gratuiti per uso generale.

Gli autori e gli editori assumono che i consigli e le informazioni contenute in questo libro siano da ritenersi veri e accurati alla data di pubblicazione. Né gli autori né gli editori danno una garanzia, espressa o implicita, rispetto al materiale contenuto nel presente documento o per eventuali errori o omissioni che potrebbero essere stati commessi.

# Prefazione

L'industria manifatturiera sta attualmente attraversando una trasformazione radicale muovendosi sempre più verso la produzione digitale - spesso nota come Industria 4.0, Produzione intelligente e Fabbrica del Futuro. Essa offre alle aziende l'opportunità di sviluppare nuovi prodotti e modi di lavorare riducendo al contempo i costi. Tuttavia, molte persone e organizzazioni, in particolare le PMI, hanno difficoltà ad accedere a informazioni chiare sulla produzione digitale.

Questo libro mira a fornire alle PMI e a altri utenti un'introduzione alla produzione digitale e è stato scritto da membri del consorzio del progetto ERASMUS+ Digit-T: Digital Manufacturing Training System for SMEs (2017-1-UK01-KA202-036807) esperti del settore. I membri del consorzio sono l'Università di Nottingham, l'Istituto di tecnologie e sistemi industriali intelligenti per il manifatturiero avanzato (STIIMA-CNR), EURECAT e AFIL.

Questo libro integra un corso di formazione online gratuito sviluppato dal consorzio Digit-T disponibile sul sito: <https://training.digit-t.eu/>. Questo libro è diviso in 3 parti.

*Parte I: Gestione in Industria 4.0* fornisce una comprensione dei concetti di base, delle tendenze e delle tecnologie chiave che caratterizzano l'Industria 4.0. Inoltre, presenta il processo di roadmapping di supporto all'azienda per la definizione delle priorità e la pianificazione della propria trasformazione digitale. Infine, viene preso in considerazione l'impatto dell'Industria 4.0 nella gestione delle risorse umane, discutendo l'evoluzione e il "buy-in" richiesti nella forza lavoro, sia leader che dipendenti, che è essenziale per un'azienda che vuole passare con successo a una "Smart Factory".

*Parte II: Processi Decisionali per i Sistemi di Produzione* introduce i concetti di analisi e processo decisionale della produzione e li suddivide in processi formali che possono essere seguiti. Inizia introducendo il processo decisionale convenzionale: metodi per analizzare i sistemi e le reti di produzione per calcolare gli indicatori chiave di prestazione e identificare le aree di miglioramento. Vengono poi discussi i limiti di questi metodi prima di passare a descrivere i metodi moderni

per l'analisi dei sistemi di produzione, utilizzando modellazione e simulazione offline e gemelli digitali integrati all'avanguardia e sistemi di supporto alle decisioni.

*Parte III: Robotica intelligente* inizia presentando la robotica in generale, i diversi tipi di robot esistenti e fornendo una semplice introduzione alla terminologia dei robot, alle loro diverse strutture, componenti e applicazioni. Viene quindi considerato l'impatto dell'Industria 4.0 nella robotica e comprende discussioni sui sistemi ciberfisici, robot collaborativi che supportano la collaborazione uomo-robot, la microrobotica e i robot mobili. Infine, viene presentata l'intelligenza artificiale e le questioni etiche associate ai sistemi autonomi.

Questo libro è stato progettato per manager, ingegneri, ricercatori, studenti e chiunque operi o abbia interesse nel settore manifatturiero e che desiderino acquisire una comprensione generale dell'area della produzione digitale e dell'Industria 4.0. Speriamo di aver raggiunto questo obiettivo.

Nottingham, Regno Unito  
Milano, Italia  
Barcellona, Spagna

Jack C Chaplin  
Claudia Pagano  
Santi Fort

# Indice

## **Parte I Gestione in Industria 4.0**

1	Concetti Fondamentali dell'Industria 4.0 .....	5
2	La Strategia Tecnologica .....	29
3	Le Persone al Centro del Paradigma I4.0 .....	65

## **Parte II Manufacturing Systems**

1	Processi Decisionali per i Sistemi di Produzione .....	89
2	Modellazione e Simulazione Digitali di Sistemi di Produzione.....	133
3	Gemelli Digitali e Decisioni Intelligenti .....	165

