



**UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE**

**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

---

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Gestionale

**IL MODELLO DI RIFERIMENTO RAMI 4.0 PER LE SMART FACTORIES**

---

THE RAMI 4.0 REFERENCE MODEL FOR SMART FACTORIES

Relatore: Chiar.mo

**Prof. Maurizio Bevilacqua**

Tesi di Laurea di:

**Matteo Pio Urbano**

**A.A. 2019 / 2020**



# Indice

<b>Introduzione</b> .....	<b>1</b>
<b>Industria 4.0</b> .....	<b>2</b>
1.1 Cenni Storici .....	2
1.2 I 9 Pilastri di Industria 4.0 .....	3
1.3 Benefici attesi.....	5
1.4 Smart Factory .....	6
<b>RAMI 4.0</b> .....	<b>7</b>
2.1 Architetture e Modelli di riferimento.....	7
2.2 Asset.....	8
2.3 Le tre dimensioni del Modello RAMI 4.0.....	10
2.3.1 Layers .....	11
2.3.2 Life Cycle e Flusso di Valore .....	13
2.3.3 Hierarchy Levels .....	14
<b>IL RAMI 4.0 E UN ALTRO MODELLO DI RIFERIMENTO: L'IMSA</b> .....	<b>17</b>
3.1 IMSA .....	17
3.2 Confronto tra RAMI 4.0 e IMSA .....	19
<b>Esempi di applicazione del Modello RAMI 4.0</b> .....	<b>23</b>
4.1 Sviluppo di applicazioni orientate al cliente .....	23
4.2 Progettazione di una piattaforma intelligente di saldatura .....	26
<b>Conclusione</b> .....	<b>28</b>
<b>Bibliografia</b> .....	<b>29</b>
<b>Sitografia</b> .....	<b>30</b>



# Introduzione

Le rivoluzioni nel settore manifatturiero hanno storicamente influenzato radicalmente la società, fornendo prodotti e tecnologie diventati di uso comune e che oggi consideriamo indispensabili. Tuttavia questo processo di adozione di nuove tecnologie non si è sempre rivelato semplice, anche all'interno dell'industria stessa. È per questo che fin dalla nascita della quarta rivoluzione industriale, denominata Industria 4.0, ci si è posto il problema della creazione di un modello di riferimento che accompagni le industrie verso la transizione digitale.

L'obiettivo di questa tesi è quello di esaminare e comprendere il RAMI 4.0, il più importante modello di riferimento in ambito europeo, e capire come la standardizzazione da esso proposta potrà essere utile nella creazione di Smart Factories conformi al paradigma di Industria 4.0.

# Capitolo 1

## Industria 4.0

*In questo capitolo verrà introdotto il paradigma di Industria 4.0 nei suoi aspetti fondamentali, ne verranno elencati le tecnologie abilitanti e i benefici ad esso associati. Verrà inoltre definita l'idea di Smart Factory, concetto molto importante all'interno di Industria 4.0*

### 1.1 Cenni Storici

Nella storia della produzione industriale si fa di solito riferimento a tre grandi rivoluzioni: la prima, avvenuta in Inghilterra nella seconda metà del '700, è associata all'invenzione delle prime macchine a vapore utilizzate nel settore metallurgico e tessile; la seconda, collocata a fine '800, è caratterizzata dall'avvento della produzione di massa attraverso l'utilizzo dell'elettricità e dei motori a scoppio; la terza invece è collegata alla nascita dei sistemi informatici durante gli anni '70, che hanno reso possibile la creazione di sistemi produttivi automatizzati.

La quarta rivoluzione industriale, denominata Industria 4.0, nasce in Germania nel 2011. Questo termine è stato utilizzato per la prima volta durante l'annuale Fiera di Hannover, mentre l'anno successivo un gruppo di lavoro formato da importanti enti industriali ed accademici tedeschi presentava al governo federale un piano per la sua implementazione.

Anche in Italia il tema di Industria 4.0 risulta essere di strettissima attualità, in quanto nel settembre 2016 il governo ha presentato il *Piano Nazionale Industria 4.0*, all'interno della Legge di Bilancio del 2017. Il documento proponeva una serie di incentivi fiscali con l'obiettivo di incanalare le aziende italiane verso la rivoluzione digitale, e di investire nella formazione per creare figure professionali adatte a guidare questa innovazione. (Magnani 2017)

## 1.2 I 9 Pilastri di Industria 4.0

Secondo il MISE Industria 4.0 prevede l'utilizzo di macchine intelligenti, interconnesse e collegate ad internet attraverso la connessione tra sistemi fisici e digitali, analisi complesse attraverso Big Data e adattamenti real-time (MISE 2017). In particolare nel *Piano nazionale Industria 4.0* vengono individuate 9 tecnologie abilitanti che definiscono il concetto di Industria 4.0, mostrate in *fig.1*:



*fig.1*

- *Advanced Manufacturing Solutions*: robot collaborativi interconnessi e rapidamente programmabili. A differenza dei robot utilizzati nei sistemi precedenti hanno una maggiore possibilità di interagire tra di loro e con gli operatori, sono più versatili e meno costosi;
- *Additive Manufacturing*: stampanti in 3D connesse a software di sviluppo digitali. La stampa in 3D non viene utilizzata solo per prototipi e piccole componenti, ma anche per produrre piccoli lotti di prodotti personalizzati. La stampa in 3D decentralizzata permette inoltre un notevole risparmio sui costi di trasporto e stoccaggio;

- *Augmented Reality*: realtà aumentata a supporto dei processi produttivi. La realtà aumentata fornisce agli operatori un potenziamento della percezione sensoriale, migliorando i processi decisionali e le procedure tecniche;
- *Simulation*: simulazione tra macchine interconnesse per ottimizzare i processi; questo tipo di simulazione è già utilizzata nella fase di progettazione, ma Industria 4.0 estende il loro impiego anche alla fase di produzione. Le simulazioni permettono infatti di testare le impostazioni della macchina nel mondo virtuale, riducendo i tempi di setup e aumentando la qualità;
- *Horizontal/Vertical Integration*: Integrazione e scambio continuo di informazioni sia lungo la catena del valore, dal fornitore al consumatore, che all'interno dell'azienda stessa. I reparti, le funzioni aziendali, fornitori e clienti risultano essere strettamente collegati;
- *Industrial Internet of Things*: comunicazione multidirezionale tra processi produttivi e prodotti, attraverso l'utilizzo dell'embedded computing (microprocessori progettati appositamente per un determinato utilizzo). Questi dispositivi così collegati possono comunicare e interagire tra loro e con sistemi di controllo centralizzati.
- *Cloud*: utilizzo di sistemi aperti per la gestione di grosse quantità di dati. L'utilizzo dei cloud è imprescindibile nell'ambito della comunicazione e condivisione dei dati tra le aziende. Anche i sistemi di controllo e monitoraggio dei processi produttivi possono essere basati su cloud;
- *Cybersecurity*: sicurezza durante le operazioni in rete e su sistemi aperti. Con l'aumento della connettività la necessità di proteggere i sistemi industriali critici e le linee di produzione dalle minacce alla sicurezza informatica aumenta esponenzialmente. Diventano quindi fondamentali la protezione dei dati e un'attenta gestione delle identità virtuali;
- *Big Data and Analytics*: ottimizzazione dei prodotti e processi produttivi attraverso la raccolta e l'analisi di un grande numero di dati. I dati raccolti provengono da numerose fonti, dai sistemi produttivi a quelli di gestione



aziendale, e rappresentano una risorsa estremamente importante nel supporto alle decisioni in tempo reale. (MISE 2017), (BCG 2015)

### **1.3 Benefici attesi**

Diversi sono i benefici attesi con l'implementazione di un sistema produttivo basato sui principi dell'Industria 4.0.

