



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Gestionale

**TECNOLOGIE AVANZATE PER LA GESTIONE DI LINEE DI
PRODUZIONE**

**ADVANCED TECHNOLOGIES FOR THE MANAGEMENT OF
PRODUCTION LINES**

Relatore: Chiar.mo

Prof. Maurizio Bevilacqua

Tesi di Laurea di:

Lulzim Kazazi

A.A. 2023 / 2024

Sommario

1	Industria 4.0	7
1.1	Evoluzione dell'Industria 4.0	7
1.2	Digitalizzazione dei Processi Produttivi	9
1.3	Ruolo dell'Intelligenza Artificiale nella Produzione	10
2.	Internet of Things (IoT)	11
2.1	Definizione e Storia dell'IoT	11
2.2	Storia dell'IoT	12
2.3	Funzionamento dell'IoT	13
2.4	Applicazioni dell'IoT in Vari Settori	16
2.5	Conclusioni	20
3.	Fondamenti di Intelligenza Artificiale	21
3.1	Definizione e Principi Generali dell'Intelligenza Artificiale	21
3.2	Breve Storia dell'Intelligenza Artificiale	21
3.3	Tipi di Intelligenza Artificiale	23
3.3.1	IA Debole Base e Avanzata: Un Approfondimento	24
3.4	Apprendimento Automatico (Machine Learning)	25
3.5	Apprendimento Profondo (Deep Learning)	26
3.6	Reti Neurali Artificiali	27
3.7	Applicazioni dell'IA nelle Industrie Produttive	28
4.0	Manutenzione predittiva	31
4.1	Cenni storici sulla manutenzione industriale	31
4.2	Introduzione Manutenzione Industriale Odierna:	32
4.3	Tipi di manutenzione	34
4.2.1	Manutenzione Correttiva	36

4.2.2	Manutenzione preventiva	36
4.2.3	Manutenzione Migliorativa	39
4.3	L'evoluzione della manutenzione industriale	41
4.3.1	Manutenzione predittiva e intelligenza artificiale: una rivoluzione nell'efficienza operativa	43
4.3.2	Il Machine Learning nella manutenzione predittiva	44
4.4	Il processo di manutenzione predittiva	45
4.5	I vantaggi della manutenzione predittiva	48
4.6	Svantaggi della Manutenzione Predittiva	49
4.7	Esempi di aziende e applicazioni della manutenzione predittiva	51
4.8	Manutenzione predittiva e simulazione	53
4.9	Considerazioni	55
4.9.1	Un'Analisi dei Vantaggi	56
4.9.2	Considerazioni sugli Svantaggi	57
4.9.3	L'Integrazione della Simulazione	58
4.9.4	Le Prospettive Future	58
4.9.5	Conclusione Finale	59
5.	Computer Vision & Machine Vision	60
5.1	Storia della Computer Vision	60
5.2	Fondamenti della Computer/Machine Vision	62
5.3	Funzionamento della Computer Vision	64
5.4	Processo della Computer Vision	66
5.5	Tipi di analisi	67
5.7	Machine Vision nell'Industria 4.0	73
5.8	Componenti della Machine Vision	75

5.8.1 Illuminazione	77
5.8.2 Lenti.....	79
5.8.3 Sensore di Acquisizione	79
5.8.4 Elaborazione della Visione	80
5.8.4 Comunicazione.....	81
5.9 Tipi di Sistemi di Machine Vision	82
5.10 Localizzazione dell'oggetto della Machine Vision.....	85
5.11 Applicazioni industriali della Machine Vision	88
5.11.1 Guida.....	89
5.11.2 Identificazione	91
5.11.3 Misurazione.....	95
5.11.4 Ispezione	97
5.12 Vantaggi Machine Vision	99
5.13 Svantaggi della Machine Vision	101
5.14 Conclusioni.....	103
6. Sitografia.....	104
7. Sitografia immagini.....	107

1 Industria 4.0

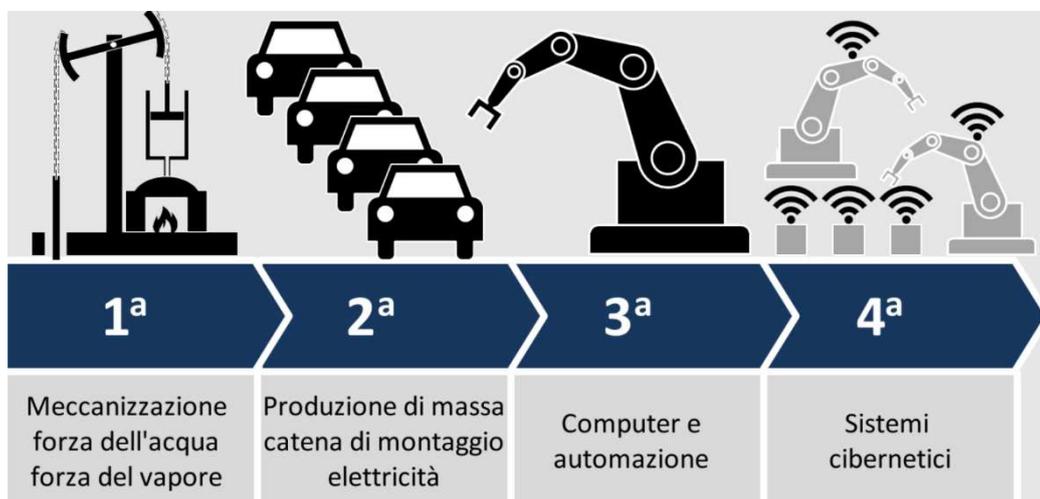
1.1 Evoluzione dell'Industria 4.0

Negli ultimi decenni, il settore manifatturiero ha vissuto una profonda trasformazione, guidata da un processo di innovazione tecnologica senza precedenti. Le linee produttive, tradizionalmente caratterizzate da una forte dipendenza dal lavoro manuale e da processi standardizzati, sono state progressivamente integrate con sistemi avanzati, capaci di migliorare l'efficienza, ridurre i costi e garantire una maggiore flessibilità operativa.

Questo fenomeno, noto come "Industria 4.0", rappresenta una vera e propria rivoluzione che coinvolge tutte le fasi della produzione, dalla progettazione alla distribuzione del prodotto finito.

L'avvento dell'Industria 4.0 ha rivoluzionato enormemente il mondo della manifattura e della logistica, tanto da essere definita come "quarta rivoluzione industriale". Fino a qualche anno fa il concetto di "Industry 4.0."

rappresentava una prospettiva "lontana" di sviluppo futuro del settore industriale e produttivo, ora è diventata una realtà concreta. Questo fenomeno globale si sta diffondendo in maniera capillare nella società contemporanea e sta trasformando profondamente e velocemente i sistemi produttivi che operano in tutto il mondo. (Immagine 1)



Se la prima rivoluzione fu caratterizzata dall'uso del vapore e della meccanizzazione, la seconda dall'introduzione della produzione di massa e l'elettricità, e la terza dall'automazione e dai primi computer, la quarta rivoluzione industriale vede l'integrazione di tecnologie digitali avanzate in ogni fase del ciclo produttivo. Tali tecnologie sono dette anche “tecnologie abilitanti” ossia soluzioni e/o miglioramenti tecnologici capaci di “rivitalizzare” (rendere più autonomo e intelligente) un sistema produttivo, all'interno del quale tutti i processi saranno dotati di un'interconnessione veloce, chiara e diretta tra tutti gli asset aziendali ciò ne consegue l'utilizzo di macchine intelligenti in grado di comunicare tra loro e con l'uomo, fornendo dati in tempo reale sui processi produttivi, sul controllo qualità e sulla manutenzione.

Questo nuovo metodo di fare industria ha portato a cambiamento anche sulle strutture fisiche aziendali incominciando così ad essere chiamate fabbriche intelligenti, ovvero fabbriche connesse e altamente automatizzate, in cui le macchine sono dotate di sensori che raccolgono dati e li condividono con altre macchine e sistemi in tempo reale. Ciò significa che i produttori possono monitorare e ottimizzare i processi produttivi in tempo reale, riducendo i tempi di fermo e migliorando l'efficienza complessiva.

1.2 Digitalizzazione dei Processi Produttivi

La digitalizzazione dei processi industriali è uno dei pilastri portanti della rivoluzione industriale. I processi tradizionali stanno subendo un grande cambiamento grazie a tecnologie avanzate e sistemi interconnessi che permettono di ottimizzare l'efficienza, migliorare la flessibilità e ridurre i costi operativi. La digitalizzazione a prima impatto potrebbe sembrare l'automazione di singole attività e quindi niente di nuovo, ma in realtà essa rappresenta un cambio profondo della gestione dei dati e nella comunicazione tra le diverse parti produttive.

Tale digitalizzazione avviene grazie a due tecnologie abilitanti, la prima è l'Internet of Things (IoT) che ci permette di creare una connessione continua con le macchine e tra le macchine in modo da avere un ecosistema digitale ampio in grado di raccogliere e condividere una grande mole di dati, cosa importantissima per tecnologie di manutenzione predittiva.

La seconda è l'AI ovvero il motore che elabora i dati trasformandole in informazioni utili così da avere decisioni automatizzate e ottimizzare i processi e le strategie di produzione.

Molto spesso nel contesto industriale queste due tecnologie sono vicine ne sono una prova le tecnologie di manutenzione predittiva e di visione artificiale che sfruttano le sfruttano entrambe per funzionare. Quindi la digitalizzazione dei processi produttivi non ha uno standard da seguire ma è un ecosistema in cui diverse tecnologie avanzate si intrecciano fra loro in modo da creare fabbriche intelligenti e connesse.

1.3 Ruolo dell'Intelligenza Artificiale nella Produzione

Un altro importante progresso in informatica è l'intelligenza artificiale. L'IA si occupa della creazione di sistemi e macchine in grado di imitare le capacità di apprendimento e insegnamento di un'intelligenza umana. I sistemi di IA non sono come i normali software, che eseguono compiti per mezzo di una logica che li sposta in quel modo; piuttosto, i sistemi di IA utilizzano algoritmi avanzati che fanno ricerca, interpretando milioni di dati alla volta estraendone un senso. Non solo eseguono i compiti per cui vengono programmati; imparano da soli ed evolvono nel tempo, concedendo pensieri critici ed esecuzione di decisioni. L'IA ha cambiato il modo in cui interagiamo con le macchine e il modo in cui interagiscono tra di loro.

In Industria 4.0, l'IA offre a chi l'utilizza la creazione di risorse e l'efficienza produttiva, ma anche di più. Fino a quel momento, le macchine erano sviluppate a semplice potenziamento del lavoro dell'uomo e all'ottimizzazione delle calcolatrici all'avvio. L'IA permette a Branch 4.0 quanto innovare insieme alla macchina. Questo doppio avanzato ha portato nuove attività e applicazioni che rendono possibile a IA modificare l'industria. Lo sviluppo dell'intelligenza artificiale ha collocato questa tecnologia come un baluardo della trasformazione digitale. L'intelligenza artificiale ha raccolto un enorme investimento a livello mondiale, con un mercato globale per IA software stimato dal Gartner di almeno 51 miliardi di dollari alla fine del 2021. Il tasso di crescita annuo composto stimato per il 2022 del 21% evidenzia l'importanza crescente di questa tecnologia per l'industria, e quindi per le aziende. Sempre più compagnia riconoscono il valore strategico dell'IA non solo come strumento per la massimizzazione dell'efficienza, ma anche quale guida all'innovazione e alla competitività.

2. Internet of Things (IoT)

2.1 Definizione e Storia dell'IoT

Internet of Things (IoT) riguarda la connessione digitale di dispositivi fisici, chiamati "oggetti intelligenti", con Internet. Questi oggetti hanno sensori hardware, software e altre tecnologie che consentono loro di raccogliere, inviare e ottenere dati. L'obiettivo principale di IoT è convertire i dati grezzi in informazioni preziose per migliorare il processo decisionale e semplificare le azioni in diversi usi industriali, commerciali e domestici.

Nel regno di Internet of Things (IoT), il termine "cosa" può rappresentare un'ampia gamma di oggetti fisici che spaziano dai gadget domestici di uso quotidiano a complesse strutture industriali e veicoli interconnessi a sensori di monitoraggio ambientale. Questi dispositivi IoT utilizzano diverse tecnologie di rete come Wi-Fi, 5G e opzioni specializzate tra cui Z-Wave e Zigbee per scopi di comunicazione. Oltre alle funzioni di raccolta dati di base, IoT facilita capacità di elaborazione in tempo reale che consentono un'automazione significativa nei sistemi di produzione. Inoltre, i progressi nella connettività ad alta velocità e bassa latenza come 5G abbinati a capacità di elaborazione avanzate hanno ampliato gli orizzonti di IoT per fornire soluzioni innovative per una gestione efficiente in fabbriche, città e infrastrutture.

2.2 Storia dell'IoT

Come già detto prima l'IoT ha registrato una enorme crescita negli ultimi anni, supportata da innovazioni tecnologiche. Già nel 2021, il numero di dispositivi IoT connessi a livello globale superava i 10 miliardi, e le previsioni indicano che entro il 2025 saranno generati oltre 73 zettabyte di dati, rappresentando un'enorme quantità di informazioni.

Questa crescita esponenziale è il risultato della convergenza di diverse tecnologie. In particolare, i principali fattori abilitanti includono:

- **Connettività:** Il progresso delle reti di comunicazione, dalle prime connessioni tramite modem alle reti cloud moderne, ha permesso lo sviluppo dell'IoT su larga scala. Il 5G, in particolare, sta rivoluzionando la capacità di trasferire grandi quantità di dati in tempo reale, consentendo a migliaia di dispositivi di comunicare simultaneamente.
- **Tecnologia dei sensori:** La produzione di sensori è diventata sempre più economica e diffusa. Dal 2004, il costo medio di un sensore IoT è sceso di oltre il 70%, contribuendo all'incremento della diffusione dell'IoT in vari settori.
- **Potenza di calcolo:** Con l'aumento dei dati generati, anche la capacità di calcolo necessaria per analizzarli è cresciuta significativamente. Questo progresso ha permesso di gestire ed elaborare volumi di dati sempre più grandi, aprendo la strada a sistemi IoT più complessi ed efficienti.

- **Big Data e AI:** L'analisi avanzata dei dati IoT non sarebbe possibile senza i progressi nel campo dei Big Data e dell'intelligenza artificiale. L'IoT genera enormi quantità di dati, che vengono poi analizzati in tempo reale per estrarre informazioni utili, migliorando le operazioni industriali e facilitando processi decisionali automatizzati.
- **Cloud computing:** Il cloud ha giocato un ruolo fondamentale nel consentire alle aziende di memorizzare ed elaborare grandi quantità di dati prodotti dai dispositivi IoT, fornendo un'infrastruttura scalabile e on-demand.