## **Parte III Robotica Intelligente**

1	Robot Industriali 4.0 .....	205
2	Componenti dei Robot .....	229
3	Industria 4.0 nella Robotica .....	249

# Acronimi

2D	Bidimensionale
3D	Tridimensionale
5S	Seiri (separare), Seiton (tenere in ordine), Seiso (pulire), Seiketsu (standardizzare) e Shitsuke (auto-disciplina) - i 5 principi della strategia delle 5S.
5G	5a generazione di tecnologie wireless alla base delle reti dati cellulari.
6LowPAN	Standard di comunicazione senza fili che prende il nome da "protocollo Internet versione 6 su Reti di area personale senza fili a bassa potenza" ("Internet Protocol version 6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks").
ABB	Asea Brown Boveri, un produttore Svizzero/Svedese di robot industriali e sistemi automatici.
AC	Corrente Alternata
ADKAR	Awareness, Desire, Knowledge, Action, Refinement. (Consapevolezza, Desiderio, Conoscenza, Azione, Rifinitura)
AGV	Automated Guided Vehicle (Veicolo a Guida Automatica)
AHP	Analytical Hierarchy Process (Processo Ierarchico Analitico)
AI	Artificial Intelligence (Intelligenza Artificiale)
AMM	Assemble-Measure-Move (Assemblaggio-Misurazione-Movimento)
AMRC	Centro di Ricerca in Fabbricazione Avanzata
ANN	Artificial Neural Network (Rete Neurale Artificiale)
ANSI	American National Standards Institute (Istituto di Normazione Nazionale Americano)
API	Application Programming Interface
AR	Augmented Reality (Realtà Aumentata)
AS/EN	Aerospace Standard / European Standard (Standard Aerospaziale / Standard Europeo)
ASME	American Society of Mechanical Engineers (Associazione Americana degli Ingegneri Meccanici)
B2C	Business to Consumer

BI	Business Intelligence (Logica di Impresa)
BU	Business Unit (Unità Aziendale)
CAD	Computer Aided Design (Progettazione Assistita da Calcolatore)
CAE	Computer Aided Engineering (Ingegneria Assistita da Computer)
CAN	Controller Area Network (standard di comunicazione per dispositivi inseriti in reti industriali)
CAM	Computer Aided Manufacturing (Produzione Assistita da Calcolatore)
CAPP	Computer Aided Process Planning (Pianificazione di Processo Assistita da Computer)
CAT	Computer Aided Tolerancing (Tolleranza Assistita da Calcolatore)
CD-DSS	Communications Driven Decision Support System (Sistema di Supporto Decisionale Communications-Driven)
CDO	Chief Digital Officer (esponsabile della trasformazione digitale)
CE	Conformità Europea
CEN	Comitato Europeo di Normazione
CENELEC	Comitato Europeo di Normazione Elettrotecnica
CEO	Chief Executive Officer (Amministratore Delegato)
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Plastic (Plastica Rinforzata con Fibra di Carbonio)
CIA	Confidentiality, Integrity and Availability
CL	Center line of a control chart (Linea Centrale di un Diagramma di Controllo)
CMM	Coordinate Measurement Machine (Macchina di Misura a Coordinate)
CMR	Crawler Mobile Robot (Robot Mobile Cingolato)
CNC	Computer Numerical Control (Controllo Numerico Computerizzato)
Cobot	Collaborative Robot (Robot Collaborativo)
CPDMS	Capacitive PolyDiMethylSiloxane (PoliDiMetilSilossano Capacitivo)
CPS	Cyber-Physical System (Sistema Ciberfisico)
CRCPS	Collaborative Robotics Cyber-Physical Systems (Sistemi Ciberfisici di Robotica Collaborativa)
CRM	Customer Relationship Management (Gestione dei Rapporti con la Clientela)
CSV	Valori Separati da Virgola
DAM	Decision Analysis Models (Modelli di Analisi Decisionale)
DBMS	Database Management System (Sistema di Gestione di database)
DD-DSS	Data Driven Decision Support System (Sistema di Supporto Decisionale Basato sui Dati)