Tra questi abbiamo un aumento della flessibilità, ovvero la possibilità di utilizzare macchinari compatibili con la produzione di prodotti diversi e che permettano alla linea produttiva di adattarsi alle variazioni della domanda.

Questo risultato è ottenibile anche grazie ad un aumento sostanziale della velocità di sviluppo del prodotto, che viene progettato, collaudato, prodotto e immesso sul mercato con tempi molto più stretti.

Altro importante vantaggio collegato all'Industria 4.0 è l'incremento della produttività degli impianti: attraverso la diminuzione del lead time del prodotto, ovvero il tempo che la linea produttiva impiega a soddisfare la richiesta del cliente, e del tempo di manutenzione è infatti possibile massimizzare il rendimento dell'impianto.

La manutenzione in particolare è passata dall'essere effettuata solo nel caso di guasti ai macchinari (manutenzione correttiva), all'essere programmata in base alle esigenze specifiche delle singole attrezzature (manutenzione preventiva): con l'utilizzo di modelli matematici che elaborando i dati raccolti da specifici sensori è possibile conoscere il tempo residuo prima del guasto ed effettuare di conseguenza la manutenzione.

Ovviamente anche il prodotto finale è soggetto ad un aumento della qualità finale e in generale il livello di difettosità subisce una notevole diminuzione; come risultato finale il prodotto risulta più appetibile al consumatore e di conseguenza più competitivo sul mercato. (BCG 2015)

## 1.4 Smart Factory

Il concetto di Industria 4.0 è legato a doppio filo a quello di *smart factory*, un'azienda in cui le tecnologie abilitanti sopraelencate sono integrate nel flusso produttivo e permettono di individuare tre grandi aree di interesse:

- Smart production: un tipo di produzione in cui le nuove tecnologie creano collaborazione tra tutti gli elementi dell'azienda;
- Smart services: tutte le attrezzature informatiche che permettono di creare comunicazione sia con il mondo esterno sia all'interno all'azienda stessa;
- Smart energy: la tendenza, dettata anche dalle normative, ad un contenimento degli sprechi e alla creazione di sistemi più performanti.

Nell'ambito di Industria 4.0, la digitalizzazione influenza tutte le parti del ciclo di vita di un prodotto, creando una connessione costante tra progettazione e fabbricazione del prodotto con la fase di utilizzo da parte del cliente, traendo informazioni significative che vengono poi applicate allo sviluppo del prodotto successivo.

L'utilizzo di un sistema di produzione basato sui dettami dell'Industria 4.0 richiede una maggiore integrazione di tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT) nel modello di business. (Mourtzis, Gargallise e Zogopoulos 2019)

Come già accennato in precedenza, la digitalizzazione della produzione permette all'azienda di analizzare i dati di produzione e di gestione di materiale e informazioni, creando una rete di connessioni con partner e clienti che fornisce dati importanti e rende il sistema adattabile a diversi input esterni.

## Capitolo 2

# RAMI 4.0

*In questo capitolo saranno formalizzati i concetti di architettura e modello di riferimento; in seguito verrà definito il modello RAMI 4.0 e il concetto fondamentale di Asset. Infine saranno analizzati singolarmente i tre assi che compongono il modello.*

### 2.1 Architetture e Modelli di riferimento

Il problema dell'integrazione delle nuove tecnologie e della loro descrizione formale all'interno dell'impresa viene risolto con l'introduzione di architetture e modelli di riferimento, che servono come base per la comprensione e l'espansione dei modelli esistenti. Essi sono costituite da un insieme di linee guida e regole che hanno lo scopo di strutturare, organizzare e classificare i contenuti tecnici, in modo da renderne più facile la manipolazione.

I modelli di riferimento e le architetture di riferimento sono infatti soluzioni modello astratte per la progettazione di sistemi in un dominio specifico (in questo caso quello di Industria 4.0). Essi definiscono l'infrastruttura, nonché le competenze e le procedure necessarie per l'implementazione del rispettivo sistema produttivo. Inoltre, possono contenere euristiche per determinare i costi di sviluppo, le tempistiche e i rischi, basandosi su esperienze precedenti. La differenza tra un'architettura di riferimento e un modello di riferimento è la stessa che esiste tra un'architettura e un modello. Mentre l'architettura di riferimento fornisce una soluzione modello generica, il modello di riferimento costituisce la sua configurazione specifica per l'organizzazione. (Bondel 2016)

Tra i più importanti modelli di riferimento per l'architettura troviamo il RAMI 4.0 (*Reference Architectural Model Industry 4.0*), sviluppato in Germania e presentato nel 2016, nella norma DIN SPEC 91345:2016, che si pone come obiettivo la standardizzazione e la semplificazione nello sviluppo dei sistemi produttivi di Industria 4.0.

Il RAMI 4.0 rappresenta un'evoluzione dello *Smart Grid Architecture Model (SGAM)*, un modello sviluppato per la gestione e lo sviluppo delle reti di informazione e distribuzione della rete elettriche, e lo applica alle *Smart Factories* nell'ambito di Industria 4.0. Esso nasce dalla necessità di sapere quali parti dell'azienda siano compatibili e complementari per quanto riguarda le loro caratteristiche, e quali di queste debbano essere sviluppate per garantire la miglior performance aziendale.

La principale sfida nello sviluppo di un sistema produttivo Industria 4.0 sta infatti nell'amalgamare tra di loro elementi appartenenti al mondo fisico con elementi digitali, e facendo questo poter scambiare informazioni con tutti gli elementi interni ed esterni all'azienda. Il processo di standardizzazione e normalizzazione risulta quindi fondamentale a questo fine, ed è il motivo della nascita di RAMI 4.0 e altri modelli di riferimento. Il modello si sviluppa in tre dimensioni, ognuna delle quali fa riferimento ad un aspetto fondamentale nella gestione di una *Smart Factory*.

## **2.2 Asset**

L'intera architettura si basa sul concetto di asset, ovvero qualunque elemento che può fornire un valore all'azienda. Per diventare parte attiva in un processo basato su Industria 4.0 ogni asset deve essere rappresentato dal suo duale digitale: le fasi di questo "traduzione digitale" sono visualizzate nella *fig.2* nella pagina seguente.