2.3 Funzionamento dell'IoT

L'IoT include processi collegati che consentono la raccolta, l'analisi della trasmissione e l'uso di dati da oggetti reali con sensori collegati a reti digitali. Questo ciclo continuo aiuta l'automazione e il miglioramento di diverse funzioni. Il funzionamento dell'IoT può essere suddiviso in quattro fasi principali:

1. **Acquisizione dei Dati tramite Sensori:** L'acquisizione di dati con sensori è il primo passaggio nel funzionamento dell'IoT in cui i dati vengono raccolti da sensori posizionati su oggetti tangibili. Questi sensori possono misurare vari fattori come temperatura, pressione, umidità, movimento, consumo di energia e altro ancora. Anche i sensori IoT diventano sempre più diversi e raffinati grazie ai progressi nella miniaturizzazione e alla riduzione dei costi di produzione. Questo sviluppo ha ampliato le applicazioni dei sensori al di fuori dei campi

industriali e medici, ad aree quotidiane come veicoli e gadget. In questa fase, la raccolta dei dati avviene insieme alla determinazione della qualità e della quantità di informazioni per l'elaborazione nelle fasi successive.

2. Condivisione dei Dati attraverso le Reti: Trasmissione dei dati tramite reti: dopo la raccolta dei dati tramite sensori, la trasmissione a una piattaforma centrale per l'analisi è essenziale. La connettività svolge un ruolo cruciale in questo caso, consentendo il trasferimento dei dati dai dispositivi ai sistemi di elaborazione. La scelta delle reti varia in base ai requisiti delle singole applicazioni con varie tecnologie di connettività impiegate a questo scopo.:

- a. **Wi-Fi:** ampiamente usato in ambienti domestici e industriali per la trasmissione di dati in tempo reale.
- b. **5G:** la nuova generazione di reti mobili offre bassa latenza e alta velocità di trasmissione, essenziale per applicazioni in cui la tempestività è critica.
- c. **Bluetooth e Zigbee:** utilizzati per trasmissioni di corto raggio, tipicamente in applicazioni domestiche o a livello di dispositivi indossabili.
- d. **LPWAN (Low Power Wide Area Network):** come LoRa e Sigfox, ideali per trasmissioni a lunga distanza con basso consumo energetico, tipicamente in applicazioni come il monitoraggio ambientale.

La scelta della tecnologia di connettività dipende dal tipo di dati, dal volume da trasmettere e dalle specifiche necessità di latenza e larghezza di banda.

3. **Elaborazione dei Dati:** L'elaborazione dei dati segue la trasmissione, i dati subiscono un processo. In questa fase vengono esaminati e compresi per ricavare informazioni preziose. La piattaforma Big Data, il cloud computing e l'intelligenza artificiale sono essenziali in questa fase. L'algoritmo di apprendimento automatico e altri metodi di intelligenza artificiale valutano i dati, riconoscono schemi e irregolarità e offrono informazioni utili per migliorare i processi decisionali:

- a. **Edge Computing:** parte dell'elaborazione avviene vicino ai dispositivi (cioè, ai "bordi" della rete) per ridurre la latenza e migliorare la reattività, una soluzione ideale per applicazioni che richiedono un'elaborazione in tempo reale.
- b. **Cloud Computing:** i dati vengono inviati a piattaforme cloud per l'elaborazione, dove possono essere gestiti grandi volumi di dati e applicati modelli complessi di analisi.

L'analisi dei dati permette di trasformare dati grezzi in informazioni strutturate e significative, che saranno utilizzate nella fase successiva.

4. **Azione basata sulle Informazioni Raccolte:** Intraprendere azioni utilizzando i dati acquisiti: l'ultima fase prevede l'azione sui dati analizzati. Ciò può comportare l'implementazione di decisioni

automatizzate come l'arresto dei macchinari in un impianto di produzione quando si rileva un'irregolarità o l'avviso agli operatori umani di valutare e decidere l'intervento necessario in base al loro giudizio.

L'IoT svolge un ruolo cruciale nel raggiungimento dell'automazione consentendo ai sistemi di funzionare in modo indipendente senza l'intervento umano. Nella casa intelligente, ad esempio, il sistema di riscaldamento può adattarsi automaticamente alle preferenze degli abitanti e ai fattori ambientali.

Nel campo industriale, i sistemi IoT si collegano a varie tecnologie come la manutenzione predittiva che migliora l'efficacia attraverso il monitoraggio continuo dei macchinari. Ciò aiuta a evitare guasti e consigliare azioni di manutenzione in anticipo, ottimizzando in definitiva le operazioni in base all'analisi dei dati..

2.4 Applicazioni dell'IoT in Vari Settori

L'Internet of Things (IoT) viene applicato in vari settori, rivoluzionando i processi operativi e migliorando le interazioni degli utenti. Qui diversi settori traggono grandi vantaggi dall'integrazione IoT:

1. **Settore Domestico (Smart Homes):** Residenze intelligenti L'IoT ha trasformato il nostro stile di vita con l'introduzione di case intelligenti dotate di gadget interconnessi come termostati intelligenti, luci a controllo remoto, serrature e sistemi di sicurezza che consentono ai proprietari di casa di supervisionare e controllare la propria residenza

tramite smartphone o assistenti vocali. Esempi noti sono:

- a. **Termostati intelligenti** (es. Nest) che apprendono le abitudini degli utenti e ottimizzano il riscaldamento e il raffreddamento per risparmiare energia.
- b. **Sistemi di sicurezza** che utilizzano telecamere e sensori di movimento per monitorare l'abitazione e inviare notifiche in tempo reale ai proprietari.
- c. **Dispositivi di illuminazione** che possono essere programmati o controllati tramite applicazioni mobili per migliorare la comodità e la sicurezza.

2. **Automobili Connesse:** Veicoli collegati: i veicoli moderni sono dotati di tecnologie Internet of Things (IoT) che consentono di migliorare le funzioni per migliorare sia la sicurezza che la qualità della guida. Gli usi comuni sono:

- a. **Assistenza alla guida:** sistemi che utilizzano sensori e telecamere per rilevare ostacoli, veicoli e pedoni, contribuendo a evitare incidenti.
- b. **Telematica:** permette il monitoraggio delle prestazioni del veicolo e la gestione della manutenzione predittiva.

c. **Infotainment:** connessione a internet per l'accesso a servizi di streaming, navigazione e comunicazione, migliorando l'interazione degli utenti con il veicolo.

3. **Smart Cities:** le tecnologie Internet of Things (IoT) sono essenziali per il progresso delle città intelligenti, utilizzando dati raccolti dai sensori per migliorare lo standard di vita urbano e la sostenibilità. Esempi includono:

a. **Gestione del traffico:** sensori posizionati in diverse aree della città monitorano il flusso di traffico e ottimizzano i semafori per ridurre ingorghi e migliorare la mobilità.

b. **Prevenzione delle inondazioni:** sensori idrometrici possono fornire avvisi in tempo reale sulle condizioni meteorologiche, consentendo una gestione tempestiva delle emergenze.

c. **Raccolta dei rifiuti:** contenitori intelligenti dotati di sensori che segnalano il livello di riempimento, ottimizzando i percorsi dei veicoli per la raccolta dei rifiuti.

4. **Industria e Produzione:** In ambito industriale, l'IoT sta rivoluzionando la gestione della supply chain e le operazioni produttive. Le applicazioni includono:

- a. **Monitoraggio della produzione:** Nell'ambito della produzione, l'IoT sta rivoluzionando il modo in cui le aziende monitorano e gestiscono le loro operazioni. Grazie ai sensori IoT, è possibile raccogliere dati in tempo reale sulle macchine, il flusso di lavoro e la catena di approvvigionamento.

- b. **Manutenzione predittiva:** attraverso l'analisi dei dati raccolti e la connessione di dispositivi e macchinari consente una manutenzione predittiva più efficace, poiché i dati raccolti possono essere analizzati per identificare anomalie e prevedere guasti. Utilizzando algoritmi di Intelligenza Artificiale, le aziende possono automatizzare la pianificazione delle manutenzioni e ottimizzare le operazioni, riducendo i tempi di inattività e i costi associati.

- c. **Personalizzazione di massa:** L'integrazione di tecnologie IoT nella produzione consente anche una personalizzazione di massa, poiché le aziende possono adattare i processi in base alle esigenze dei clienti in tempo reale. Ad esempio, attraverso l'analisi dei dati dei consumatori, un produttore può modificare la propria linea di produzione per soddisfare specifiche richieste, garantendo una maggiore soddisfazione del cliente e una gestione più efficiente delle risorse.

- d. **Gestione dell'inventario:** Dispositivi IoT possono monitorare le scorte e ottimizzare la gestione degli approvvigionamenti,

migliorando l'efficienza complessiva.

- e. **Machine Vision:** L'integrazione di tecnologie IoT permette l'implementazione di sistemi di Machine Vision permette di eseguire ispezioni qualitative automatizzate. Grazie a telecamere interconnesse, possiamo identificare difetti nei prodotti e garantire che ogni articolo soddisfi gli standard di qualità. Questi sistemi non solo migliorano l'affidabilità della produzione, ma riducono anche i costi legati ai difetti.

2.5 Conclusioni

In conclusione, l'Internet of Things sta rapidamente diventando un elemento di svolta in molti settori come la produzione. La capacità di connettere e monitorare dispositivi e sistemi in tempo reale offre opportunità senza pari per migliorare l'efficienza operativa, potenziando la manutenzione predittiva e integrando soluzioni basate sull'intelligenza artificiale

Il continuo progresso dell'IoT è guidato da nuove tecnologie come il 5G e l'edge computing insieme alla crescente enfasi sulla sostenibilità trasformerà sia i processi industriali sia la nostra interazione con l'ambiente. Le aziende devono adottare queste tecnologie ora per rimanere competitive in un mercato in rapida evoluzione. La fusione di IoT, manutenzione predittiva e intelligenza artificiale rappresenta una notevole progressione nel raggiungimento degli obiettivi dell'Industria 4.0, generando un ciclo positivo di produttività dell'innovazione e vantaggi per il cliente.

3. Fondamenti di Intelligenza Artificiale

3.1 Definizione e Principi Generali dell'Intelligenza Artificiale

L'intelligenza artificiale è un ramo di computer che si occupa di creare sistemi capaci di fare lavori che, se fatte da persone, richiederebbero l'uso dell'intelligenza. Il termine "intelligenza" si riferisce alla capacità di vedere il mondo, fare scelte informate e risolvere problemi senza aiuto. L'IA può essere divisa in diversi livelli; partendo dall'IA debole, capace di svolgere compiti specifici fino ad arrivare all'IA forte, che potrebbe teoricamente copiare tutte le abilità mentali umane.

L'IA si basa su diverse tecniche e approcci, fra i quali spiccano: il machine learning (apprendimento automatico), il deep learning (apprendimento profondo) e il natural language processing (elaborazione del linguaggio naturale). Queste tecnologie permettono ai sistemi di apprendere dai dati e migliorare progressivamente le proprie performance, adattandosi a nuove situazioni senza essere esplicitamente programmati per ciascuna eventualità.

3.2 Breve Storia dell'Intelligenza Artificiale

L'intelligenza artificiale, nonostante sia il punto focale dei progressi tecnologici, ha origini storiche che risalgono a molti anni fa. L'idea di macchine intelligenti è stata prevista da pensatori e matematici; tuttavia, è stato solo nel XX secolo che l'intelligenza artificiale ha iniziato a emergere come area di studio indipendente. L'inizio dell'intelligenza artificiale come campo formale può essere fatto risalire al 1956, quando si è tenuta la

conferenza di Dartmouth sotto la guida di John McCarthy. In questa riunione è stato introdotto il termine "intelligenza artificiale" che stabiliva obiettivi e convinzioni che avrebbero plasmato l'evoluzione di questo dominio negli anni successivi.

Lo studio iniziale si è concentrato su questioni relative alla logica e al ragionamento, mirando a sviluppare sistemi in grado di risolvere problemi matematici o impegnarsi in partite di scacchi. Tuttavia, i progressi erano limitati dalle capacità di elaborazione disponibili a quel tempo. Entro gli anni '80, l'emergere delle reti neurali e una maggiore accessibilità a computer più avanzati hanno consentito di affrontare sfide sempre più complesse, aprendo strade per nuove applicazioni.

L'apprendimento automatico è diventato particolarmente avanzato durante gli anni '90, consentendo ai sistemi di apprendere in modo indipendente dai dati. Il deep learning sviluppato tra il 2000 e il 2010 ha segnato un ulteriore progresso e ha portato un miglioramento significativo in campi come la visione artificiale e il riconoscimento vocale. Attualmente l'intelligenza artificiale è una tecnologia consolidata applicata in vari settori come l'automazione industriale della medicina e i servizi finanziari.

3.3 Tipi di Intelligenza Artificiale

L'intelligenza artificiale può essere categorizzata in base a diversi fattori, come il grado di complessità e indipendenza. Una classificazione prevalente identifica tre tipi principali di intelligenza artificiale.

- **Intelligenza Artificiale Debole:** Si riferisce a sistemi progettati per compiti specifici, come il riconoscimento facciale o il controllo tramite comando vocale. Non hanno ampie capacità cognitive, ma sono molto abili in attività particolari. Esempi di intelligenza artificiale ristretta includono assistenti virtuali come Siri e Alexa.
- **Intelligenza Artificiale Avanzata:** Si riferisce a un tipo di intelligenza artificiale speculativa che può imitare tutti gli aspetti delle funzioni cognitive umane, come la comprensione, l'acquisizione di conoscenze e l'autoconsapevolezza. Al momento, questa forma di intelligenza artificiale rimane puramente teorica, senza implementazioni pratiche esistenti.
- **Superintelligenza :** Si riferisce a un tipo di intelligenza artificiale speculativa che una superiorità intellettuale che supera l'uomo in tutti i regni. Questo concetto solleva preoccupazioni etiche, incluso il rischio che tali macchine eludano la regolamentazione umana.