DDS	Data Distribution Service (protocollo di comunicazione da macchina a macchina)
DELMIA	Digital Enterprise Lean Manufacturing Interactive Application, piattaforma di programmi per la fabbricazione e produzione digitale della Dassault SystemsDED
DES	Discrete Event Simulation (Simulazione ad Eventi Discreti)
DfA	Design for Assembly (Progettazione per l'Assemblaggio)
DfM	Design for Manufacture (Progettazione per la Fabbricazione)
DIKW	Dati, Informazione, Conoscenza, Saggezza
DIS	Draft International Standard
DMAIC	Define, Measure, Analyse, Improve, Control (Definire, Misurare, Analizzare, Migliorare, Controllare)
DMS	Dedicated Manufacturing System (Sistema di Produzione Dedicato)
DMS	Document Management System (Sistema di Gestione dei Documenti)
Dof	Degree of Freedom (Grado di Libertà)
DSSs	Decision Support Systems (Sistemi di Supporto Decisionale)
EAP	Electroactive polymer (Polimeri Elettroattivi)
EAS	Evolvable Assembly System (Sistema di Assemblaggio in grado di Evolversi)
EASA	European Aviation Safety Agency (Agenzia Europea per la Sicurezza Aerea), l'organo di controllo del settore aeronautico dell'Unione europea
EBITDA	Earnings before Interest, Taxes, Depreciation, and Amortisation (margine operativo lordo, Tasse, Deprezzamento e Ammortamenti).
EDM	Electrical discharge machining (Lavorazione per Elettroerosione)
EMC	Electromagnetic Compatibility (Compatibilità Elettromagnetica)
EN	Rilasciato dal CEN
ERP	Enterprise Resource Planning (Pianificazione delle Risorse Aziendali)
ESB	Enterprise Service Bus
ELT	Extract, Load, Transform (Estrazione, Caricamento, Trasformazione)
EtherCAT	Ethernet for Control Automation Technology
ETL	Estrai, Trasforma, Carica
EU	European Union (Unione europea)
Euro NCAP	European New Car Assessment Programme (programma europeo che definisce i protocolli di valutazione della sicurezza passiva delle automobili nuove)



F-35	Lockheed Martin F-35 Lightning II, un velivolo da combattimento stealth multiruolo. La sigla F-35 ha origine dal sistema statunitense di designazione degli aeromobili delle forze armate e indica un caccia da combattimento indicato con il numero 35.
FDM	Fused Deposition Modelling (Modellazione a deposizione fusa)
FIFO	First in, First out (Primo ad Entrare, Primo ad Uscire)
FMS	Flexible Manufacturing System (Sistema di Produzione Flessibile)
GA	Genetic Algorithm
Gbps	Gigabits al secondo
GDPR	Regolamento generale sulla protezione dei dati
GdL	Gradi di Libertà
GFSI	Global Food Safety Initiative (Iniziativa Globale per la Sicurezza Alimentare)
GMAW	Gas Metal Arc Welding (Saldatura ad Arco con Metallo sotto Protezione di Gas)
GTAW	Gas Tungsten Arc Welding (Saldatura ad Arco con Elettrodo di Tungsteno sotto Protezione di Gas)
HANA	HASO's New Architecture (Nuova Architettura Hasso)
HMI	Human-Machine Interface (Interfaccia Uomo-Macchina)
HRC	Human-Robot Cooperation (Cooperazione Uomo-Robot)
Hz	Hertz
I4.0	Industry 4.0 (Industria 4.0 - Quarta rivoluzione industriale)
IBM	International Business Machines Corporation
ICT	Information and Communications Technology
ICY	Interchangeability (Intercambiabilità)
ID	Identification (Identificativo)
IEC	International Electrotechnical Commission (Commissione Elettromeccanica Internazionale)
IEEE	Istituto di Ingegneri Elettrici ed Elettronici - Institute of Electrical and Electronics Engineers
IFR	International Federation of Robotics (Federazione Internazionale di Robotica)
IIC	Consorzio di Internet Industriale - Industrial Internet Consortiu
IIoT	Industrial Internet of Things (Internet delle Cose Industriali)
IMU	Unità di Misura Inerziale - Inertial Measurement Unit
IoT	Internet of Things (Internet delle Cose)
IP	Protocollo Internet
Ipv6	Internet Protocol versione 6
IP67	Marcatatura internazionale di protezione 67
IR	InfraRed (InfraRosso)
ISO	Organizzazione Internazionale per la Normazione
IT	Information Technologies (Tecnologie dell'Informazione)