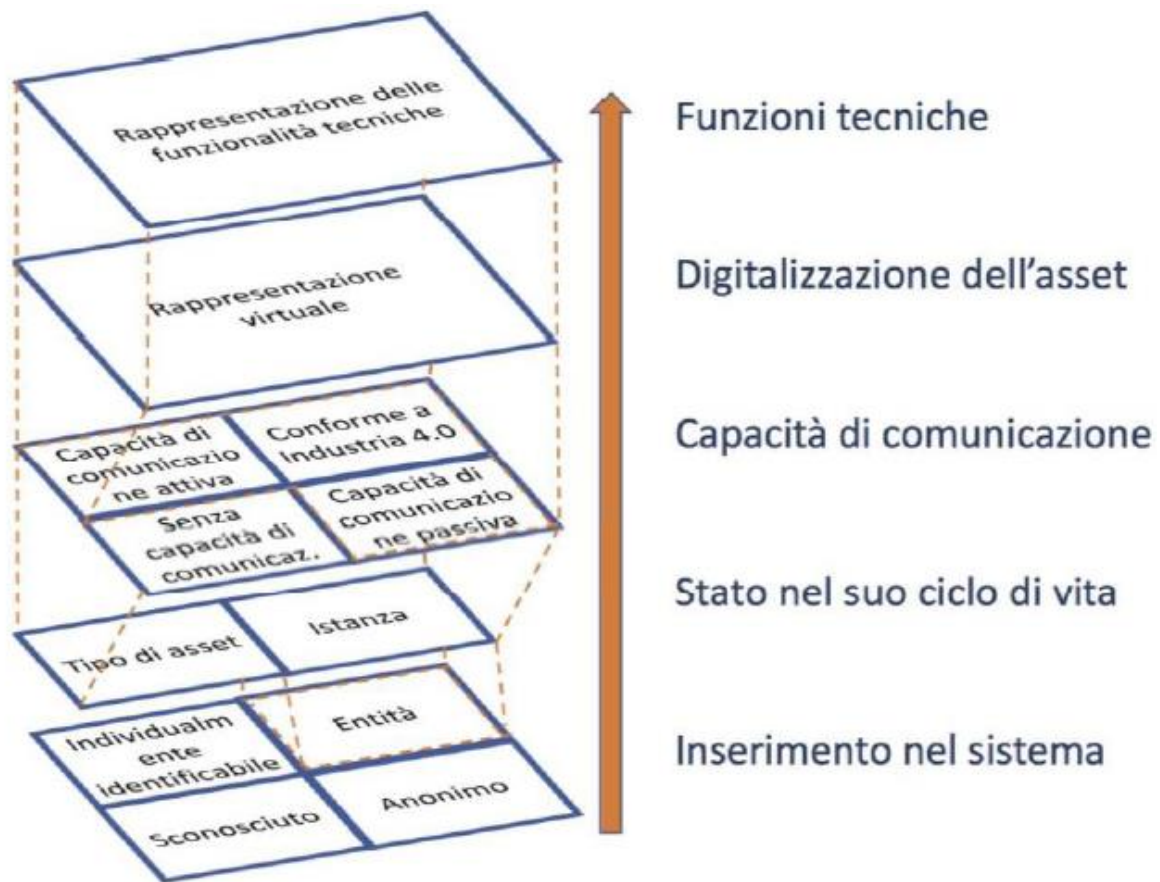


fig.2

Un asset può assumere diverse denominazioni nel sistema informativo; in particolare esso può essere:

- Sconosciuto: non è stato identificato;
- Anonimo: è stato identificato come appartenente ad un gruppo, ma non singolarmente;
- Individualmente identificabile: è identificabile singolarmente sulla base di specifiche informazioni ad esso riferite;
- Entità: è identificato singolarmente e integra oggetti che a loro volta potrebbero essere presi in considerazione singolarmente. Un'entità è in grado di acquisire dati e può essere gestita all'interno di un ambiente virtuale.

Se un asset è definito entità il suo processo di digitalizzazione può continuare attraverso l'analisi dello stato nel suo ciclo di vita, ovvero l'estrapolazione di

informazioni sulla tipologia dell'asset (caratteristiche, utilizzo e stato) oppure su una sua istanza; quest'ultima fornisce specifiche informazioni su ogni asset digitalizzato. Gli asset sono in seguito catalogati in base alla loro capacità di comunicazione, ovvero se sono in grado di fornire informazioni oltre alle loro normali funzioni. In particolare un asset può avere capacità di comunicazione nulla, passiva o attiva. Nel caso in cui l'asset abbia capacità di comunicazione ad unità hardware e software, esso viene detto "conforme a Industry 4.0".

Ovviamente la capacità di comunicazione risulta una caratteristica fondamentale nel processo di digitalizzazione dell'asset, che non può procedere nel caso essa non sia presente.

L'ultimo livello è quello in cui un asset nel mondo virtuale viene rappresentato attraverso le sue effettive funzionalità tecniche. Quindi l'asset, per essere conforme al RAMI 4.0, deve contenere una parte software e hardware ed inoltre tutte le componenti dell'asset devono essere identificate ed amministrare singolarmente nel sistema informativo attraverso una codifica con capacità di comunicazione.

Il modello fornisce quindi delle specifiche da soddisfare per conformarsi ad uno standard di Industria 4.0, facendo leva in particolare sulla digitalizzazione degli asset e sulla corretta gestione dei loro duali digitali. Questi ultimi sono fondamentali nello sviluppo di soluzioni per *smart factories* conformi al paradigma di Industria 4.0. (Cervelli 2017)

### **2.3 Le tre dimensioni del Modello RAMI 4.0**

Le 3 dimensioni proposte nel modello descrivono il campo di azione nel quale opera l'Industria 4.0: come nel modello SGAM i piani orizzontali rappresentano altrettanti aspetti della gestione aziendale. Gli altri due assi invece fanno riferimento al ciclo di vita del prodotto e alle gerarchie aziendali. Una rappresentazione grafica del modello RAMI 4.0 è data in *fig.3* nella pagina seguente.

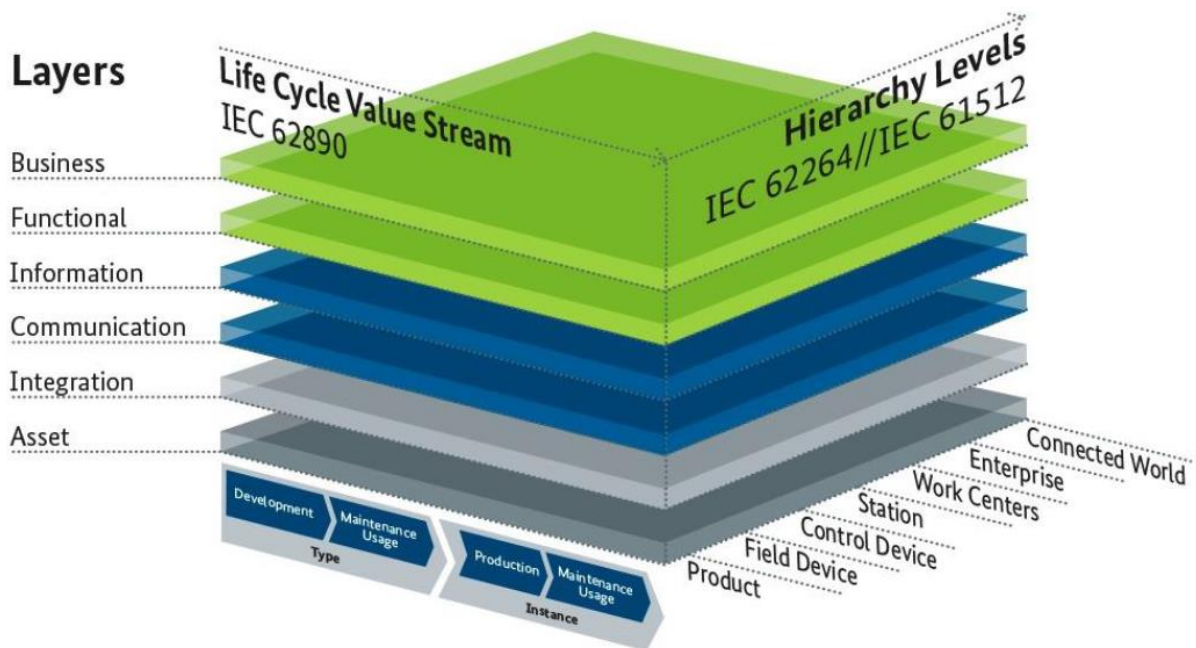


fig.3

### 2.3.1 Layers

Il modello pone nell'asse verticale i cosiddetti layers che raggruppano ognuno le diverse prospettive da considerare nella gestione di un sistema basato su Industria 4.0. (fig.4)



fig.4

- Il *Business layer*, oltre a gestire gli aspetti legali e le regole da rispettare, collega i diversi processi aziendali con i modelli di business. In questo livello vengono dunque analizzati i dati e le informazioni provenienti dai livelli sottostanti e vengono impiegate per prendere decisioni vitali per l'azienda.
- Il *Function layer* descrive formalmente le varie funzioni aziendali e la realizzazione dell'integrazione orizzontale tra di esse; formalizza inoltre l'ambiente di sviluppo delle decisioni a supporto della produzione. L'accesso remoto alle informazioni avviene solo in questo livello per garantire la loro integrità, anche se a fini di manutenzione esso può avvenire anche nell'Asset layer o nell'Integration Layer. Questo tipo di accesso risulta comunque essere temporaneo e non rilevante ai fini dell'integrazione orizzontale.
- L'*information layer* si occupa della regolamentazione delle operazioni di preprocessing degli eventi, ovvero della ricezione e rielaborazione di dati utili al Function Layer. Assicura inoltre l'integrità e l'integrazione di tali dati. In questo livello sono contenuti quindi tutti i dati associati ad un asset e la loro posizione.
- Il *Communication layer* definisce il formato dei dati e stabilisce i meccanismi di comunicazione e fornisce i sistemi di gestione e controllo dell'Integration Layer. Questo livello si occupa quindi dello scambio di informazioni tra i vari componenti di un sistema Industria 4.0.
- L'*Integration layer* riguarda l'integrazione degli asset e ne formalizza le informazioni, in modo che esse siano gestibili automaticamente. Stabilisce inoltre le modalità di controllo del processo tecnico-operativo. Esso rappresenta una sorta di collegamento tra il mondo fisico e quello digitale.
- L'*Asset layer* rappresenta il mondo fisico, comprendendo i macchinari, le merci, il personale, i documenti e tutti gli elementi che compongono l'impresa. In questo livello troviamo quindi tutti i componenti che devono essere riflessi nei quattro livelli superiori. (MISE 2018)