3.3.1 IA Debole Base e Avanzata: Un Approfondimento

Prima di procedere, dobbiamo prima esplorare l'intelligenza artificiale debole che può essere categorizzata in:

- **Intelligenza Artificiale Debole Base:** Essa è semplicistica è un sistema che gestisce attività specializzate come il riconoscimento di immagini o l'elaborazione del linguaggio naturale, ad esempio un chatbot di base. Sebbene non abbia una vera comprensione della sua azione, esegue algoritmi su misura per affrontare un problema specifico.
- **Intelligenza artificiale debole avanzata:** Questi sistemi mostrano una maggiore complessità rispetto all'intelligenza artificiale debole fondamentale, possono apprendere in modo indipendente utilizzando l'apprendimento automatico, risolvere una gamma più ampia di problemi e migliorare le loro capacità attraverso istanze pratiche, tra cui la chat GPT e GEMINI, tuttavia, nonostante l'elevato livello di avanzamento, mancano della comprensione contestuale che la cognizione umana offre

L'intelligenza artificiale avanzata può replicare il comportamento umano in situazioni specifiche, ma manca di vera coscienza e comprensione. Non è in grado di impegnarsi in un pensiero o ragionamento simile a quello umano a causa di vincoli imposti da algoritmi preimpostati e limitazioni di dati. Il raggiungimento di un'intelligenza artificiale forte richiede una comprensione autonoma e consapevole, una capacità attualmente sfuggente nello sforzo di sviluppo.

3.4 Apprendimento Automatico (Machine Learning)

L'apprendimento automatico è un metodo fondamentale nell'intelligenza artificiale (IA) che opera sul concetto di sistemi che acquisiscono conoscenza dai dati anziché tramite una programmazione specifica. Si basa su algoritmi che consentono ai computer di riconoscere modelli all'interno dei dati e di utilizzarli per fare previsioni o scelte. Esistono vari metodi nell'apprendimento automatico:

- **Supervisionato:** Nell'apprendimento supervisionato il sistema si allena su un set di dati etichettato che contiene risposte corrette note. L'obiettivo è che l'algoritmo preveda accuratamente le risposte per nuovi dati come si applica in attività come la classificazione delle immagini e il riconoscimento vocale.
- **Non supervisionato:** L'apprendimento non supervisionato implica che il sistema identifichi modelli nascosti nei dati che non hanno etichette. Ad esempio, il clustering è un metodo tipico in cui dati simili vengono raggruppati senza una conoscenza pregressa delle categorie. Questa tecnica viene utilizzata nell'analisi di mercato per riconoscere che i segmenti di clienti mostrano comportamenti comparabili.
- **Per Rinforzo:** L'apprendimento per rinforzo implica che un sistema impara per tentativi ed errori ottenendo feedback sotto forma di premi o penalità. Questa tecnica viene comunemente applicata in scenari di gioco e robotica in cui un agente deve prendere decisioni rapide.

L'apprendimento automatico viene utilizzato in molti settori come l'automazione industriale per attività come la manutenzione predittiva e la garanzia della qualità.

3.5 Apprendimento Profondo (Deep Learning)

Il deep learning è un sottoinsieme del machine learning che utilizza reti neurali artificiali con più livelli, motivo per cui è chiamato "deep". Questo metodo è altamente efficiente per affrontare compiti complessi come il riconoscimento di immagini e parlato, nonché la traduzione automatica.

Le reti neurali profonde traggono ispirazione dalla struttura del cervello umano e sono costituite da "neuroni" artificiali collegati in più livelli. Ogni livello gestisce le informazioni prima di passarle al successivo, consentendo al sistema di ricavare caratteristiche più astratte dai dati. Il deep learning necessita di dati e risorse computazionali significativi, ma è alla base di numerosi recenti sviluppi dell'intelligenza artificiale.

Il deep learning è ampiamente riconosciuto per la sua applicazione nella visione artificiale, consentendo al sistema di identificare con precisione gli oggetti all'interno di immagini o video. Questa tecnologia vede un ampio utilizzo in ambito industriale per la garanzia della qualità e nell'industria automobilistica per la tecnologia avanzata dei veicoli autonomi.

3.6 Reti Neurali Artificiali

Le reti neurali artificiali svolgono un ruolo chiave nell'intelligenza artificiale, in particolare nell'apprendimento automatico e nell'apprendimento profondo.

Una rete neurale è composta da nodi interconnessi noti come neuroni che sono strutturati in strati. Questi neuroni gestiscono i dati e li trasmettono attraverso la rete, consentendo al sistema di acquisire nuove conoscenze e di adattarsi. Ogni neurone analizza un set di input e genera un output che viene quindi inviato ai neuroni nello strato successivo.

Le reti neurali possono essere classificate in diversi tipi in base alla loro disposizione e al loro funzionamento:

- **Reti feedforward:** Le reti feedforward sono la forma più elementare di rete neurale. Le informazioni viaggiano in una sola direzione, passando dall'input all'output. Queste reti trovano utilità in attività come classificazione e regressione.
- **Reti neurali ricorrenti:** Le RNN consentono di condividere informazioni tra neuroni nello stesso strato, includendo al contempo dati passati. Le RNN sono utili per attività come il riconoscimento vocale e l'analisi di dati sequenziali.
- **Reti neurali convoluziona:** Le CNN vengono utilizzate principalmente nella visione artificiale. Queste CNN sono create per gestire immagini e video e consentono di rilevare schemi visivi complessi.

Le reti neurali costituiscono la base di molte moderne applicazioni di intelligenza artificiale e vengono continuamente migliorate per migliorarne la capacità di apprendimento e generalizzazione.

3.7 Applicazioni dell'IA nelle Industrie Produttive

Nell'ambito dell'Industria 4.0, le applicazioni dell'Intelligenza Artificiale coprono varie aree chiave:

- **Manutenzione Predittiva:** L'applicazione AI avanzata della Manutenzione Predittiva utilizza modelli matematici e algoritmi di apprendimento automatico per valutare le condizioni dei macchinari e prevedere potenziali guasti. L'analisi di fattori come vibrazioni, temperature e usura consente all'AI di prevedere la probabilità di guasti, facilitando il risparmio sui costi e una migliore pianificazione delle risorse di manutenzione. Questo approccio non solo riduce al minimo i tempi di fermo, ma migliora anche l'efficienza operativa, riduce i costi e aumenta la durata e l'affidabilità delle apparecchiature.
- **Visione Artificiale (Machine Vision):** La visione artificiale è uno strumento comune nella produzione che migliora l'automazione catturando e analizzando le immagini all'istante. Questa tecnologia può riconoscere e categorizzare oggetti, individuare difetti e migliorare la qualità del prodotto senza il coinvolgimento umano. Utilizzando algoritmi di analisi delle immagini, la visione artificiale estrae dettagli specifici come colore, forma e caratteristiche spaziali dalle immagini. Questo processo aumenta la precisione e l'efficacia delle operazioni di

produzione, trovando anche impiego in attività di controllo qualità come la verifica delle dimensioni e il rilevamento delle anomalie.

- **Analisi Predittiva e Ottimizzazione dei Processi:** L'analisi anticipatoria e il miglioramento dei processi vengono eseguiti dall'AI utilizzando metodi di apprendimento automatico per esaminare vasti set di dati, prevedere modelli imminenti e perfezionare le procedure di produzione. Questo approccio analitico facilita una migliore allocazione delle risorse, processi di produzione snelli e agili, nonché un rapido adattamento ai cambiamenti di mercato e alle variazioni operative. Le organizzazioni sfruttano l'intelligenza artificiale per proiettare la domanda di prodotti, perfezionare la programmazione della produzione e migliorare i servizi di trasporto e consegna.
- **Personalizzazione di Massa:** La produzione personalizzata è facilitata dall'intelligenza artificiale che rende possibile la produzione personalizzata di beni su larga scala. Soddisfa le esigenze individuali dei clienti mantenendo al contempo l'efficacia della produzione. Esaminando i dati dei clienti e utilizzando le funzionalità di personalizzazione dell'intelligenza artificiale, le aziende possono offrire prodotti su misura in modo economico ed efficiente, aumentando la soddisfazione del cliente e rivelando un nuovo potenziale di mercato.
- **Sicurezza e Monitoraggio:** I sistemi di intelligenza artificiale svolgono un ruolo cruciale nel garantire la sicurezza e il monitoraggio sul posto di lavoro. Analizzando tempestivamente i dati, l'intelligenza artificiale

può anticipare i pericoli e migliorare la sicurezza sul posto di lavoro notificando potenziali rischi come variazioni di temperatura o vibrazioni delle macchine, attivando così allarmi o misure preventive. Ciò non solo aiuta nella prevenzione degli incidenti, ma eleva anche gli standard di sicurezza generali negli ambienti industriali.

Nei prossimi capitoli, approfondiremo i diversi usi dell'intelligenza artificiale in vari domini di produzione, seguiti da una panoramica dell'IoT per migliorare la comprensione.

4.0 Manutenzione predittiva

4.1 Cenni storici sulla manutenzione industriale

I primi tipi di manutenzione possono essere attribuiti alle officine artigianali in cui l'artigiano supervisionava esclusivamente la produzione. Qui l'artigiano garantiva la qualità e la conservazione del prodotto eseguendo personalmente tutte le attività di manutenzione necessarie per risultati di prim'ordine. La manutenzione era vista come parte intrinseca del processo strettamente connessa alla meticolosa artigianalità e all'attenzione personale ai dettagli.

Durante la rivoluzione industriale, la meccanizzazione e i metodi di specializzazione del lavoro furono implementati seguendo i principi stabiliti da Frederick Winslow Taylor e rigorosamente applicati nelle fabbriche di Henry Ford. L'attenzione principale si spostò verso il miglioramento della capacità produttiva dell'impianto, portando a un allontanamento dagli artigiani del valore per la garanzia della qualità e la manutenzione.

Il nuovo metodo industriale causò l'emergere di ruoli più professionali come progettista, programmatore e personale di manutenzione. Il loro ruolo divenne chiaro e necessario per il funzionamento continuo delle apparecchiature. Questo cambiamento mostrò un grande cambiamento: mentre le officine artigianali legavano strettamente la manutenzione alla qualità del prodotto nelle fabbriche di produzione di massa, la manutenzione divenne una funzione separata che si concentrava solo sulla garanzia dell'efficienza del sistema. All'inizio la garanzia della qualità veniva eseguita retrospettivamente limitata ai prodotti finali e spesso utilizzava metodi distruttivi basati su principi di probabilità. Oltre a essere costoso, questo metodo si è dimostrato poco efficiente per apportare correzioni in tempo reale durante i processi di

produzione. Solo verso la fine degli anni '50 è diventata chiara l'importanza del monitoraggio della qualità in tutte le fasi della produzione, portando all'adozione di nuove pratiche di produzione come la metodologia Just in Time e l'automazione tramite computer e robot nei cicli di produzione. Gli approcci innovativi cercano di migliorare ogni fase della procedura sottolineando che ottenere un risultato finale di prim'ordine era fattibile solo attraverso una dedizione incrollabile in ogni fase della sequenza. Questa prospettiva ha portato a un rinnovato senso di motivazione tra i professionisti della produzione, ampliando la loro visione della manutenzione da semplice prevenzione dei guasti a elemento fondamentale per garantire standard di prodotto superiori.

4.2 Introduzione Manutenzione Industriale Odierna:

"Manutenzione industriale", chiamata anche manutenzione degli impianti, include una serie di protocolli che mirano a sostenere la funzionalità di sistemi industriali, macchinari e attrezzature, garantendo al contempo condizioni ottimali per tutti i beni e le risorse.

Se qualcuno desidera approfondire la norma UNI 13306:2018, la manutenzione viene descritta come una combinazione di attività tecniche amministrative e gestionali che coprono l'intero ciclo di vita di un'entità. Queste azioni mirano a sostenere o rinnovare un bene in una condizione in cui può svolgere le sue funzioni designate. La norma stabilisce linee guida e metodi ottimali per l'organizzazione per supervisionare in modo competente le proprie risorse.

Attualmente i processi e le strategie per la manutenzione industriale sono strutturati per proteggere una fabbrica in futuro con l'obiettivo di

- Anticipare e affrontare i problemi in modo proattivo.
- Ridurre al minimo i guasti;
- Aumentare i tempi di attività;
- Controllare i costi operativi in modo efficiente;
- Raggiungere gli obiettivi aziendali.

È semplice comprendere l'importanza critica della disponibilità e dell'affidabilità delle apparecchiature in qualsiasi settore per mantenere la produttività e ridurre i tempi di fermo imprevisti. L'idea di manutenzione si è trasformata notevolmente nel tempo, passando dalla riparazione delle apparecchiature solo dopo i guasti all'impiego di strategie preventive e predittive. Questo cambiamento è guidato dal desiderio di migliorare l'efficienza della linea di produzione e sostenere la continuità aziendale assicurando la disponibilità e l'affidabilità delle apparecchiature riducendo al minimo i tempi di inattività non pianificati.

Inoltre, con l'aumento dell'uso di progressi moderni come IoT e AI, il campo della manutenzione industriale sperimenta cambiamenti significativi. Utilizzando sensori interconnessi, algoritmi di apprendimento automatico e sistemi di analisi avanzati, è ora possibile monitorare le macchine in tempo reale. Ciò consente la raccolta di dati e il rilevamento di eventuali irregolarità o problemi prima che si trasformino in guasti gravi.

Sono stati fatti progressi che migliorano la gestione delle risorse e modificano la prospettiva degli esperti del settore sulla manutenzione. Oggigiorno, la manutenzione è apprezzata non solo per prevenire i guasti, ma anche per il

suo ruolo fondamentale nel mantenere la qualità del prodotto e la coerenza operativa.

4.3 Tipi di manutenzione

Nel campo della manutenzione industriale, possono essere utilizzati vari approcci con differenze di intensità e regolarità che dipendono dalle caratteristiche uniche dell'azienda.

Lo standard UNI 10147 riconosce le varie forme di manutenzione::

- **Manutenzione autonoma:** La manutenzione autonoma comprende attività che l'operatore di manutenzione esegue come la pulizia, la lubrificazione o piccole regolazioni. Tali attività sono ispezioni di base che richiedono la registrazione dei risultati su schede designate posizionate sulle risorse.
- **Manutenzione Preventiva:** Vengono condotte attività programmate e pianificate per evitare guasti e mantenere le apparecchiature in condizioni ottimali. L'ispezione di routine e la sostituzione tempestiva delle parti essenziali aiutano a ridurre al minimo i tempi di fermo e ad aumentare l'affidabilità del sistema.
- **Manutenzione Correttiva (a guasto):** La manutenzione dopo un guasto, nota come manutenzione correttiva, viene condotta dopo malfunzionamenti. Sebbene essenziale, questo tipo di manutenzione può essere costoso e causare lunghi tempi di fermo. Pertanto è consigliabile ridurre al minimo la necessità tramite un'efficace strategia

di pianificazione.

- **Manutenzione Migliorativa:** ciò comporta modifiche e miglioramenti alle apparecchiature o alle procedure correnti per aumentare l'efficacia e l'affidabilità. Questo tipo di manutenzione non solo risolve i problemi, ma migliora anche le prestazioni delle risorse.



A loro volta questi tipi di manutenzione possono essere suddivisi in differenti tipologie e tecniche di manutenzione.