JSON	Notazione oggetto JavaScript
JTC	Joint Technical Committee
Kbps	Kilobits al secondo
KD-DSS	Knowledge Driven Decision Support System (Sistema di supporto decisionale Basato sulla Conoscenza)
KNIME	Konstanz Information Miner
KPI	Key Performance Indicator (Indicatori Chiave di Prestazioni)
KUKA	Keller und Knappich Augsburg, a German manufacturer of industrial robots and automation equipment
LAN	Rete di area locale - Local Area Network
LCL	Lower Control Limit (Limite Minimo di Controllo)
LED	Light-Emitting Diode (Diodo a Emissione di Luce)
LIFO	Last In, First Out (Ultimo ad entrare, Primo ad Uscire)
LMR	Legged Mobile Robot (Robot a Zampe)
LMS	Learning Management System (Sistema di Gestione dell'Apprendimento).
LWR	Light Weight Robot (Robot Collaborativo Leggero)
M2M	Machine to machine (da Macchina a Macchina)
MAA	Metrology Assisted Assembly (Assemblaggio Assistito dalla Metrologia)
MADA	Measurement Assisted Determinate Assembly (Assemblaggio Determinato Assistito dalla Misurazione)
MAG	Metal Active Gas (Saldatura ad Arco con Metallo sotto Protezione di Gas Attivo)
MAST	Manufacturing Agent Simulation Tool (Strumento di Simulazione dell'Agente di Produzione)
MAYA project	Multi-disciplinArY integrated simulAtion and forecasting tools, empowered by digital continuity and continuous real-world synchronization, towards reduced time to production and optimization. H2020 Grant Agreement n 678556
MCS	Monte Carlo Simulation (Simulazione Monte Carlo)
MD-DSS	Model Driven Decision Support System (Sistema di Supporto Decisionale Basati sui Modelli)
MEMS	Sistemi micro-elettro meccanici - Micro-electrical-mechanical Systems
MES	Manufacturing Execution System (Sistema di Esecuzione della Produzione)
MESA	Manufacturing Enterprise Solutions Association (Associazione per Soluzioni per le Imprese Manifatturiere)
MHS	Material Handling System (Sistema di Movimentazione dei Materiali)
MIG	Metal Inert Gas (Saldatura ad Arco con Metallo sotto Protezione di Gas Inerte)
ML	Machine Learning

MQTT	MQ Telemetry Transport. (protocollo di comunicazione da macchina a macchina; la sigla "MQ" deriva dalla linea di prodotti MQ di IBM, dove MQTT è stato distribuito per la prima volta)
MTBF	Mean Time Between Failure (Tempo Medio Prima del Fallimento)
NASA	National Aeronautics and Space Administration of the United States of America.
NoSQL	Not Only Structured Query Language
NP	Nondeterministic Polynomial Time (Tempo Polinomiale non Deterministico) - una classificazione formale del tempo necessario per la risoluzione di un problema. Per problema NP si intende qualsiasi problema per il quale è possibile verificare rapidamente la correttezza di una risposta, ma scoprire la risposta in primo luogo richiede moltissimo tempo. NP-Hard è un'espressione relativa alla complessità computazionale che si riferisce a qualunque cosa che abbia almeno lo stesso grado di difficoltà di un problema NP.
OCR	Optical Character Recognition (Riconoscimento ottico dei Caratteri)
OEE	Overall Equipment Effectiveness (Efficacia Totale di un Impianto)
OPC UA	Open Platform Communications - Unified Architecture (protocollo di comunicazione da macchina a macchina)
OT	Operational Technologies (Tecnologie Operative)
PAM	Pneumatic Air Muscles (Muscoli Pneumatici Artificiali)
PCA	Analisi dei Componenti Principali
PCDA	Plan, Do, Check, Act (Pianificare, Fare, Controllare, Agire)
PD	Proporzionale Derivativo
PDA	Personal Digital Assistant (Assistente Digitale Personale)
PESTLE	Political, Economic, Technologic, Legal And Environmental Analysis
PI	Proporzionale Integrale
PID	Proporzionale Integrale Derivativo
PL	Performance Level (Livello di Prestazione)
PLC	Programmable Logic Controller (Controllore Logico Programmabile)
PLM	Product Lifecycle Management (Gestione del Ciclo di Vita del Prodotto)
PM	Project Management;
PMI	Piccole e Medie Imprese
PN	Petri Nets (Reti di Petri)
Profibus	PROcess FIEld BUS (standard di reti di computer industriali)
PROFINET	PROcess FIEld NET (standard di reti di computer industriali)