### 2.3.2 Life Cycle e Flusso di Valore



fig.5

L'asse orizzontale sinistro (fig.5) rappresenta il ciclo di vita del prodotto e il flusso di valore collegato ad esso. Questo asse viene utilizzato per rappresentare il prodotto in tutte le sue fasi, quali sviluppo, produzione, uso e dismissione. L'acquisizione continua di dati lungo tutto il ciclo di vita del prodotto è uno degli aspetti fondanti di Industria 4.0, e rende possibile la corretta formalizzazione di questo asse dell'architettura di riferimento.

Per l'analisi del ciclo di vita del prodotto il RAMI 4.0 fa riferimento alla norma IEC 62890 che analizza il tipo di prodotto e la durata della sua istanza.

Il modello divide infatti il ciclo di vita del prodotto in due fasi separate: quella in cui esso è considerato Type, ovvero una tipologia di prodotto, e quella in cui diviene una Instance, ovvero una particolare istanza del tipo di prodotto.

Durante la fase Type, che a sua volta viene suddivisa in Sviluppo e Uso e Manutenzione, vengono prese in considerazione tutte le operazioni legate alla nascita di un prodotto. Si parla quindi di emissione degli ordini di progettazione, dello sviluppo, dei test e della produzione del primo prototipo. Alla fine di questa fase il tipo di prodotto viene approvato per la produzione in serie.

In seguito il prodotto entra nella fase di Instance: un'istanza rappresenta un prodotto fabbricato sulla base di un tipo generale, ed è identificabile in genere con un numero di serie. Sono le istanze ad essere pubblicizzate e vendute al consumatore. Dal punto di vista di quest'ultimo il prodotto all'acquisto è un tipo, e diviene istanza quando è inserito in un sistema: questo accade ad esempio in contesti di vendita tra imprese, in cui un macchinario diventa un'istanza solo una volta installato nella linea produttiva.

Il feedback del consumatore è una risorsa molto importante, in quanto possibili miglioramenti che vengono segnalati possono portare a modifiche al tipo del prodotto. Il cliente diventa quindi parte attiva del processo produttivo e come succede per le singole istanze anche i tipi di prodotto diventano soggetti ad uso e aggiornamento. (Marcon, Sajdl, Vesely e Zezulka 2016)

Basandosi sulle considerazioni fatte in precedenza il ciclo di vita del prodotto risulta essere un valore aggiunto per l'impresa, e non solamente uno dei dati a disposizione del controllo e della pianificazione della produzione. Questo avviene principalmente grazie alla grande connessione che avviene tra i vari flussi di dati inerenti alle varie funzioni aziendali.

In una produzione digitalizzata infatti il flusso del valore permette di collegare tra loro aree di solito indipendenti, come la logistica, gli ordini di acquisto, la manutenzione e così via. In quest'ottica il ciclo di vita diventa un valore aggiunto non solo per la singola azienda, ma anche e soprattutto per il collettivo delle varie aziende e di tutte le parti coinvolte, dai fornitori ai clienti. (Standardization Council Industrie 4.0 2018)

### **2.3.3 Hierarchy Levels**

L'asse orizzontale destro rappresenta la posizione delle funzioni e delle relative responsabilità all'interno del sistema aziendale, basandosi sulle norme IEC 62264 e IEC 61512 e ampliandone la visione. Come indicato dai vecchi modelli in uso nell'ambito dell'Industria 3.0 la gerarchia aziendale seguiva un modello piramidale basato sull'hardware, in cui la comunicazione avveniva seguendo i vari livelli della piramide e il prodotto risultava isolato. (*fig. 6*)

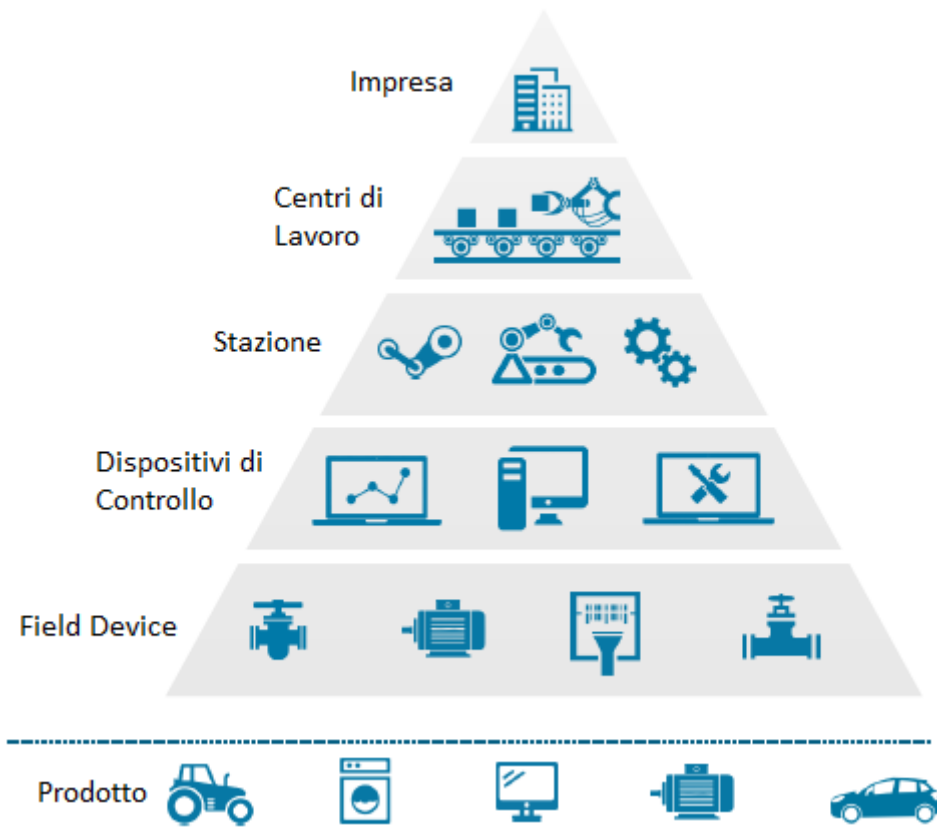


fig.6

RAMI 4.0 propone invece un sistema gerarchico in cui tutte le componenti sono tra di loro collegate, le funzioni aziendali sono distribuite su tutta la rete, incluso il prodotto finale. (fig.7) (Schweichhart 2018)