4.2.1 Manutenzione Correttiva

Secondo la norma UNI 13306:2018 la manutenzione correttiva o di guasto si riferisce alla manutenzione che viene eseguita dopo aver identificato un guasto con l'obiettivo di ripristinare un oggetto allo stato funzionale.

La manutenzione è definita come manutenzione di guasto o di guasto, è il tipo più fondamentale che comporta una riparazione immediata dopo il guasto del componente. Questo metodo comporta il ripristino della funzionalità del macchinario dopo che si è verificato un malfunzionamento senza alcuna misura preventiva in atto. Gli interventi vengono eseguiti solo quando un macchinario si rompe.

Sebbene sia semplice da eseguire, la manutenzione correttiva tende a essere la forma di manutenzione più costosa. Lavorare su macchinari malfunzionanti può portare a tempi di fermo prolungati e a una perdita sostanziale di produzione.

In alcune situazioni la manutenzione correttiva può essere vista come un approccio efficace per la gestione di asset di basso valore o quelli che non interrompono le operazioni complessive dell'impianto.

4.2.2 Manutenzione preventiva

Secondo lo standard UNI 13306:2018 la manutenzione preventiva si riferisce a un tipo di manutenzione pianificata che mira a ridurre la probabilità di guasti alle risorse o a risolvere tempestivamente i difetti per prevenire malfunzionamenti o arresti non pianificati. La manutenzione preventiva comprende varie attività di manutenzione progettate per ritardare il deterioramento di una macchina o di un impianto. Comunemente note come

manutenzione programmata, queste attività costituiscono la base delle pratiche di manutenzione contemporanee con l'obiettivo primario di ridurre al minimo guasti improvvisi e interruzioni impreviste delle apparecchiature attraverso misure proattive basate su dati e competenze passate per affrontare potenziali problemi prima che diventino critici.

È essenziale identificare un equilibrio appropriato tra manutenzione preventiva e politiche reattive per implementare efficacemente la strategia di manutenzione e raccoglierne i frutti.

La manutenzione preventiva si classifica in varie forme che mirano tutte a migliorare l'efficienza della produzione riducendo al minimo le spese e la durata. Queste categorie sono::

- **Manutenzione Ciclica Programmata:**

La manutenzione preventiva è definita dallo standard UNI 13306:2010 come manutenzione eseguita a intervalli di tempo prestabiliti o in base a metriche di utilizzo senza ispezionare in precedenza le condizioni della risorsa.

L'obiettivo è evitare guasti eseguendo regolarmente azioni pianificate indipendentemente dallo stato attuale dell'attrezzatura per tutta la sua durata.

Gli interventi sono programmati in base al tempo o al ciclo operativo senza considerare le condizioni effettive della macchina che potenzialmente causano azioni non necessarie o ritardi nell'identificazione dei guasti. Sebbene sia utile per prevenire problemi prevedibili, può diventare inefficiente se vengono assegnate risorse eccessive a compiti non necessari.;

- **Manutenzione secondo condizione:** Secondo la norma UNI 13306:2018 la manutenzione predittiva è un tipo di manutenzione che comporta il monitoraggio costante delle condizioni operative di un asset. Si concentra sull'analisi di parametri significativi per adottare azioni preventive prima che si verifichino guasti o malfunzionamenti.

Si tratta quindi di un tipo di manutenzione che viene attivata dal monitoraggio continuo delle condizioni operative dell'asset. Le azioni di manutenzione vengono intraprese solo quando vengono raggiunti livelli critici specifici basati su fattori come la distanza percorsa e la frequenza di utilizzo. Tali interventi dipendono da soglie predefinite; il superamento di queste soglie aumenta statisticamente la probabilità di guasto.

A differenza di altre attività di manutenzione di routine che in genere si basano su ispezioni pianificate, la manutenzione basata sulle condizioni consente interventi tempestivi che prevengono sprechi di risorse e costi. Consente la sostituzione dei componenti del sistema al momento ottimale anziché sostituirli prematuramente prima che raggiungano la loro piena durata.

La manutenzione basata sulle condizioni può anche essere suddivisa e migliorata; questa manutenzione è nota come::

- **Manutenzione Predittiva:** questo metodo ampiamente spiegato nelle sezioni successive si distingue per la sua capacità di supervisionare le condizioni delle risorse industriali in tempo

reale, aiutandoti a prevedere ed evitare guasti analizzando i dati operativi.

Questo metodo, sebbene simile alla manutenzione basata sulle condizioni, si distingue per l'uso di dati complessi e modelli predittivi avanzati come sensori IoT e algoritmi AI. Questi strumenti consentono il monitoraggio continuo delle condizioni di macchine e impianti per prevedere con precisione potenziali guasti.

Implementando questa strategia, è possibile ridurre al minimo i tempi di inattività e ridurre le spese legate a riparazioni impreviste o azioni non necessarie..

4.2.3 Manutenzione Migliorativa

La manutenzione di miglioramento, nota anche come manutenzione proattiva, è definita tecnicamente dalla norma UNI 10147:2013 come interventi tecnici volti a migliorare o modificare leggermente un asset senza aumentarne il valore o il valore prestazionale. Una definizione più recente secondo la norma UNI 13306:2018 si riferisce a interventi volti a migliorare le prestazioni o l'efficienza degli asset aziendali.

Secondo la norma UNI 10147, la manutenzione di miglioramento è considerata un tipo di manutenzione di routine insieme a misure correttive e preventive. A differenza delle normali attività di manutenzione che si concentrano solo sulla funzionalità del sistema, la manutenzione di miglioramento mira a migliorare il valore complessivo del sistema.

La manutenzione di miglioramento è una strategia di manutenzione che si concentra sul miglioramento del valore e delle prestazioni del sistema o dei suoi componenti in modo proattivo senza fare affidamento su malfunzionamenti o guasti.

A differenza della manutenzione correttiva che avviene solo quando si verificano problemi, la manutenzione di miglioramento mira a apportare modifiche che aumentano l'efficienza, la sicurezza e l'affidabilità del sistema.

Il metodo deriva dai requisiti espressi da utenti e manutentori che cercano continuamente modi per migliorare la funzionalità del sistema dopo la sua implementazione.

Il miglioramento continuo è molto importante quando si tratta di implementare strategie di Total Productive Maintenance (TPM) per migliorare l'efficienza degli impianti di produzione. Questo approccio si dimostra prezioso nei settori con prototipazione o produzione su piccola scala in cui il feedback operativo quotidiano aiuta a riconoscere le aree di miglioramento.

Uno scenario ipotetico è quando un sofisticato sistema industriale prodotto in quantità limitate potrebbe non avere opportunità di valutare la sua efficacia prima della distribuzione, a differenza di un'automobile prodotta in serie che viene sottoposta a monitoraggio e miglioramenti continui. Di conseguenza, diventa fondamentale per i sistemi di produzione su piccola scala dare priorità alla manutenzione volta a migliorare le prestazioni durante tutto il loro ciclo di vita.

Alcune ricerche indicano che il miglioramento delle pratiche di manutenzione può migliorare notevolmente l'efficacia, la sicurezza e l'affidabilità degli impianti industriali. Ad esempio, uno studio dell'Istituto Italiano di

Tecnologia Industriale ha dimostrato che le aziende che adottano migliori strategie di manutenzione solitamente vedono un aumento del 20% della produttività e una diminuzione del 15% dei costi di manutenzione rispetto a quelle che utilizzano solo misure correttive o preventive.

Il miglioramento della manutenzione può migliorare notevolmente la sicurezza sul posto di lavoro e ridurre gli incidenti industriali. Una ricerca del National Institute for Workplace Safety ha indicato che l'adozione di protocolli di manutenzione migliorati determina un calo del 30% degli incidenti causati da malfunzionamenti negli impianti industriali..

4.3 L'evoluzione della manutenzione industriale

Nei primi giorni dell'industrializzazione, la manutenzione consisteva principalmente nel riparare i macchinari solo quando si rompevano. Questo approccio comportava lunghi periodi di fermo dovuti a guasti imprevisti delle macchine che influivano significativamente sulla produzione e aumentavano i costi operativi. Da allora, lo sviluppo delle pratiche di manutenzione è stato influenzato sia dalla crescente complessità dei macchinari sia dalla necessità di migliorare l'affidabilità e la produttività nei sistemi di produzione.

Nel tempo, l'attenzione si è spostata sulla riduzione al minimo dei tempi di fermo e delle spese legate alle riparazioni impreviste, portando all'implementazione di strategie di manutenzione proattive. Questi metodi si basano su programmi prestabiliti e valutazioni di guasti passati per affrontare i problemi prima che si trasformino in problemi gravi.

Oggi, grazie alla presenza di tecnologie avanzate come IIoT AI e big data, le aziende possono scegliere modelli di manutenzione predittiva. Questo metodo

è collegato alle idee di Industria 4.0 e di fabbrica intelligente ed eccelle nel monitoraggio immediato dello stato di salute delle risorse industriali.

Analizzando i dati operativi, aiuta a prevedere e fermare i guasti prima che si verifichino. A differenza dei principi di manutenzione basati sulle condizioni, questo approccio utilizza dati complessi e modelli predittivi all'avanguardia per previsioni di guasti accurate.

La ricerca condotta da Impeccable Market Research indica che il mercato mondiale della manutenzione predittiva vale 2387,6 milioni di \$ nel 2021 e si prevede che crescerà fino a 18551 \$ entro il 2026, mostrando un tasso di crescita annuale composto del 29,8% in questo periodo. Ciò evidenzia un significativo spostamento verso capacità predittive e riduce al minimo i tempi di fermo nelle operazioni di manutenzione.

Gli ostacoli che le moderne fabbriche intelligenti devono affrontare comportano l'affrontare in modo proattivo i problemi per ridurre al minimo i tempi di fermo delle macchine e garantire un processo di produzione regolare. Algoritmi avanzati possono rilevare e analizzare i problemi dei componenti, offrendo informazioni necessarie per una risoluzione tempestiva. Questo approccio riduce le spese di manutenzione impreviste, migliorando al contempo la sicurezza operativa per un ambiente di lavoro affidabile.

Si prevede che la manutenzione industriale avanzerà incorporando nuove tecnologie come la manutenzione autonoma e l'intelligenza artificiale avanzata. La crescente connettività tra impianto e dispositivi tramite IoT potrebbe portare a un sistema in cui le macchine comunicano il loro stato e i requisiti di manutenzione, riducendo la dipendenza dal coinvolgimento umano e migliorando l'efficienza della produzione.

4.3.1 Manutenzione predittiva e intelligenza artificiale: una rivoluzione nell'efficienza operativa

Nel regno del progresso tecnologico la manutenzione predittiva sta trasformando il modo in cui le aziende gestiscono e proteggono i propri asset. Questo metodo, secondo lo standard [UNI EN 13306], prevede la manutenzione degli asset in base a previsioni derivanti dall'analisi di parametri che indicano il deterioramento degli asset. Si basa su analisi di dati sofisticate e tecnologie all'avanguardia come l'Internet of Things industriale (IIoT) e l'intelligenza artificiale (AI).

L'emergere dell'intelligenza artificiale (AI) ha portato cambiamenti significativi in vari campi industriali, con uno dei settori più trasformati che è la manutenzione di macchinari industriali e strumenti di produzione.

L'AI svolge un ruolo chiave nella manutenzione predittiva attraverso l'apprendimento automatico e l'analisi dei big data. I macchinari non solo rilevano i requisiti di manutenzione, ma raccomandano anche misure preventive per prevenire futuri guasti in base ai dati in tempo reale raccolti dai sensori IoT.

Nel 2024, l'uso diffuso di gadget IoT con sofisticati strumenti analitici e i progressi nelle tecnologie AI e ML consentono di incorporare diversi sensori nelle macchine industriali. Questa integrazione consente il monitoraggio continuo delle operazioni dei macchinari collegandoli alla rete.

Utilizzando i dati raccolti, vengono creati modelli predittivi per migliorare le strategie di manutenzione. Questi modelli valutano se le pratiche correnti sono efficaci o necessitano di modifiche, rilevano guasti imminenti e identificano opportunità per rinviare costosi interventi quando le

apparecchiature non necessitano di attenzione immediata. Man mano che i dati dei sensori si accumulano, gli algoritmi di apprendimento automatico perfezionano progressivamente l'approccio alla manutenzione analizzando le informazioni storiche e le condizioni operative.

4.3.2 Il Machine Learning nella manutenzione predittiva

L'apprendimento automatico è una tecnologia che prevede l'analisi di una notevole quantità di dati passati e attuali per sviluppare modelli che migliorano dalle informazioni fornite. Fornendo dati campione da varie macchine tramite algoritmi di sensori è possibile rilevare modelli e irregolarità che suggeriscono potenziali problemi per migliorare l'approccio alla manutenzione. La capacità di apprendimento continua dell'intelligenza artificiale aiuta a perfezionare la precisione delle previsioni con un aumento del volume di dati.

Nella produzione, arresti imprevisti riducono l'efficienza e richiedono misure costose per affrontare questa interruzione che può derivare da una manutenzione insufficiente che causa blocchi dei macchinari o manutenzione ingiustificata che si traduce in ritardi nella produzione. L'intelligenza artificiale può anticipare i problemi delle apparecchiature consentendo una manutenzione tempestiva e ottimizzando le operazioni per migliorare la produttività

Le previsioni possono essere generate utilizzando varie forme di dati., ovvero:

- **Prevedere con ciò che si conosce:** Utilizzare informazioni note: combinare i record delle prestazioni passate con dettagli tecnici e analisi dei dati in tempo reale per creare avvisi personalizzati in base

alle condizioni. Questa è la prima fase delle capacità di previsione basate sull'intelligenza artificiale.

- **Prevedere con ciò che si impara:** Utilizzare le conoscenze che si hanno per prevedere. Indipendentemente dallo stato attuale del programma IIoT, l'intelligenza artificiale può migliorare la precisione dei dati per prestazioni del modello migliori. Utilizzando un approccio di manutenzione predittiva, puoi aumentare costantemente le intuizioni e identificare i fattori chiave che contribuiscono ai tempi di inattività per interventi proattivi.
- **Prevedere con la simulazione:** Utilizza la simulazione per anticipare e affrontare le sfide delle prestazioni nella fase di progettazione, assicurando la resilienza dei macchinari in condizioni reali. Ciò facilita l'istituzione di avvisi predittivi tramite la raccolta di dati basata sull'intelligenza artificiale per il miglioramento continuo delle simulazioni.