PSO	Particle Swarm Optimisation (Ottimizzazione con Sciame di Particelle)
PZT	Lead zirconate titanate (titanato zirconato di piombo)
QN	Queueing Network (Rete di Code)
R&D	Research and Development (Ricerca e Sviluppo - R&S)
RCC	Remote Center of Compliance (Centro di Cedevolezza a Distanza)
RFID	Radio Frequency Identification (Identificazione a Radiofrequenza).
RIA	Robotic Industries Association (Associazione delle Industrie Robotiche) (USA)
RL-DSS	Reciprocal Learning-Based Decision Support System (Sistema di Supporto Decisionale basato sull'Apprendimento Reciproco)
RMS	Reconfigurable Manufacturing System (Sistema di Produzione Riconfigurabile)
ROCE	Return on Capital Employed Ratio (Tasso di Rendimento del Capitale Investito)
RoHS	Restriction of Hazardous Substances (normativa che impone restrizioni sull'uso di determinate sostanze pericolose nella costruzione di apparecchiature elettriche ed elettroniche)
ROI	Return On Investment (Ritorno Dell'investimento)
ROS	Robot Operating System
S3	Servizio di archiviazione semplice
SA	Simulated Annealing (Ricottura Simulata)
SaaS	Software come servizio. Modello di gestione delle licenze e distribuzione del software in cui il software è concesso in licenza in abbonamento ed è ospitato centralmente
SAP	Systems, Applications and Products (Sistemi, Applicazioni e Prodotti)
SAW	Submerged Arc Welding (Saldatura ad Arco Sommerso)
SC	Subcommittee
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition (Sistema di Monitoraggio e Raccolta dei Dati)
SCARA	Selective Compliance Assembly Robot Arm
SCM	Supply Chain Management (Gestione della Catena di Distribuzione)
SD	System Dynamics (Dinamica di Sistema)
SDK	Software Development Kit (Kit di Sviluppo Software)
SEM	Search Engine Marketing (Marketing per i Motori di Ricerca)
SEO	Search Engine Optimization (Ottimizzazione dei Motori di Ricerca)
SMA	Shape-memory alloy (Leghe a Memoria di Forma)
SMAC	Social, Mobile, Analytics and Cloud (Sociale, Mobile, Analitico E Cloud).

SME	Small and Medium size Enterprise (PMI - Piccola e Media Impresa)
SPC	Statistical Process Control (Controllo Statistico del Processo)
SQC	Statistical Quality Control (Controllo Statistico della Qualità)
SQL	linguaggio Query strutturato
SRP/CSs	Safety Related Parts of Control Systems (Parti dei Sistemi di Controllo Relative alla Sicurezza)
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats analysis (Analisi dei punti di Forza, punti Deboli, Opportunità e Minacce).
TC	Technical Committee
TCP	Tool Centre Point (Punto centrale dell'Utensile)
TIG	Tungsten Inert Gas welding (Saldatura ad Arco con Elettrodo infusibile (di Tungsteno))
TQM	Total Quality Management (Gestione della Qualità Totale)
TR	Technical Report (Relazione tecnica)
TS	Technical Specification (Specifiche tecniche)
UE	Unione europea
UCL	Upper Control Limit (Limite Massimo di Controllo)
UNI	Ente Italiano di Normazione
UX/UI	User Experience/User Interface (Esperienza Utente/Interfaccia Utente)
VR	Virtual Reality (Realtà Virtuale)
WIP	Work in Progress
WMR	Wheeled Mobile Robot (Robot Mobile a Ruote)
WPPF	Whole-Part Predictive Fetting (Rifilatura Predittiva dei Pezzi considerandoli come Un'unica Parte)
WSN	Rete di Sensori senza fili - Wireless Sensor Network
XML	Linguaggio di Mark-up extensible



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



“Il supporto della Commissione europea per la produzione di questa pubblicazione non costituisce un'approvazione dei contenuti che riflettono solo le opinioni degli autori e la Commissione non può essere ritenuta responsabile per l'uso che può essere fatto delle informazioni in essa contenute”

Digital Manufacturing Training System for SMEs (Digit-T)  
Project ref: 2017-1-UK01-KA202-036807