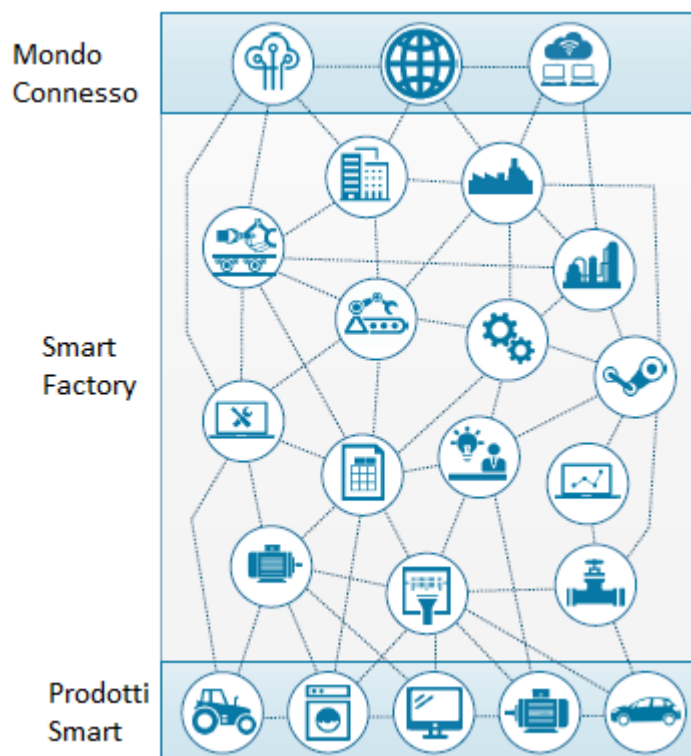


fig.7

Come specificato dalle norme sopracitate anche il RAMI 4.0 cita come livelli gerarchici *Enterprise, Work Centers, Station e Control Device* e a questi aggiunge altri tre livelli, in modo da garantire uno scenario completo e coerente che rifletta tutti i diversi tipi di impresa 4.0. Inoltre il modello RAMI 4.0 fa un passo avanti rispetto queste norme aggiungendo alla gerarchia anche il mondo esterno.

Tra i tre livelli aggiuntivi infatti troviamo il *Connected World*, che descrive la connessione tra una o più imprese con altre realtà agenti nello loro stesso settore, come altre imprese, enti e consumatori. Altro livello aggiunto è quello del *Field Device* che aggiunge al già citato *Control Device* maggiori informazioni riguardo ai dispositivi associati alle specifiche macchine o sistemi.

Ultimo livello inserito è quello del *Product* che, come già spiegato in precedenza, ricopre un ruolo fondamentale nello sviluppo del sistema produttivo Industria 4.0. Il modello permette quindi un'analisi omogenea del prodotto da fabbricare e della produzione ad esso collegata.

## Capitolo 3

# IL RAMI 4.0 E UN ALTRO MODELLO DI RIFERIMENTO: L'IMSA

*In questo capitolo verrà introdotto brevemente un altro modello di riferimento formalizzato nell'ambito di Industria 4.0, il modello IMSA. Verrà inoltre effettuato un confronto con il modello RAMI 4.0, in modo da evidenziare punti in comune e differenze.*

### 3.1 IMSA

Il paradigma di Industria 4.0 risulta essere relativamente giovane, e la necessità di creare un modello di riferimento è sorta in vari ambiti produttivi e accademici. La Cina, essendo tra le nazioni leader nel settore industriale, ha proposto un suo modello di architettura di riferimento, l'*Intelligent Manufacturing System Architecture* (IMSA). Anche l'IMSA propone un modello tridimensionale, i cui assi corrispondono a tre aspetti diversi nella gestione dell'impresa. In particolare essi si riferiscono al Lifecycle (Ciclo di Vita), alla System Hierarchy (Gerarchia del Sistema) e alle Intelligent Functions (Funzioni Intelligenti).

L'asse del Ciclo di Vita fa riferimento ad una serie di attività relative al prodotto che hanno come obiettivo la creazione di valore aggiunto. Le attività individuate sono progettazione, produzione, logistica, vendita e servizi.

- L'attività di progettazione fa riferimento al processo in cui la costruzione, simulazione, verifica, ottimizzazione del prodotto sono effettuate secondo le richieste da parte dell'impresa e i vincoli della tecnologia selezionata;
- La produzione consiste nel processo attraverso il quale le merci sono effettivamente create;

- La logistica si riferisce al processo attraverso il quale le merci sono trasportate e gestite all'interno dei magazzini e dei centri produttivi;
- La vendita corrisponde all'attività commerciale in cui i prodotti o le merci sono trasferite dall'impresa ai clienti;
- L'attività di servizio comprende una serie di attività ed i risultati da loro generati durante la comunicazione tra i fornitori di servizi e i clienti.

L'asse delle Gerarchie del Sistema si occupa della divisione gerarchica dell'impresa relativamente alle attività produttive; esso include i livelli gerarchici delle apparecchiature, del controllo, del workshop, dell'impresa e della cooperazione.

- Nel livello delle apparecchiature vengono analizzati tutti i dispositivi fisici utilizzati dall'impresa per realizzare, rilevare e controllare il processo fisico;
- Nella gerarchia di controllo sono comprese i device adoperati per ottenere informazioni sulla lavorazione in fabbrica e per monitorare e controllare i processi fisici;
- Il livello del workshop fa riferimento alle attività di gestione della produzione;
- Il livello della gerarchia aziendale comprende le attività finalizzate ad una corretta gestione aziendale;
- Il livello della gerarchia della cooperazione è utilizzato per strutturare il processo di interconnessione e condivisione delle informazioni interne e informazioni esterne da parte dell'impresa.

L'asse delle Funzioni Intelligenti si occupa di quelle funzioni sviluppate sulla base delle tecnologie di comunicazione di nuova generazione, e hanno come obiettivo l'auto-apprendimento, l'auto-decisione, l'auto-esecuzione e l'auto-adattamento delle attrezzature. Tra queste funzioni distinguiamo le risorse, l'integrazione del sistema, l'interconnessione, la fusione delle informazioni e i nuovi modelli di business.

- Il livello della risorsa fa riferimento allo sviluppo di un processo digitale durante il processo produttivo attraverso strumenti e apparecchiature dell'impresa;
- L'integrazione del sistema si riferisce all'integrazione delle apparecchiature intelligenti nel sistema digitale;
- L'interconnessione si occupa del collegamento di apparecchiature, macchinari e sistemi di controllo utilizzando reti di comunicazione;
- La fusione delle informazioni ha come obiettivo la condivisione delle informazioni attraverso cloud, big data e tecnologie di nuova generazione. Questo livello include anche le tecnologie che garantiscono la sicurezza dei dati;
- I nuovi modelli di business vengono formalizzati dopo aver raggiunto l'integrazione della catena del valore tra le varie imprese interconnesse.

In sostanza il modello IMSA considera come requisiti chiave nell' *Intelligent Manufacturing* il raggiungimento dell'integrazione verticale tra le varie gerarchie, dell'integrazione orizzontale tra le funzioni aziendali e dell'integrazione end-to-end all'interno del ciclo di vita del prodotto. (Standardization Council Industrie 4.0 2018)

### **3.2 Confronto tra RAMI 4.0 e IMSA**

Come già accennato in precedenza i due modelli proposti in Germania e Cina hanno importanti somiglianze, a partire dalla tridimensionalità. Tra il maggio 2015 e il novembre 2016 è stato istituito *Sino-German Industrie 4.0/Intelligent Manufacturing Standardisation Sub-Working Group*, che aveva come obiettivo il riconoscimento reciproco di RAMI 4.0 e IMSA, in modo da evidenziare punti in comune e differenze.