4.4 Il processo di manutenzione predittiva

Il processo di manutenzione predittiva è complesso a causa della sua adattabilità a varie tecnologie e macchinari disponibili. I passaggi che seguono in genere nell'approccio "Learn and Predict" comportano lo sfruttamento di tecnologie IIoT e sensori appropriati per il monitoraggio e il controllo continui di varie apparecchiature. Questa procedura standard comprende diverse fasi chiave:

- 1) **Installazione e Monitoraggio:** Il primo passaggio nella manutenzione predittiva è l'installazione di sensori e dispositivi IoT su

apparecchiature importanti per raccogliere dati in tempo reale su vari fattori operativi come temperatura, pressione, vibrazioni, livelli di rumore e consumo energetico. Il monitoraggio costante di queste variabili è essenziale per rilevare rapidamente possibili segnali di guasti imminenti.

- 2) **Raccolta dei dati:** La raccolta dati è la base della manutenzione predittiva che comporta la raccolta di dati correnti dalle risorse aziendali con sensori IIoT. Questi sensori supervisionano fattori vitali come vibrazione, temperatura, pressione, consumo energetico e lubrificazione. Offrono un flusso costante di informazioni sulle condizioni delle apparecchiature con un volume di dettagli a seconda del tipo di macchinario e della sofisticatezza del sensore. I livelli di tecnologia avanzati aumentano la capacità di raccolta dati all'interno del nostro sistema.
- 3) **Trasmissione dei dati:** I dati raccolti vengono inviati alla piattaforma centrale che può essere basata su cloud o in sede. Questo sistema funge da repository centralizzato in cui le informazioni vengono elaborate ed esaminate. Inizialmente, l'importanza di questo aspetto potrebbe essere trascurata in termini di spazio di archiviazione dati disponibile. Tuttavia, è essenziale considerare che man mano che il nostro algoritmo AI accumula più dati per l'analisi, la manutenzione predittiva diventa più accurata. L'efficacia di questo processo dipende anche dal tipo di AI utilizzata, poiché fornire dati irrilevanti eccessivi potrebbe ostacolare anziché aiutare le sue capacità di apprendimento. Pertanto, un'attenta selezione di dati appropriati per scopi di apprendimento e analisi è fondamentale.

- 4) **Analisi dei dati:** L'analisi dei dati svolge un ruolo fondamentale nella manutenzione predittiva. Attraverso algoritmi di apprendimento automatico e modelli matematici avanzati, i sistemi possono rilevare irregolarità o modelli insoliti che possono suggerire potenziali guasti. Ad esempio, un aumento improvviso delle vibrazioni di una macchina potrebbe indicare un deterioramento o un malfunzionamento precoce. Inoltre, con dati sufficienti, diventa possibile prevedere i tempi della manutenzione richiesta entro determinati margini di errore. Tali informazioni aiutano a pianificare efficacemente i programmi di produzione in officina.
- 5) **Previsione dei guasti:** L'AI può anticipare i guasti analizzando i dati. Le previsioni generate in tempo reale aiutano ad avvisare i tecnici di intervenire prima che si verifichino problemi significativi. Tuttavia, è importante notare che l'AI non è ancora al livello della ragione umana, quindi occasionalmente potrebbero verificarsi avvisi errati a causa del malfunzionamento del sensore. L'implementazione di una soluzione che tenga conto sia dei sensori che dei macchinari può risolvere efficacemente tale errore.
- 6) **Pianificazione della manutenzione:** La pianificazione della manutenzione è importante. Quando si riceve una notifica su un potenziale problema futuro, il team di manutenzione può pianificare strategicamente l'intervento. Questo metodo aiuta a ridurre i tempi di fermo imprevisti e le spese relative a riparazioni urgenti o non necessarie.
- 7) **Monitoraggio continuo:** La sorveglianza continua è quando vengono eseguite attività di manutenzione e la raccolta dati insieme al

monitoraggio continua senza interruzioni. I sensori continuano a trasmettere informazioni mentre l'intelligenza artificiale perfeziona le sue previsioni utilizzando nuovi dati. Questo miglioramento continuo assicura che le risorse rimangano in condizioni ottimali man mano che la tecnologia avanza con più input di dati.

4.5 I vantaggi della manutenzione predittiva

La manutenzione predittiva offre diversi vantaggi, come ridurre al minimo le interruzioni impreviste, aumentare l'efficienza e migliorare la sicurezza dei dipendenti.

Con l'intelligenza artificiale, le aziende possono adottare approcci di manutenzione più efficaci evitando costosi arresti operativi. I vantaggi principali sono i seguenti:

- **Riduzione dei costi:** Riduzione delle spese: la manutenzione programmata riduce i costi correlati a riparazioni improvvise, tempi di fermo imprevisti e manutenzione non necessaria. Considera inoltre che queste tecnologie consentono una migliore efficienza nella programmazione della produzione.
- **Aumento della sicurezza:** Migliora la sicurezza tramite manutenzione preventiva che migliora la sicurezza dei lavoratori tramite il monitoraggio continuo delle apparecchiature per prevenire guasti imprevisti che possono causare incidenti o malfunzionamenti pericolosi.

- **Miglioramento delle prestazioni:** Prestazioni migliorate, messa a punto continua tramite dati raccolti, garantisce il funzionamento delle risorse alla massima capacità, migliorando le prestazioni delle macchine e riducendo al minimo i tempi di fermo.
- **Vantaggio competitivo:** Le aziende che implementano la manutenzione predittiva possono migliorare la propria competitività migliorando l'efficienza e garantendo operazioni più fluide rispetto ai concorrenti che utilizzano metodi di manutenzione convenzionali. Una volta recuperati i costi iniziali più elevati, le risorse risparmiate possono essere reindirizzate verso altre aree o migliorare ulteriormente le pratiche di manutenzione predittiva a lungo termine.

4.6 Svantaggi della Manutenzione Predittiva

Sebbene la manutenzione predittiva offra numerosi vantaggi, ci sono vari fattori importanti da tenere in considerazione che possono presentare ostacoli sostanziali durante la sua integrazione, tra cui troviamo:

- **Costi iniziali elevati:** L'implementazione di sistemi di manutenzione predittiva richiede investimenti iniziali sostanziali in hardware come software di analisi dei dati di sensori IoT avanzati e un'infrastruttura IT adeguata. Le piccole e medie imprese potrebbero avere difficoltà a razionalizzare questi elevati costi iniziali nonostante i vantaggi a lungo termine.
- **Necessità di competenze specialistiche:** Le competenze specialistiche sono essenziali per interpretare i dati raccolti e svolgere pratiche di

manutenzione predittiva. Per tali attività è necessaria competenza in analisi dei dati, apprendimento automatico e ingegneria. Formare il personale esistente o assumere nuovi dipendenti può essere costoso e richiedere molto tempo, impedendo l'adozione di tali tecnologie.

- **Complessità dell'implementazione:** L'inclusione di sistemi di manutenzione predittiva nell'attuale infrastruttura e nei processi operativi può presentare una sfida che richiede molto tempo e risorse per l'adeguamento.
- **Gestione dei dati:** La gestione dei dati comporta difficoltà nella gestione di grandi quantità di dati sulla qualità, la sicurezza e l'aderenza alle leggi sulla privacy. Dati imperfetti o parziali possono comportare previsioni imprecise che compromettono l'affidabilità delle misure di manutenzione predittiva.
- **Dipendenza dalla tecnologia:** Affidarsi troppo alla tecnologia di manutenzione predittiva può esporre l'organizzazione a rischi correlati a malfunzionamenti del sistema di monitoraggio o errori software nell'analisi.
- **Scalabilità:** La scalabilità può presentare delle sfide quando si implementa la manutenzione predittiva su larga scala. Il monitoraggio di tutte le macchine potrebbe non essere semplice, portando alla necessità di soluzioni personalizzate che aumentano sia la complessità che le spese.

4.7 Esempi di aziende e applicazioni della manutenzione predittiva

La manutenzione predittiva è stata ampiamente utilizzata in diversi settori industriali per prevenire guasti e migliorare i programmi di manutenzione. Diversi settori hanno ridotto con successo le spese operative e migliorato l'affidabilità e l'efficacia delle loro strutture attraverso strategie di manutenzione predittiva. Le aree in cui questo approccio ha visto l'adozione più significativa includono:

- **Settore Automobilistico:** Nel settore automobilistico la manutenzione predittiva coinvolge un sistema sofisticato per il monitoraggio dello stato di salute del veicolo. Questi sistemi analizzano dati in tempo reale come la pressione degli pneumatici, l'usura dei freni e l'efficienza del motore. In questo modo le officine possono prevedere quando un veicolo necessita di manutenzione, migliorando così la sicurezza sulle strade e ottimizzando le prestazioni complessive del veicolo. Inoltre, i produttori di automobili utilizzano queste tecnologie per raccogliere informazioni su parti cruciali, riducendo di conseguenza i richiami estesi e migliorando la qualità dei modelli di nuova introduzione.
- **Industria delle Telecomunicazioni (Telco) :** Nel settore delle telecomunicazioni, la manutenzione predittiva viene utilizzata per supervisionare l'infrastruttura di rete come stazioni base, fibra ottica e altri componenti vitali. Analizzando i dati relativi alla qualità del segnale, al traffico di rete e all'usura delle apparecchiature, è possibile rilevare possibili guasti o cali di prestazioni prima che si verifichino.

Questo approccio garantisce una migliore affidabilità del servizio e tempi di inattività ridotti.

- **Settore Energetico:** Nel settore energetico, in particolare nelle risorse rinnovabili come l'energia eolica e solare, la manutenzione predittiva è fondamentale per migliorare la produzione di energia. I sensori posizionati sulle turbine eoliche e sui pannelli solari controllano fattori quali la velocità del vento, i livelli di radiazione solare e le condizioni dei componenti. In questo modo, potenziali problemi come l'erosione delle pale della turbina possono essere previsti in anticipo. Questo approccio proattivo garantisce che vengano intraprese azioni tempestive per aumentare l'efficacia energetica riducendo al contempo le spese di manutenzione.
- **Manufacturing e Industria 4.0:** Nel settore manifatturiero, la manutenzione predittiva è fondamentale per migliorare i tempi di attività della produzione e ridurre al minimo i tempi di fermo. Monitorando regolarmente i macchinari, le aziende possono prevedere potenziali malfunzionamenti e programmare la manutenzione senza interrompere le operazioni. Ciò si traduce in un aumento dell'efficienza della produzione, spese operative ridotte e una migliore qualità del prodotto.
- **Trasporti e Logistica:** Nel settore dei trasporti e della logistica, la manutenzione predittiva viene utilizzata per mantenere l'affidabilità di varie modalità di trasporto come camion, navi e aerei. Monitorando attentamente fattori come l'usura del motore, le condizioni degli

pneumatici e i sistemi di navigazione, è possibile pianificare in anticipo i programmi di manutenzione per prevenire guasti importanti. Questo approccio proattivo riduce al minimo i tempi di fermo e migliora l'efficienza operativa complessiva nei processi logistici.

Con questi esempi vediamo come la manutenzione predittiva stia diventando una pratica sempre più diffusa in molti settori grazie ai molteplici vantaggi che affrontato.

4.8 Manutenzione predittiva e simulazione

L'intelligenza artificiale può simulare stress e condizioni operative, aiutando nella progettazione del prodotto prevedendo come le macchine rispondono a diverse condizioni. Analizzando i dati in tempo reale, l'intelligenza artificiale aiuta a ottimizzare la progettazione dei prodotti prima che vengano utilizzati. L'uso continuo dei dati dei sensori migliora le simulazioni per uno sviluppo più robusto e affidabile dei prodotti.

La simulazione è fondamentale per la gestione dei processi di produzione, consentendo alle aziende di imitare ogni fase della produzione. I sensori intelligenti rilevano i dati necessari in tempo reale per studiare e ottimizzare i processi, riducendo gli sprechi e i tempi di produzione. Il concetto di Digital Twin si distingue come un'applicazione degna di nota, una replica virtuale del sistema fisico che collega le azioni del mondo reale con i loro equivalenti digitali. Questi modelli di computer facilitano il miglioramento continuo del prodotto anticipando i problemi e migliorando costantemente le prestazioni.

Le fasi principali della simulazione comprendono:

1. **Ideazione e modellazione:** attraverso software specifici, viene creato un modello virtuale del prodotto.
2. **Produzione virtuale:** questa fase evidenzia le componenti necessarie o da modificare prima di procedere alla produzione reale.
3. **Produzione fisica:** il prodotto viene effettivamente realizzato.
4. **Controllo e ottimizzazione:** verifiche finali vengono eseguite sul prodotto per migliorarne la qualità e correggere eventuali difetti.

I vantaggi principali offerti dalla simulazione in ambito produttivo includono:

- **Ottimizzazione delle performance:** le simulazioni aiutano a massimizzare l'efficienza dei processi.
- **Riduzione del time to market:** i prodotti possono essere lanciati sul mercato più velocemente, riducendo i tempi di sviluppo.
- **Contenimento dei costi:** si riducono le spese legate ai progetti e ai test sperimentali grazie alla possibilità di testare virtualmente i prodotti.
- **Miglioramento della qualità:** è possibile rilevare preventivamente eventuali difetti nei processi produttivi e intervenire prima che si manifestino nel prodotto fisico.
- **Gestione del rischio:** la simulazione consente di applicare modelli di Risk Management per ridurre pericoli e migliorare l'affidabilità sul posto di lavoro.

Molte aziende, indipendentemente dalle dimensioni, stanno adottando sempre di più la simulazione come strumento strategico per migliorare la competitività e gestire meglio l'evoluzione digitale. Le proiezioni mostrano che il numero di aziende globali che utilizzano tecnologie di simulazione supererà le 110.000 nei prossimi anni, rispetto alle 60.000 del 2018. Questo aumento è accompagnato da una crescita significativa della spesa finanziaria per software di simulazione, che si stima supererà i due miliardi di euro all'anno nei prossimi quattro anni.

La simulazione si afferma quindi come una tecnologia chiave per migliorare i processi di produzione e si sta evolvendo in un supporto vitale per l'innovazione e l'efficacia operativa nel settore industriale.

4.9 Considerazioni

Nel mondo della gestione delle operazioni industriali, la manutenzione predittiva si distingue come innovazione cruciale. Con la crescente competitività e l'attenzione all'ottimizzazione dell'efficienza nell'economia odierna, le aziende affrontano sfide più complesse. Adottare strategie di manutenzione predittiva offre una soluzione utilizzando tecnologie all'avanguardia come l'intelligenza artificiale e l'IoT per valutare costantemente le condizioni delle apparecchiature e anticipare potenziali guasti.

4.9.1 Un'Analisi dei Vantaggi

Nelle aziende moderne, la manutenzione predittiva offre numerosi vantaggi di grande valore. La riduzione dei costi è un vantaggio importante come menzionato nella sezione 4.5. La manutenzione programmata non solo riduce le spese associate a riparazioni improvvise e tempi di fermo macchina imprevisti, ma aiuta anche a migliorare la pianificazione della produzione. Questa efficacia si traduce in una maggiore produttività assegnando risorse in modo più efficiente e strategico.

Inoltre, la manutenzione predittiva svolge un ruolo chiave nel migliorare la sicurezza dei lavoratori. Monitorando costantemente le apparecchiature, la probabilità di malfunzionamenti imprevisti viene ridotta al minimo, favorendo così un ambiente di lavoro più sicuro. La sicurezza è una preoccupazione fondamentale per tutte le organizzazioni e l'assegnazione di risorse alla manutenzione predittiva riflette l'impegno a dare priorità al benessere dei dipendenti.

Un altro vantaggio da sottolineare è il miglioramento dell'efficienza operativa. Attraverso l'analisi continua dei dati raccolti dai sensori, le organizzazioni possono garantire che le risorse funzionino al massimo livello. Questo miglioramento continuo si traduce in una riduzione dei tempi di inattività e di conseguenza in un miglioramento delle prestazioni complessive dei macchinari.

In definitiva, l'utilizzo della manutenzione predittiva fornisce un notevole vantaggio in termini di competitività. Le aziende che integrano questi metodi funzionano in modo più fluido e sperimentano una maggiore coerenza operativa. Dopo aver coperto la spesa iniziale, le risorse risparmiate possono essere riassegnate per ulteriori miglioramenti e avanzamenti.

4.9.2 Considerazioni sugli Svantaggi

Anche con i diversi vantaggi menzionati nella sezione 4.6, la manutenzione predittiva presenta notevoli svantaggi e ostacoli. I costi iniziali possono essere elevati, rendendo difficile per le piccole e medie imprese giustificare queste spese. Ciò è importante perché le PMI sono spesso quelle più pronte a trarre vantaggio dall'adozione di tecnologie innovative, ma potrebbero incontrare limitazioni dovute a restrizioni di budget.

L'installazione di sistemi di manutenzione predittiva richiede competenze specifiche. Formare i dipendenti o reclutare nuovi professionisti con competenze nell'analisi dei dati e nell'apprendimento automatico aggiunge spese extra e potrebbe posticipare l'implementazione di tali tecnologie.

L'integrazione con l'infrastruttura attuale e la gestione della complessità dei dati sono ulteriori aspetti da considerare. Garantire l'accuratezza e la sicurezza dei dati insieme al rispetto delle normative sulla privacy è fondamentale per l'esecuzione efficace dei progetti di manutenzione predittiva.

Anche la dipendenza dalla tecnologia e la scalabilità sono essenziali. Le aziende devono comprendere che affidarsi troppo ai sistemi di monitoraggio potrebbe esporle a guasti tecnologici o errori nel software di analisi. Inoltre, l'implementazione di una manutenzione predittiva su larga scala può porre sfide che richiedono soluzioni personalizzate che aumentano le spese e la complessità operativa.

4.9.3 L'Integrazione della Simulazione

La manutenzione predittiva trae grandi vantaggi dalla connessione con la simulazione. Nella sezione 4.8 si evidenzia che la simulazione consente test virtuali di prodotti e processi che portano a una migliore ottimizzazione della progettazione e a un miglioramento delle prestazioni prima della produzione effettiva. Attraverso lo sviluppo di modelli virtuali, le aziende possono valutare attentamente come le macchine reagiscono a diversi stress e scenari operativi. Questo metodo non solo riduce al minimo i potenziali errori nella produzione fisica, ma facilita anche il rilevamento precoce dei difetti.

L'utilizzo della simulazione con i sistemi di manutenzione predittiva consente alle aziende di gestire meglio i propri processi di produzione. Questa relazione offre grandi vantaggi come il miglioramento delle prestazioni, la riduzione dei tempi di commercializzazione, il controllo dei costi e il miglioramento della qualità. Le aziende che incorporano questi strumenti sono più attrezzate per affrontare le sfide future e mantenere la competitività in un ambiente industriale dinamico.

4.9.4 Le Prospettive Future

In futuro, è evidente che la manutenzione predittiva e la simulazione diventeranno più interconnesse. I progressi nelle tecnologie digitali come IoT e intelligenza artificiale guidano ulteriori sviluppi nelle pratiche di manutenzione. Le aziende devono adattarsi a queste tecnologie in evoluzione investendo in hardware, software, formazione del personale e promuovendo una cultura aziendale innovativa.

La crescente attenzione alla sostenibilità e all'efficienza energetica spinge le aziende a cercare modi per ridurre il loro impatto ambientale. La manutenzione predittiva è significativa nell'aiutare le aziende a migliorare l'utilizzo delle risorse e ridurre al minimo gli sprechi. Le tecnologie di simulazione possono anche aiutare a raggiungere questo obiettivo consentendo alle aziende di valutare e adottare strategie più sostenibili.

4.9.5 Conclusione Finale

La manutenzione predittiva è un aspetto pionieristico del modo in cui vengono gestite le operazioni industriali. Anche se pone notevoli sfide, i suoi vantaggi superano gli svantaggi e offrono notevoli possibilità di migliorare l'efficienza operativa, la sicurezza e la competitività. La fusione della manutenzione predittiva con la simulazione e altre tecnologie avanzate svolge un ruolo cruciale per le aziende che mirano a eccellere in un panorama industriale in continua evoluzione. Adottando strategie appropriate e realizzando investimenti mirati, le aziende possono trasformare gli ostacoli in prospettive che le predispongono al successo futuro.

La manutenzione predittiva è fondamentale per le aziende che vogliono rimanere competitive e innovative nell'era digitale odierna. Abbracciare i cambiamenti e capitalizzare la manutenzione predittiva insieme alle opportunità di simulazione sono investimenti vitali per il futuro man mano che le tecnologie avanzano..

5. Computer Vision & Machine Vision

5.1 Storia della Computer Vision

Il campo della visione artificiale ha una storia che abbraccia quasi sessant'anni di ricerca e progresso con ricercatori e ingegneri che si sforzano di creare un sistema che consenta alle macchine di percepire e comprendere le informazioni visive. L'inizio di quest'area risale al 1959, quando uno scienziato mostrò varie immagini a un gatto e osservò la sua reazione cerebrale. Si scoprì che il cervello del gatto reagiva principalmente a bordi e linee, indicando che l'elaborazione dei dati visivi poteva iniziare riconoscendo forme di base come i confini solidi.

Negli anni '60, la visione artificiale vide una svolta significativa con la creazione della prima tecnologia per la scansione delle immagini che consentiva ai computer di convertire e catturare le immagini. Nel 1963 si verificò un altro importante risultato quando i computer riuscirono a convertire immagini piatte in modelli tridimensionali. Questo progresso gettò le basi per l'esplorazione dell'intelligenza artificiale nei circoli accademici e per i primi sforzi per affrontare le sfide legate alla percezione visiva umana.

Negli anni '70, la tecnologia di riconoscimento ottico dei caratteri fu introdotta per identificare il testo in diversi font. Allo stesso tempo, emerse il riconoscimento intelligente dei caratteri che sfruttava le reti neurali per interpretare il testo scritto a mano. Questi progressi hanno portato a una gamma di applicazioni tra cui l'elaborazione dei documenti, la gestione delle fatture, l'identificazione delle targhe e la facilitazione dei pagamenti tramite dispositivi mobili.

Il periodo degli anni '80 è stato significativo per la visione artificiale. Il neuroscienziato David Marr ha presentato un concetto che suggerisce che la vista umana opera a strati, introducendo tecniche in grado di identificare bordi, angoli e forme semplici. Contemporaneamente, l'informatico Kuniyuki Fukushima ha inventato Neocognitron, una rete neurale artificiale che rileva modelli attraverso strati convoluzionali, influenzando notevolmente i successivi progressi nella visione artificiale.

Negli anni '90 sono emersi usi pratici della visione artificiale, mostrati principalmente a scopo dimostrativo. I computer di quell'epoca hanno iniziato ad avere frame grabber standard, migliorando l'affidabilità dei sistemi di visione ed espandendo la loro applicazione nell'industria e nella scienza.

Dagli anni 2000 al 2008, la visione artificiale era diversificata e priva di una chiara standardizzazione. La ricerca si è concentrata principalmente sull'identificazione di oggetti con applicazioni di riconoscimento facciale in tempo reale emerse nel 2001. Questa era ha evidenziato la necessità di stabilire set di dati standardizzati che hanno posto le basi per futuri progressi. Nel 2010, si è verificato un importante progresso con il lancio del dataset ImageNet che contiene milioni di immagini categorizzate. Questo sviluppo ha svolto un ruolo cruciale nel progresso delle reti neurali convoluzionali (CNN). L'anno seguente, i ricercatori dell'Università di Toronto hanno utilizzato un innovativo modello CNN denominato AlexNet per ridurre significativamente gli errori nell'identificazione delle immagini. Questo risultato ha elevato i livelli di accuratezza nella visione artificiale a livelli senza precedenti.

La storia della visione artificiale è stata un percorso di innovazione continua a partire dai primi studi sulle risposte cerebrali agli ultimi progressi nelle CNN. Oggigiorno questa tecnologia è un elemento cruciale per le industrie

contemporanee e l'intelligenza artificiale utilizzata in vari campi come la sicurezza, la medicina, la produzione industriale e l'intrattenimento..

5.2 Fondamenti della Computer/Machine Vision

La visione artificiale è un campo dell'intelligenza artificiale che si concentra sull'imitazione della vista umana per aiutare le macchine a interpretare e comprendere le immagini digitali. L'obiettivo finale nella nostra era tecnologica in continua evoluzione è di consentire alle macchine di gestire compiti complessi simili alla replica di vari sensi umani, principalmente la vista. Sebbene non sia un concetto nuovo con origini che risalgono alla nozione fantascientifica di concedere la vista alle macchine, si è materializzato in un'applicabilità nel mondo reale.

La visione artificiale consente ai computer di analizzare e comprendere i dati visivi acquisiti da diverse fonti come feed di telecamere in tempo reale, foto e video. Ciò è possibile tramite modelli di intelligenza artificiale che aiutano a estrarre informazioni preziose dalle immagini. Nonostante non abbiano occhi biologici simili a quelli umani, i computer possono elaborare le informazioni visive in un modo simile a come funziona l'occhio umano.

La tecnologia di elaborazione dei dati visivi esiste da molto tempo, ma i metodi precedenti comportavano un notevole sforzo umano, erano dispendiosi in termini di tempo e soggetti a errori. Per illustrare lo sviluppo del sistema di riconoscimento facciale utilizzato per coinvolgere l'etichettatura manuale di numerose immagini con dettagli specifici come la larghezza del ponte nasale e la distanza degli occhi. Questo processo manuale richiede notevoli risorse di elaborazione a causa della complessità dei dati

visivi che rendono tali applicazioni costose e fuori dalla portata di molte entità.

Oggi i progressi nell'intelligenza artificiale e nell'apprendimento automatico hanno notevolmente spinto in avanti la visione artificiale. L'utilizzo di GPU e reti neurali convoluzionali ha reso più raggiungibile il requisito di elaborazione per la visione artificiale. Questo progresso consente l'elaborazione delle immagini in tempo reale e migliora la precisione del sistema di riconoscimento. In definitiva, la visione artificiale si sforza di automatizzare funzioni che in genere rientrano nel regno delle capacità visive umane consentendo alle macchine di comprendere le immagini alla pari o superiori alle capacità umane

Nel settore industriale, la visione artificiale ha portato allo sviluppo di un ramo chiamato visione artificiale. Questa divisione è dedicata all'acquisizione, all'analisi e alla comprensione dei dati visivi tramite telecamere e sensori. Svolge un ruolo cruciale nella semplificazione di attività come l'ispezione, la garanzia della qualità e le misurazioni negli ambienti di produzione. Sebbene la visione artificiale sia parte integrante degli scenari di visione artificiale industriale, il regno della visione artificiale si estende ben oltre, comprendendo vari settori come la medicina, la sicurezza e l'intrattenimento.

La visione artificiale è un'importante area di ricerca e funge da tecnologia vitale per migliorare l'efficienza e l'innovazione in diversi settori. Permette alle macchine di percepire e comprendere visivamente l'ambiente oltre i limiti convenzionali.

5.3 Funzionamento della Computer Vision

Negli ultimi anni, c'è stato un notevole aumento del fascino per la visione artificiale. Questa crescita è dovuta all'uso estensivo di immagini e video digitali, insieme ai progressi nelle tecniche di apprendimento automatico. L'obiettivo di questo campo dell'intelligenza artificiale è consentire ai computer di comprendere contenuti visivi come le capacità umane, migliorando così le loro capacità di riconoscimento e interpretazione delle immagini.

Vale la pena menzionare che la visione artificiale si basa su dati abbondanti per prestazioni ottimali. Il sistema di visione artificiale analizza i dati cogliendo continuamente le distinzioni delle immagini attraverso un metodo di addestramento ripetitivo. Ad esempio, per insegnare a un computer a identificare accuratamente gli pneumatici di un'auto, deve essere esposto a un'ampia raccolta di immagini di pneumatici e specifiche correlate. Questa esposizione consente al computer di apprendere le variazioni e riconoscere accuratamente gli pneumatici, compresi quelli senza difetti.

5.3.1 Tecnologie Fondamentali

La visione artificiale si basa su tecnologie avanzate come l'apprendimento profondo e la rete neurale convoluzionale (CNN).

L'apprendimento profondo è un sottoinsieme dell'apprendimento automatico che impiega sofisticati modelli algoritmici per consentire al computer di cogliere in modo indipendente il contesto dei dati visivi. Addestrando questi modelli con dati sufficienti, il computer può analizzare e differenziare tra le

immagini senza fare affidamento su una programmazione esplicita di riconoscimento delle immagini.

Le reti neurali convoluzionali (CNN) svolgono un ruolo fondamentale in questo processo poiché decostruiscono le immagini in pixel e quindi assegnano tag o etichette a ciascun pixel. Le CNN utilizzano le convoluzioni, ovvero operazioni matematiche che uniscono due funzioni per creare una terza funzione, al fine di prevedere in base alla conoscenza visiva acquisita. Attraverso più iterazioni, la rete neurale affina le sue previsioni confrontando l'accuratezza e regolando fino a raggiungere una precisione simile a quella umana nel riconoscimento delle immagini. Proprio come una persona individua un'immagine da lontano, una CNN inizialmente rileva linee chiare e forme di base prima di affinare le sue previsioni. Mentre le CNN si concentrano sull'esame di immagini fisse, le RNN gestiscono l'analisi video per aiutare i computer a comprendere come le immagini in fotogrammi consecutivi siano correlate nel tempo.

Questo metodo si rivela fondamentale per attività come il riconoscimento di azioni e il monitoraggio del movimento, in cui la comprensione della sequenza e della tempistica delle immagini è fondamentale per un'analisi accurata.