Il primo parallelismo riguarda l'asse del Life Cycle e del Value Stream su RAMI 4.0 e quello del Lifecycle su IMSA: entrambi promuovono lo sviluppo di prototipi

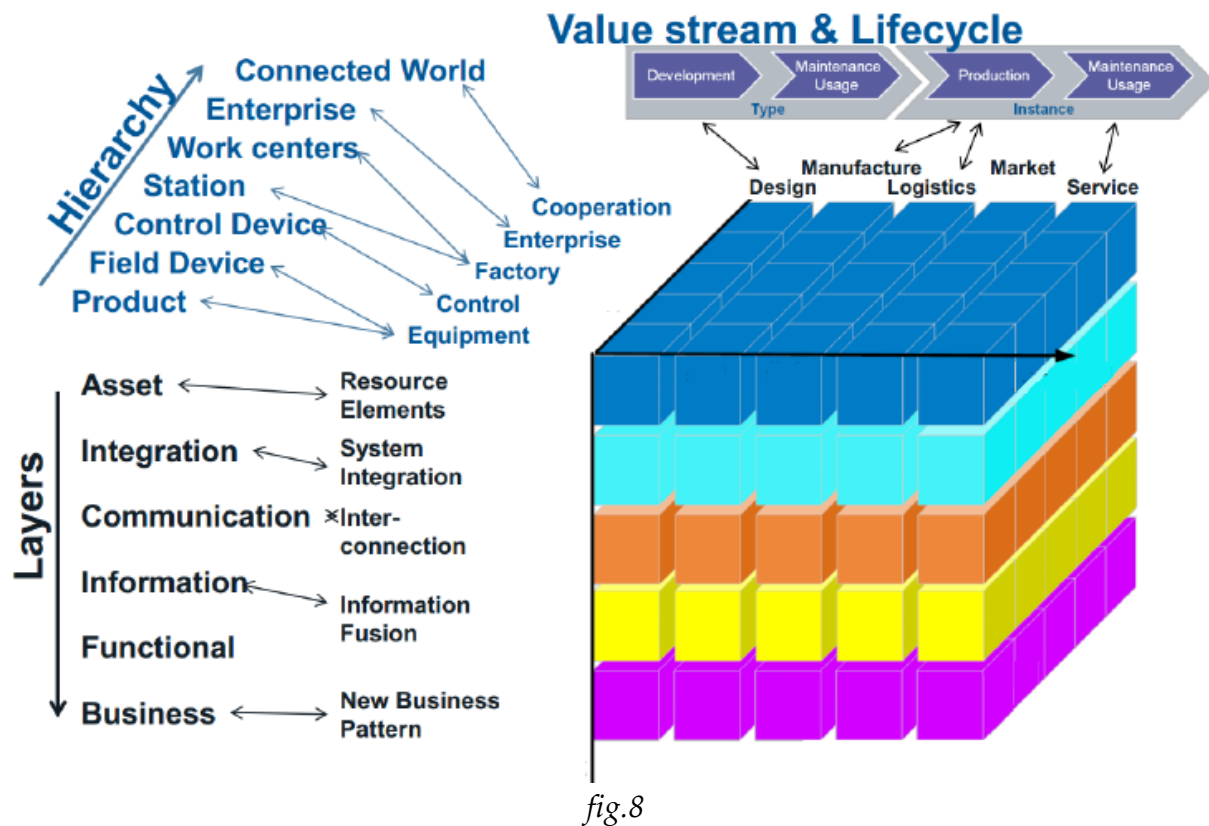
flessibili, che si adattino ai feedback ricevuti dai prodotti finiti già in uso. In particolare l'intera fase del Tipo in RAMI 4.0 corrisponde alla fase di progettazione in IMSA, la fase di produzione dell'Istanza in RAMI 4.0 è assimilabile alle attività di produzione e logistica in IMSA, mentre le fasi di Utilizzo e Manutenzione dell'Istanza in RAMI 4.0 corrispondono alla fase di servizio di IMSA. La fase di marketing su IMSA non viene invece analizzata in RAMI 4.0

Per quanto riguarda i livelli gerarchici dell'impresa entrambi i modelli si basano sulla struttura delle attività produttive proposta dalla norma IEC 62264, integrandola con l'interconnessione dell'azienda con il mondo esterno tipica di Industria 4.0. In particolare il livello gerarchico del Prodotto e del Field Device in RAMI 4.0 corrispondono a quello delle Apparecchiature di IMSA. In questi livelli l'attrezzatura adibita alla produzione è considerata anche un prodotto dal fornitore. La gerarchia del Dispositivo di Controllo in RAMI 4.0 corrisponde a quella di Controllo di IMSA, mentre il livello della Stazione e del Centro di Lavoro in RAMI 4.0 a quella del Workshop in IMSA. Infine il livello dell'Impresa in RAMI 4.0 è assimilabile a quello dell'Azienda di IMSA, mentre il livello del Mondo Connesso di RAMI 4.0 è simile a quello della cooperazione in IMSA.

Parlando invece le dimensioni dei Layers e delle Funzioni Intelligenti in entrambi i modelli vengono prese in considerazione le influenze e i miglioramenti della produzione dal punto di vista informatico, ponendo al centro dell'attenzione l'importanza dell'integrazione digitale degli elementi fisici della produzione. Gli Asset di RAMI 4.0 corrispondono alle Risorse in IMSA; la fase di Integrazione è presente in entrambi i modelli; la Comunicazione di RAMI 4.0 è assimilabile all'Interconnessione di IMSA; l'Informazione di RAMI 4.0 corrisponde alla Fusione delle Informazioni di IMSA; infine il livello Funzionale e quello di Business corrispondono a quello dei Nuovi Modelli di Business su IMSA. (Standardization Council Industrie 4.0 2018)



Una rappresentazione grafica delle similarità tra i due modelli è data nella *fig.8*.



In conclusione entrambi i modelli condividono l'idea della centralità del ciclo di vita del prodotto, della struttura generale delle fabbriche e dell'automazione delle attrezzature nell'ambito di Industria 4.0. Sia l'IMSA che il RAMI effettuano una divisione generale ma molto netta delle fasi del ciclo di vita del prodotto, dando risalto ad ognuno di esse. Attraverso il livello gerarchico del Mondo Connesso sia i prodotti forniti che quelli prodotti assumono un ruolo fondamentale nel miglioramento della produzione, attraverso l'integrazione operata con l'utilizzo dell'Industrial Internet of Things.

Una differenza tra i due modelli è il confine che si pone tra mondo reale e virtuale: nel RAMI il mondo reale è rappresentato solo dall'Asset layer, in quanto nell'Integration layer il mondo reale viene già adattato in modo da rendere le sue caratteristiche siano conformi agli standard di Industria 4.0; nell'IMSA invece

possiamo considerare l'Integration layer come parti virtuali che si occupano di gestire risorse reali, come ad esempio dei sistemi di controllo.

Aldilà di alcune piccole differenze quindi entrambi i modelli propongono architetture di riferimento estremamente sovrapponibili, ed il lavoro effettuato nel raggiungimento di un reciproco riconoscimento porterà enormi benefici nel futuro sviluppo di aziende conformi agli standard di Industria 4.0.

## Capitolo 4

# Esempi di applicazione del Modello RAMI 4.0

*In questo capitolo saranno riportati due esempi di progetti in cui il modello RAMI 4.0 è utilizzato nella pratica. Entrambi i casi studio sono stati pubblicati sulla rivista *Procedia Manufacturing*, rispettivamente da gruppi di lavoro dell'Università di Patras (Grecia) e dell'Università di Ulsan (Corea del Sud).*

### 4.1 Sviluppo di applicazioni orientate al cliente

Il primo caso studio riportato è tratto dall'articolo del 2019 *“Modelling of Customer Oriented Applications in Product Lifecycle using RAMI 4.0”* (Gargallis, Mourtzis, e Zogopoulos 2019) presentato nell'ambito dell'*International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production*. L'articolo, oltre ad introdurre brevemente gli aspetti base di Industria 4.0 e di RAMI 4.0, presenta un utilizzo pratico di quest'ultimo riguardante la produzione di frigoriferi smart.