La visione artificiale dipende da una complessa interazione di apprendimento automatico, elaborazione delle immagini e reti neurali. Ciò consente all'analisi visiva di migliorare ed espandere la sua utilità in molti settori e altro ancora.

In sintesi, il funzionamento della visione artificiale è alimentato da un'interazione complessa tra apprendimento automatico, elaborazione delle immagini e reti neurali, rendendo possibile un'analisi visiva che continua a

migliorare e a espandere le sue applicazioni in diversi settori industriali e oltre.

5.4 Processo della Computer Vision

La Computer Vision opera attraverso tre fasi principali: acquisizione delle immagini, manipolazione delle immagini e analisi delle immagini. Questa fase è essenziale per l'elaborazione precisa ed efficace dei dati visivi.

1. **Acquisizione dell'immagine:** Durante la fase di acquisizione delle immagini, le immagini vengono scattate utilizzando vari dispositivi come scanner per fotocamere o strumenti di acquisizione 3D. Le immagini possono essere acquisite istantaneamente o in gruppo in base ai requisiti dell'attività. È fondamentale garantire che le informazioni visive siano di alta qualità e riflettano accuratamente il contenuto destinato all'analisi. Le reti neurali della Computer Vision iniziano riconoscendo i bordi e ritraendo l'elemento dell'immagine tramite filtri convoluzionali su più livelli di rete. Il processo di acquisizione è essenziale per l'accuratezza delle fasi successive.
2. **Elaborazione dell'immagine:** Dopo aver ottenuto l'immagine, questa viene elaborata. Durante questa fase, gli algoritmi di apprendimento automatico e deep learning valutano l'immagine utilizzando modelli pre-addestrati su ampi set di dati etichettati. Questo processo consente al sistema di identificare e comprendere in modo indipendente nuove immagini. Potrebbe comportare l'ottimizzazione dei filtri per migliorare la qualità dell'immagine, ridurre il rumore e applicare tecniche di normalizzazione. I metodi avanzati potrebbero anche incorporare reti

neurali convoluzionali per estrarre caratteristiche e analizzare le texture, migliorando così la rappresentazione delle informazioni visive.

3. **Interpretazione dell'immagine:** L'ultimo passaggio del processo è l'interpretazione delle immagini con la categorizzazione del sistema e il riconoscimento dei dati visivi raccolti. Ad esempio, potrebbe essere necessario rilevare guasti su un articolo all'interno della linea di produzione o identificare oggetti particolari nell'immagine. Questa fase comporta l'utilizzo di algoritmi di classificazione che possono coinvolgere metodi di apprendimento supervisionati e non supervisionati per migliorare l'accuratezza e l'affidabilità delle decisioni. L'interpretazione svolge un ruolo fondamentale nella valutazione del valore delle informazioni estratte e nella loro applicazione in scenari del mondo reale come il monitoraggio della garanzia della qualità e l'interazione uomo-macchina.

Quindi il processo di visione artificiale è un'interazione complessa e iterativa tra acquisizione, elaborazione e interpretazione delle immagini, facilitata da tecniche avanzate di machine learning.

5.5 Tipi di analisi

I sistemi di visione artificiale possono effettuare varie analisi, ciascuna adattata a un'applicazione e una tecnologia specifiche. Il tipo principale di analisi è dettagliato come segue:

- **Classificazione delle immagini:** La categorizzazione delle immagini riguarda l'identificazione e il raggruppamento delle immagini in categorie stabilite. Utilizzando algoritmi di apprendimento profondo

come le reti neurali convoluzionali (CNN), il sistema differenzia tra varie classi di immagini. Ad esempio, un sistema ben addestrato può rilevare un animale in un'immagine ed etichettarlo come "cane" o "gatto" in base ai suoi dati di addestramento. Questo processo si basa su caratteristiche estratte automaticamente dai modelli e migliora la precisione tramite metodi di apprendimento per trasferimento.

- **Rilevamento oggetti:** Il rilevamento degli oggetti comporta più della semplice categorizzazione degli oggetti nell'immagine, ma individua anche la posizione dell'oggetto utilizzando riquadri di delimitazione. Questo metodo è fondamentale per la sorveglianza e la supervisione industriale in cui l'identificazione e il tracciamento degli oggetti in tempo reale sono essenziali. Sistemi sofisticati come YOLO (You Only Look Once) e SSD (Single Shot Multibox Detector) sono stati creati per migliorare il rilevamento degli oggetti nei feed video.
- **Riconoscimento facciale:** Il riconoscimento facciale è una forma specializzata di rilevamento degli oggetti che mira specificamente ai volti umani. Algoritmi avanzati come FaceNet consentono ai sistemi non solo di rilevare i volti, ma anche di confrontarli con il database per scopi di identificazione. Questa tecnologia trova applicazione comune nella sicurezza, nell'accesso ai dispositivi e nelle interazioni umane.
- **Segmentazione delle immagini:** La segmentazione delle immagini è un processo per dividere un'immagine in regioni distinte utilizzando caratteristiche come intensità del colore e consistenza. Questo passaggio è importante per rilevare e separare oggetti all'interno di una scena affollata. Ad esempio, in un'immagine contenente sia un gatto

che un cane, la segmentazione può distinguere tra due animali. A differenza del rilevamento di oggetti che delinea un oggetto con la segmentazione a riquadro, seguire i singoli pixel per definire la forma dell'oggetto per migliorare l'analisi e l'etichettatura. Metodi come la segmentazione semantica e istantanea sfruttano le CNN per differenziare vari oggetti nelle immagini, il che migliora la precisione delle attività di visione artificiale.

- **Rilevamento di azioni:** L'analisi delle azioni è un processo che comporta la comprensione dell'ordine delle immagini per identificare attività distinte. Utilizzando modelli di apprendimento avanzati come le RNN, il sistema può cogliere schemi di movimento e interazioni tra oggetti nei video, il che è fondamentale per attività come la sorveglianza e l'analisi sportiva.
- **Recupero di immagini basato sul contenuto:** Il recupero delle immagini basato sul contenuto riguarda l'applicazione di tecniche di visione artificiale per la ricerca in grandi database di immagini digitali specifiche. Questo approccio analizza metadati come tag, descrizioni, etichette e parole chiave per facilitare il recupero semantico utilizzando comandi specifici come "Trova immagini di edifici".

Le applicazioni di visione artificiale spaziano da quelle di base a quelle avanzate, alcune delle quali utilizzano un singolo metodo e altre, come i veicoli autonomi, che combinano vari approcci per un risultato preciso. Questa combinazione di diversi metodi analitici ha spinto la visione artificiale a diventare un campo in costante progresso e che influenza in modo significativo numerosi settori e altro ancora.

5.6 Sbocchi per Computer Vision

La visione artificiale si applica in vari settori, migliora l'efficacia, la sicurezza e gli standard di servizio. Ecco alcuni esempi:

- **Sicurezza e protezione:** Migliorare la sicurezza è importante per il governo e le aziende, dove la visione artificiale viene utilizzata per migliorare la protezione di beni, luoghi e locali. Ad esempio, telecamere e sensori monitorano aree pubbliche, zone industriali e siti ad alta sicurezza. In caso di anomalie, come l'accesso non autorizzato ad aree riservate, vengono generati avvisi automatici. Allo stesso modo, la visione artificiale può migliorare la sicurezza individuale sia in contesti residenziali che lavorativi. Ad esempio, può abilitare il monitoraggio in tempo reale a casa per il rilevamento di animali domestici o utilizzare telecamere per identificare visitatori e pacchi in arrivo. In un ambiente professionale, questa tecnologia può supervisionare l'uso corretto di dispositivi di protezione individuale da parte dei dipendenti, attivare sistemi di allarme quando necessario e produrre report dettagliati..

- **Efficienza operativa:** La Computer Vision può analizzare immagini ed estrarre metadati per la business intelligence, creando nuove opportunità di profitto ed efficienze operative. Ad esempio, può:
 - Automaticamente i difetti di qualità prima che i prodotti lascino la fabbrica,

- Rileva i problemi di manutenzione e sicurezza delle macchine,
 - Analizza le immagini dei social media per scoprire tendenze e modelli di comportamento dei clienti
 - Autentica i dipendenti grazie al riconoscimento facciale automatico.
- **Sanità:** Nel settore sanitario la tecnologia della visione artificiale svolge un ruolo significativo. In particolare, l'analisi delle immagini mediche genera rappresentazioni visive di organi e tessuti per aiutare il medico a formulare diagnosi rapide e precise che portano a risultati di trattamento migliori e a una maggiore aspettativa di vita. Ad esempio:
- Rilevazione di tumori mediante analisi di nei e lesioni cutanee,
 - Analisi radiografica automatica,
 - Scoperta dei sintomi dalle risonanze magnetiche.
- **Veicoli a guida autonoma:** Le auto a guida autonoma utilizzano la visione artificiale per identificare istantaneamente le immagini e generare mappe tridimensionali utilizzando numerose telecamere fissate sull'automobile senza conducente. Sono in grado di esaminare le immagini e riconoscere vari elementi come altri automobilisti, segnali stradali, persone che camminano o barriere.
- La visione artificiale nelle auto semi-senza conducente utilizza l'apprendimento automatico per osservare le azioni del

conducente, come distrazione, stanchezza e sonnolenza, analizzando la postura della testa, il movimento degli occhi e i gesti della parte superiore del corpo. Quando vengono identificati potenziali problemi, il sistema fornisce avvisi immediati per garantire la sicurezza stradale..

- **Agricoltura:** Agricoltura, il progresso della tecnologia della visione artificiale migliora le operazioni agricole aumentando la produttività e riducendo i costi tramite l'automazione intelligente. L'analisi di vaste aree di terreno e il miglioramento delle tecniche agricole sono resi possibili dalle immagini satellitari e dai video UAV. Attività come l'osservazione delle condizioni del campo, il rilevamento delle malattie delle colture, la valutazione dei livelli di umidità del suolo, la previsione dei modelli meteorologici e la stima della resa delle colture possono essere automatizzate utilizzando l'applicazione della visione artificiale. L'impiego della visione artificiale per monitorare gli animali è anche un aspetto cruciale della pratica agricola moderna.

Le seguenti strutture dimostrano l'impatto della visione artificiale nella trasformazione di diversi campi e la sua integrazione nell'Industria 4.0, dove la connettività dell'automazione e l'intelligenza artificiale sono fondamentali per un progresso sostenibile e competitivo.

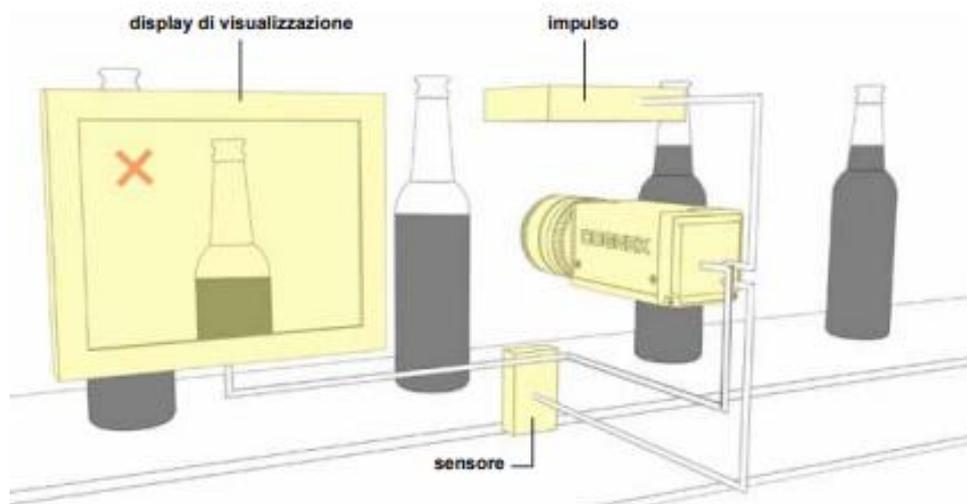
5.7 Machine Vision nell'Industria 4.0

La Machine Vision rappresenta una tecnologia fondamentale nell'ambito dell'Industria 4.0, grazie alla sua capacità di migliorare i processi produttivi attraverso l'automazione e il controllo qualità. Secondo l'Automated Imaging Association (AIA), le applicazioni di Machine Vision sono specificamente progettate per contesti industriali, dove le operazioni e le situazioni sono ben definite. Tra le sue applicazioni più comuni, spicca l'ispezione dei prodotti durante le operazioni di produzione.

A differenza della Computer Vision, la Machine Vision si distingue per la necessità di una robustezza e affidabilità superiori. I sistemi di Machine Vision sono progettati per funzionare in ambienti industriali, dove i requisiti di costo e prestazioni sono cruciali. Per questo motivo, essi utilizzano sensori digitali integrati in telecamere con ottiche specializzate, consentendo un'acquisizione d'immagine di alta qualità. Le immagini sono quindi elaborate attraverso algoritmi di image processing e modelli di intelligenza artificiale, i quali permettono di analizzare e interpretare i dati visivi per prendere decisioni informate.

La Machine Vision consente di acquisire informazioni visive in tempo reale, superando le limitazioni dei sensori tradizionali. Attraverso tecnologie avanzate, i sistemi possono identificare e misurare le caratteristiche degli oggetti, come forma, dimensioni e spigoli. Questo livello di precisione è essenziale per garantire un controllo qualità rigoroso lungo tutta la linea di produzione. Inoltre, le applicazioni sono spesso integrate in sistemi complessi, permettendo di monitorare la conformità dei prodotti e di gestire il conteggio degli stessi con un'unica interfaccia software.

Uno degli esempi più efficaci di Machine Vision si trova nel settore della produzione alimentare, come nel caso del controllo del livello di riempimento delle bottiglie in un birrificio. Ogni bottiglia di birra passa attraverso un sensore di ispezione che attiva un sistema di visione con luce stroboscopica e acquisisce un'immagine della bottiglia. Successivamente la archivia in memoria e un software di visione la elabora o la analizza emettendo una risposta di accettazione/rifiuto in base al livello di riempimento della bottiglia ed allo stesso tempo può contare il numero di bottiglie e controllare se le etichette sono nella posizione esatta.



Se il sistema rileva una bottiglia riempita in modo improprio (rifiuto), comunica a un deviatore di espellerla. Un operatore può visualizzare su un display le bottiglie scartate e una serie di statistiche. I sistemi di visione industriale possono anche eseguire misurazioni obiettive, ad esempio della distanza tra gli elettrodi di una candela, oppure fornire informazioni sulla posizione per guidare un robot nell'allineamento dei pezzi in un processo produttivo.