Il modello è applicato nel quadro di un Progetto Europeo per l'industria degli elettrodomestici bianchi, che ha come obiettivo il recupero e l'utilizzo dei feedback del cliente all'interno delle prime fasi di progettazione e di produzione. La creazione di uno stretto legame tra produttore e cliente è, come già detto in precedenza, uno degli aspetti fondanti di RAMI 4.0.

Gli strumenti utilizzati in questo progetto sono quelli tipici dell'Industria 4.0, come la Realtà Aumentata, che consentono di ottenere prodotti personalizzati in base al mercato locale, di creare una rete efficiente di fornitori a supporto delle attività produttive, e di ottenere il feedback di utilizzo dai clienti.

Nelle fasi iniziali del progetto i clienti sono coinvolti attraverso un'applicazione di configurazione del prodotto. Il loro feedback influenza sia la progettazione di alcune componenti del prodotto che vengono adattate alle loro richieste, sia la produzione, perché i clienti di un particolare mercato hanno preferenze per componenti specifiche. Nel modello RAMI 4.0 questa fase è collocata all'interno della gerarchia del prodotto, coprendo tutte le fasi del ciclo di vita e i layers. Il flusso di informazioni in questa fase è effettuato dal basso verso l'alto all'interno di essi. (fig.9)

I dati raccolti nella prima fase sono inseriti in un database, che permette di memorizzarli, analizzarli e creare informazioni utili al selezionamento delle componenti del prodotto più adatte. Il ciclo di vita del prodotto è quindi nuovamente analizzato in toto: le informazioni vengono movimentate attraverso i livelli gerarchici aziendali all'interno dei Communication e Information layer. (fig.10)

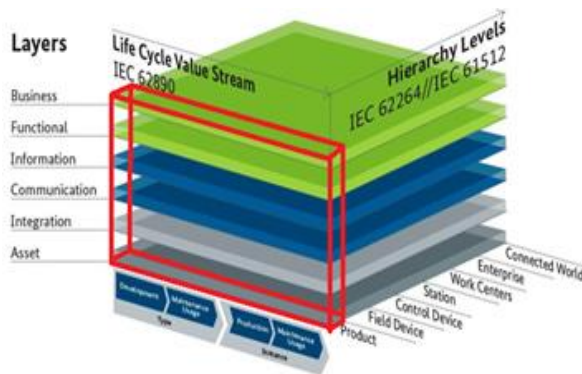


fig.9

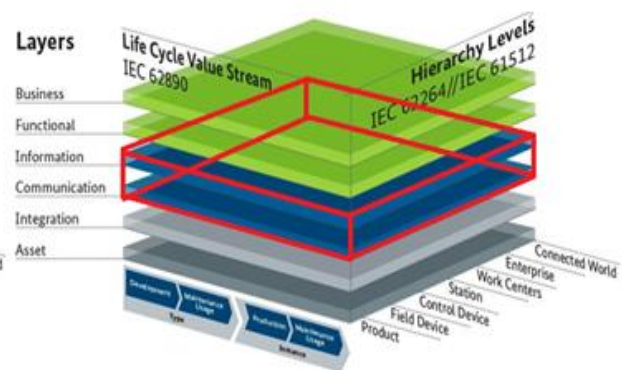


fig.10

Nella terza fase le informazioni sono trasmesse ai software di supporto alle decisioni ai livelli gerarchici più alti, in modo da coordinare l'azienda e i fornitori influenzando gli asset. Una volta definito quindi il Tipo di prodotto l'impresa scambia dati con il Connected World (rappresentato in questo caso dalla rete di fornitori) sulle componenti necessarie e i prodotti da realizzare. Il ciclo di vita del prodotto è quindi considerato solo nella fase di produzione dell'Istanza.

Il flusso di informazioni segue quindi il percorso inverso rispetto alle fasi iniziali dal Business layer all'Asset Layer. (fig.11)

Dopo il lancio del prodotto sul mercato è possibile fornire ai clienti un'applicazione per smartphone che permette di inviare feedback sul prodotto e sulle sue componenti attraverso l'uso della Realtà Aumentata. Il feedback è memorizzato nel database aziendale all'interno dei Communication e Information layer, ed è utilizzato per collegare le fasi di utilizzo dell'Istanza del prodotto con quelle di sviluppo di nuovi Tipi di prodotto all'interno del Ciclo di vita. Il livello gerarchico coinvolto è ancora quello del Prodotto. (fig.12)

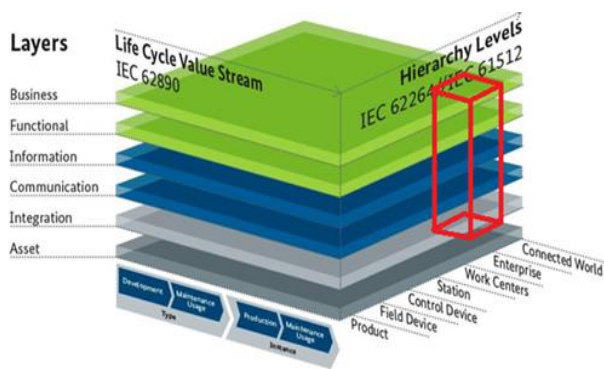


fig.11

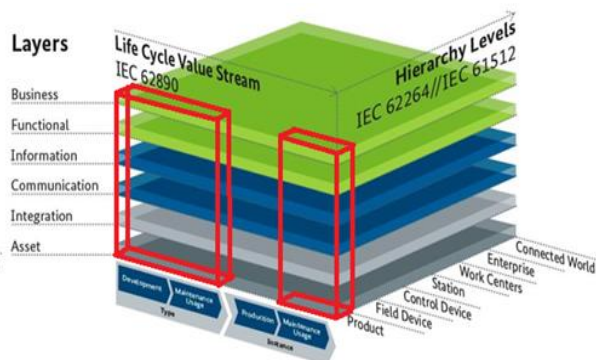


fig.12

All'interno del progetto RAMI 4.0 è stato utilizzato come mezzo di supporto all'integrazione degli strumenti adoperati nei modelli di business, perché facilita la comunicazione tra le parti coinvolte nel processo produttivo e tra gli elementi tecnologici e umani. Esso fornisce un mezzo di comunicazione comprensibile che consente un maggiore coinvolgimento dei tecnici industriali, e permette loro di contribuire allo sviluppo di nuove soluzioni produttive. Il pacchetto software creato nell'ambito del progetto è risultato facilmente collegabile a quelli preesistenti, e potrà essere utilizzato anche da altre aziende interessate agli sviluppi di Industria 4.0. ((Gargallis, Mourtzis, e Zogopoulos 2019)

## **4.2 Progettazione di una piattaforma intelligente di saldatura**

Il secondo caso studio riportato è tratto dall'articolo del 2019 "*Modelling a Platform for Smart Manufacturing System*" (Hong-Seok e Ayu Febriani 2019) presentato all'interno della *29th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*. L'articolo, dopo aver introdotto gli aspetti principali della Smart Manufacturing e di RAMI 4.0, propone la progettazione di un sistema di saldatura intelligente per un'azienda che produce marmitte. Il progetto prevede l'utilizzo delle tecnologie abilitanti di Industria 4.0, in modo da sviluppare macchinari intelligenti che operano autonomamente e comunicano con il sistema produttivo attraverso l'Internet of Things. L'obiettivo finale è quello di aumentare la capacità e la flessibilità del sistema produttivo, attraverso il monitoraggio in tempo reale delle macchine e lo scambio di dati e informazioni con i sistemi di controllo.

Il RAMI 4.0 è applicato nella costruzione della stazione e nell'implementazione della rete di cloud computing che ne permette la comunicazione.

La definizione dei task della stazione di saldatura avviene durante la fase di Produzione dell'Istanza all'interno del Ciclo di Vita del prodotto, in quanto la definizione del Tipo di prodotto è già avvenuta e la produzione può essere avviata.

I layers aziendali vengono considerati tutti (ad eccezione del Business Layer), in quanto per propiziare il corretto funzionamento della stazione intelligente, essa deve essere correttamente rappresentata nel Mondo Digitale e deve poter fornire ai database aziendali dati che devono essere integrati ed utilizzati nei processi decisionali all'interno del Functional layer.

I livelli gerarchici aziendali considerati sono tre: quella della Station, del Control Device e del Field Device. All'interno della gerarchia del Field Device sono definiti i compiti dei sensori e dei collettori di dati assegnati alla stazione: i dati raccolti vengono trasformati e convertiti in informazioni elaborabili sui sistemi informatici. All'interno della gerarchia del Control Device sono presenti i dispositivi industriali di controllo automatico della stazione, mentre in quella della Station vengono

visualizzati i dati del processo di saldatura e viene effettuata la gestione delle varie unità di stazioni di saldatura robotizzate. (fig.13)

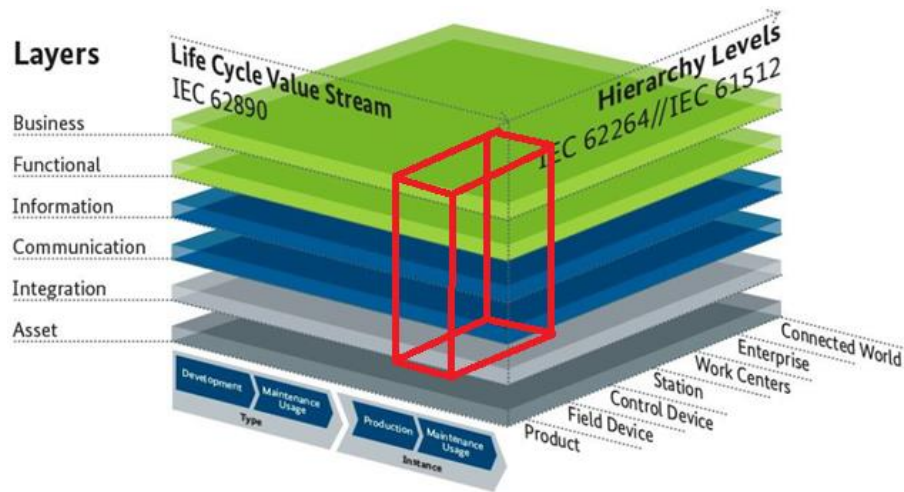


fig.13

In conclusione questo progetto, basandosi sulla standardizzazione proposta da RAMI 4.0, contribuisce alla creazione di un sistema di saldatura intelligente. Esso non si basa solo sullo sviluppo della tecnologia, ma si occupa anche della sua gestione e del suo controllo. A differenza del caso studio precedente questo progetto non prende in considerazione il prodotto in sé, ma fornisce comunque un valido esempio di come il modello RAMI 4.0 supporti lo sviluppo di sistemi smart che integrano le tecnologie abilitanti di Industria 4.0. (Hong-Seok e Febriani 2019)

# Conclusione

All'interno di questa tesi è stato definito il concetto di Industria 4.0, quali sono le tecnologie abilitanti a esso associate e quali sono i benefici del suo utilizzo; in seguito sono state introdotte le Smart Factories, che rappresentano l'applicazione pratica di quelli che sono i principi cardine di Industria 4.0: fabbriche flessibili e intelligenti, dove la collaborazione tra uomo e macchina trova la sua migliore espressione. È stata successivamente fornita un'analisi del modello RAMI 4.0 e della sua composizione tridimensionale, soffermandosi sull'esame di ognuno dei tre assi che compongono il modello. Esso ha come obiettivo principale la creazione di uno standard comune nel campo di applicazione del paradigma di Industria 4.0, in modo da fornire una grammatica di base che permetta la comunicazione tra tutti gli elementi che lo compongono. Il modello fornisce inoltre una valida base di sviluppo sul quale fare affidamento nella creazione di una fabbrica smart. Infine è stato effettuato un confronto con il modello di riferimento cinese IMSA, e sono stati riportati due casi pratici di applicazione del modello RAMI 4.0.

Dato il suo vasto campo di applicazione e la sua grande adattabilità potrebbe essere interessante in futuro effettuare un progetto per lo sviluppo di una linea produttiva totalmente basata su RAMI 4.0, creando così un'isola di produzione interamente conforme ai principi di Industria 4.0, e che permetterebbe di esprimerne al meglio le potenzialità. Essendo la rivoluzione ancora in atto il modello avrà un ruolo sempre più importante nei prossimi anni, e molte aziende si troveranno a doverlo comprendere ed utilizzare al meglio.



# Bibliografia

Cervelli G., Fantoni G., Mocenni C., Pira S., Pucci T., Trivelli L., Zingone R. 2017. *“IMPRESA 4.0: SIAMO PRONTI ALLA QUARTA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE?”*: 24-27.

Febriani R. A., Hong-Seok P., 2019. *“Modelling a Platform for Smart Manufacturing System”*. *Procedia Manufacturing* 38: 1660–1667.

Gargallis A., Mourtzis D., Zogopoulos V. 2019. *“Modelling of Customer Oriented Applications in Product Lifecycle using RAMI 4.0”*. *Procedia Manufacturing* 28: 31–36.

Marcon P., Sajdl O., Vesely I., Zezulka F. 2016. *“Industry 4.0- An Introduction in the phenomenon”*. *IFAC-PapersOnLine* 49-25:8–12.

Ministero dello Sviluppo Economico. 2017. *“Piano Nazionale Industria 4.0”*.

Ministero dello Sviluppo Economico. 2018. *“The Structure of the Administration Shell: Trilateral perspectives from France, Italy and Germany”*:52-53.

Schweichhart K. 2018. *“Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0), An Introduction”*. *Plattform Industrie 4.0*.

Standardization Council Industrie 4.0. 2018. *“Alignment Report for Reference Architectural Model for Industrie 4.0/ Intelligent Manufacturing System Architecture”*: 3-12.

# Sitografia

[agendadigitale.eu/industry-4-0/industry-4-0-tutti-gli-standard-e-i-modelli-di-riferimento/](http://agendadigitale.eu/industry-4-0/industry-4-0-tutti-gli-standard-e-i-modelli-di-riferimento/)

[bcg.com/it-it/publications/2015/engineered\\_products\\_project\\_business\\_industry\\_4\\_future\\_production\\_activity\\_growth\\_manufacturing\\_industries](http://bcg.com/it-it/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_production_activity_growth_manufacturing_industries)

[ceimagazine.ceinorme.it/ceifocus/il-background-tecnologico-e-normativo-di-industria-4-0/](http://ceimagazine.ceinorme.it/ceifocus/il-background-tecnologico-e-normativo-di-industria-4-0/)

[eam-initiative.org/pages/i8thg5fbkdr3/EA-Reference-Model-Reference-Architecture](http://eam-initiative.org/pages/i8thg5fbkdr3/EA-Reference-Model-Reference-Architecture)

[economyup.it/innovazione/cos-e-l-industria-4-0-e-perche-e-importante-saperla-affrontare/](http://economyup.it/innovazione/cos-e-l-industria-4-0-e-perche-e-importante-saperla-affrontare/)

[ilsole24ore.com/art/perche-si-parla-tanto-industria-4-0-che-cos-e-e-quanti-lavori-puo-creare-AEZYmnlC](http://ilsole24ore.com/art/perche-si-parla-tanto-industria-4-0-che-cos-e-e-quanti-lavori-puo-creare-AEZYmnlC)

[ilsole24ore.com/art/il-viaggio-industria-4-0-passa-trasformazione-digitale-perche-e-importante-saperla-affrontare-ACLFIF3](http://ilsole24ore.com/art/il-viaggio-industria-4-0-passa-trasformazione-digitale-perche-e-importante-saperla-affrontare-ACLFIF3)

[it.wikipedia.org/wiki/Industria\\_4.0](http://it.wikipedia.org/wiki/Industria_4.0)