Attualmente gli utilizzi più consolidati della machine vision si collocano all'interno di soluzioni per la verifica della conformità dei prodotti, consentendo di fatto l'implementazione di sistemi di controllo di qualità sulla totalità della produzione, e nell'ottimizzazione delle automazioni basate su sistemi robotici utilizzate in fabbrica. In questo caso, i dati visuali acquisiti ed elaborati sulle parti in lavorazione permettono una migliore manipolazione del robot per la lavorazione del manufatto, quando non addirittura un auto-apprendimento del robot stesso in una logica di machine learning.

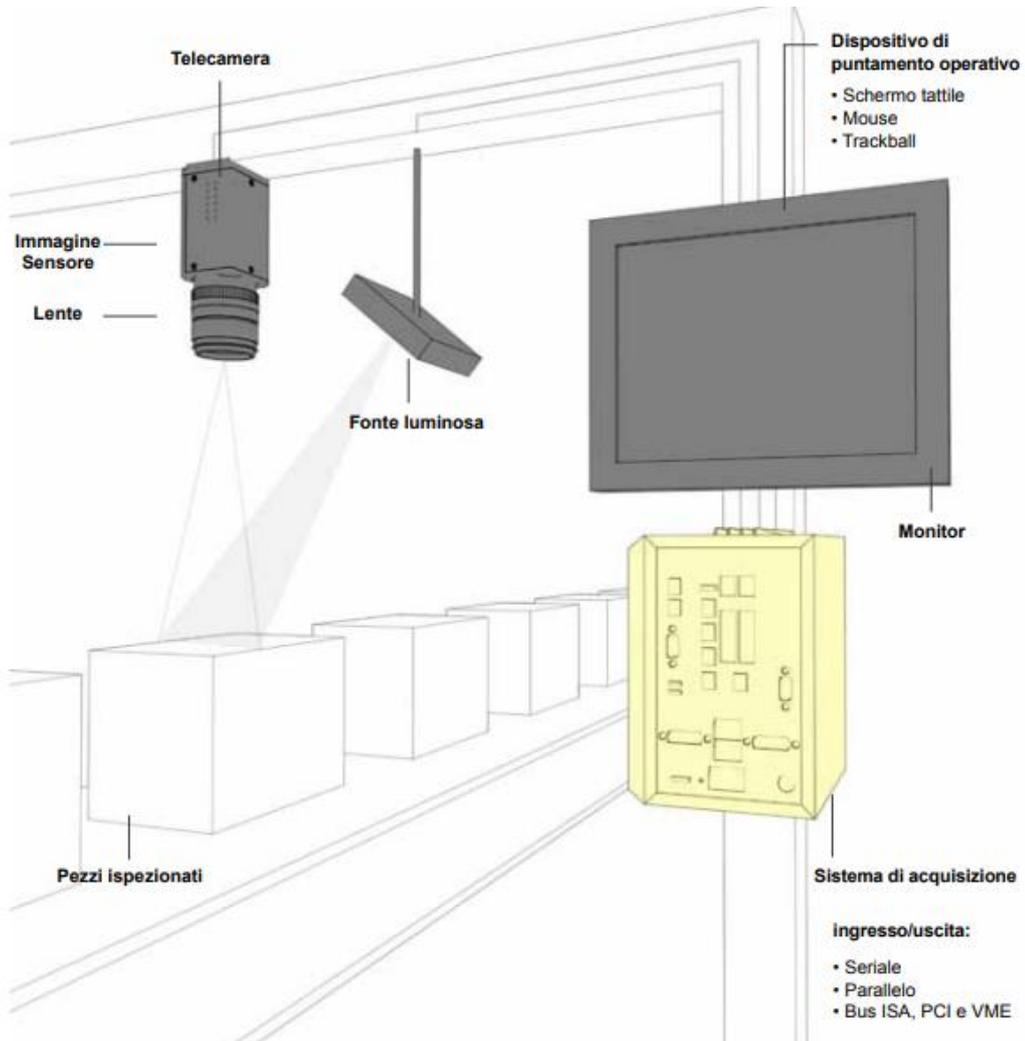
Negli ultimi anni, l'interesse per la Machine Vision è cresciuto esponenzialmente. Infatti, dopo un inevitabile calo nel 2020 a seguito della pandemia, la machine vision ha ripreso a crescere: in Europa l'aumento nel 2021 è stato del 17% e si stima un ulteriore 8% al termine del 2022.

5.8 Componenti della Machine Vision

I principali componenti del sistema di Machine Vision, fondamentali per garantire un'ispezione e un'analisi di alta qualità, sono:

- **Illuminazione:** essa serve a mettere in risalto le caratteristiche del pezzo affinché siano viste con chiarezza dalla telecamera;
- **Lenti e sensore di acquisizione:** La lente cattura le immagini e le presenta al sensore sotto forma di luce; invece, il sensore converte la luce in un'immagine digitale che è poi inviata al processore per l'analisi;

- **Elaborazione della visione:** L'elaborazione attraverso la visione consiste in algoritmi che rivedono l'immagine ed estraggono le informazioni richieste, svolgono l'ispezione necessaria e prendono una decisione.



(Immagine 2.1)

- **Comunicazione:** La comunicazione è solitamente effettuata tramite un segnale discreto I/O o dati inviati su connessione seriale ad un dispositivo che carica o utilizza le informazioni.

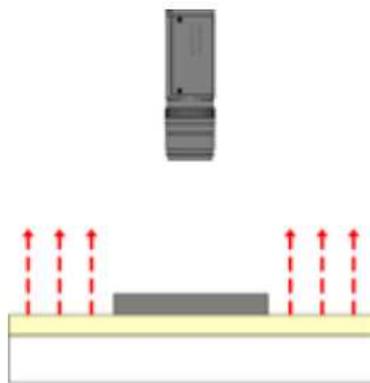
Le pagine che seguono presentano i componenti fondamentali del sistema di visione industriale: illuminazione, lenti, sensore di acquisizione, elaborazione delle immagini, elaborazione della visione, comunicazione.

5.8.1 Illuminazione

L'illuminazione è un elemento cruciale per ottenere risultati ottimali nei sistemi di visione industriale. La scelta della tecnica di illuminazione include sia la sorgente luminosa che il suo posizionamento rispetto all'oggetto e alla telecamera. Una particolare configurazione luminosa può alterare l'aspetto dell'immagine, nascondendo alcune caratteristiche o mettendone in risalto altre. Ad esempio, evidenziando il profilo di un componente, si possono oscurare i dettagli superficiali per facilitare la misurazione dei suoi bordi.

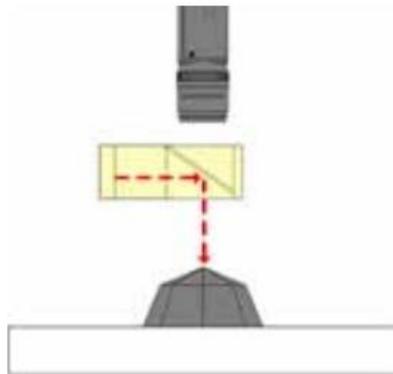
Le principali tecniche di illuminazione sono:

- **Retroilluminazione:**



L'oggetto è posizionato tra la sorgente luminosa e l'ottica. Quest'ultima tecnica è utilizzata principalmente per procedure di misura e posizionamento, poiché restituisce informazioni molto precise sui contorni dell'oggetto. (*Immagine 2.2*)

- **Illuminazione a diffusione assiale:**

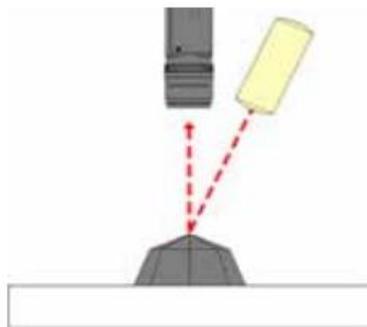


L'illuminazione a diffusione assiale unisce la luce ad un percorso ottico laterale. Uno specchio semi-trasparente illumina lateralmente e devia la luce verso il basso sul pezzo. Quest'ultimo riflette la luce indietro

verso la telecamera attraverso lo specchio semitrasparente, producendo un'immagine nitidamente illuminata e omogenea.

(Immagine 2.3)

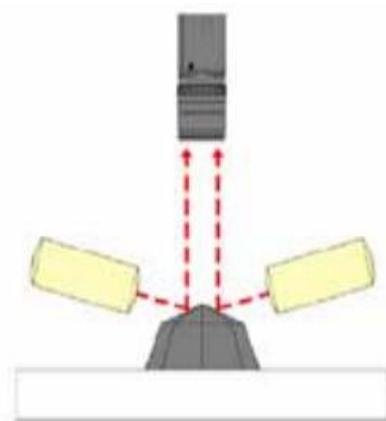
- **Illuminazione Diretta:**



La luce viene emessa frontalmente da un anello di LED posti intorno all'ottica. Ideale per ottenere ottimi contrasti su superfici opache, questa tecnica non è indicata per superfici

riflettenti. *(Immagine 2.4)*

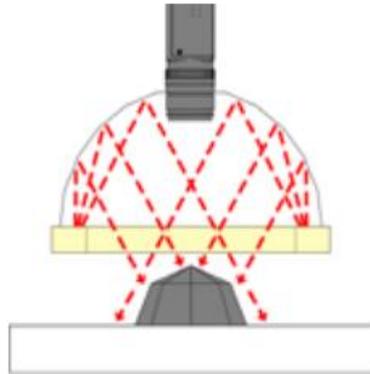
- **Illuminazione in campo scuro:**



L'illuminazione direzionale rivela meglio i difetti superficiali e comprende un'illuminazione in campo scuro e chiaro. L'illuminazione in campo scuro è generalmente scelta per applicazioni a basso contrasto. La luce speculare viene riflessa dalla

telecamera, e la luce diffusa dalla superficie e dalle variazioni del rilievo è riflessa nella telecamera. *(Immagine 2.5)*

- **Illuminazione Diffusa:**



La luce che colpisce l'oggetto è indiretta, ed è quindi adatta a superfici che provocherebbero riflessi con luce diretta. Può mascherare le irregolarità che non devono essere considerate e

possono confondere la scena. (*Immagine 2.5*)

5.8.2 Lenti

L'immagine viene catturata dalle lenti e trasmessa al sensore nella fotocamera. Le lenti variano in qualità ottica e costi, con lenti diverse che influenzano la risoluzione delle immagini e la qualità complessiva. I sistemi di visione solitamente presentano due opzioni di lenti: lenti intercambiabili o fisse.

La selezione della lente e dell'estensione corrette è fondamentale per catturare immagini di alta qualità. Le lenti fisse nei sistemi di visione indipendenti in genere impiegano la tecnologia autofocus che può consistere in lenti regolabili meccanicamente o lenti liquide che mettono a fuoco autonomamente il soggetto.

5.8.3 Sensore di Acquisizione

La capacità della fotocamera di acquisire un'immagine ben illuminata dell'oggetto esaminato dipende sia dalla lente che dal sensore di acquisizione

interno. Questo sensore, che di solito è un dispositivo ad accoppiamento di carica (CCD) o un semiconduttore a ossido di metallo complementare (CMOS), è responsabile della trasformazione della luce in segnali elettrici. Cattura la luce e la converte in immagini digitali regolando rumore, sensibilità e gamma dinamica.

L'immagine prodotta è composta da pixel: la luce fioca produce pixel scuri, mentre la luce intensa forma pixel luminosi. Per misurazioni precise è fondamentale che la fotocamera abbia una risoluzione adatta ai requisiti dell'applicazione. Una risoluzione maggiore produce immagini più complesse che facilitano ispezioni accurate. La determinazione della risoluzione dipende da fattori quali le dimensioni delle parti, le tolleranze richieste per l'ispezione e altri parametri rilevanti.

5.8.4 Elaborazione della Visione

L'elaborazione comporta il recupero di dati da un'immagine digitale, può avvenire esternamente nella configurazione del PC o internamente nel sistema di visione autonomo. Il software gestisce questo processo che comprende vari passaggi. Inizialmente il sensore cattura l'immagine. A volte può essere necessaria una pre-elaborazione per migliorare l'immagine e rendere visibili tutte le caratteristiche cruciali. Successivamente il software rileva caratteristiche particolari, esegue misurazioni e le verifica rispetto a criteri preimpostati. Alla fine viene determinata una scelta e vengono trasmessi i risultati.

Mentre molti elementi tangibili di un sistema di visione artificiale come l'illuminazione possono essere valutati utilizzando criteri tecnici, gli algoritmi

software svolgono un ruolo fondamentale nel determinare le preferenze della soluzione. Adattato a sistemi o applicazioni specifici, il software visivo modifica le impostazioni della telecamera, determina giudizi di accettazione o rifiuto, interagisce con i processi di produzione e aiuta a creare interfacce uomo-macchina (HMI).

5.8.4 Comunicazione

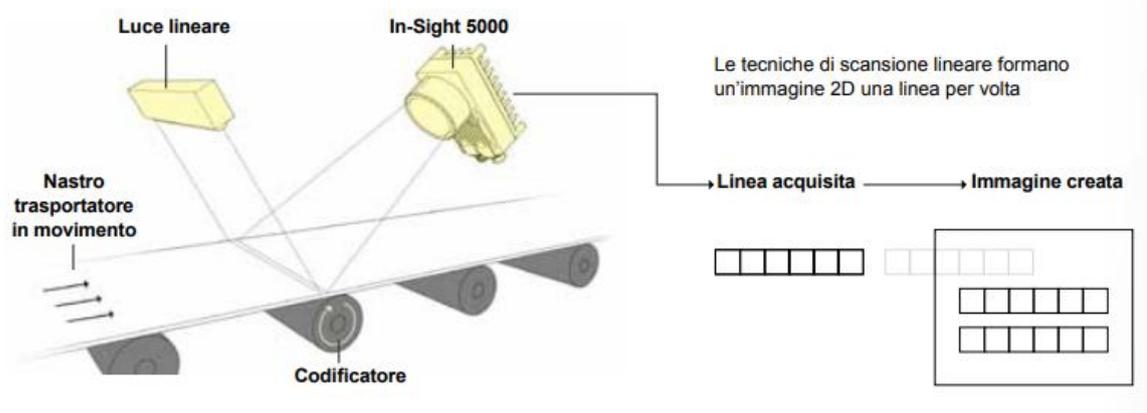
I sistemi di visione artificiale spesso utilizzano diverse parti commerciali e necessitano di un coordinamento senza soluzione di continuità e di una connettività rapida con altri componenti della macchina. Questa integrazione è solitamente ottenuta tramite segnali I/O discreti o trasferendo dati tramite connessioni seriali a un dispositivo che elabora le informazioni. I segnali I/O discreti possono collegarsi a un PLC che utilizza i dati per controllare le celle di lavoro o attivare indicatori visivi come torri faro. In alternativa, questi segnali possono connettersi direttamente a un solenoide per azionare meccanismi come gli espulsori di parti.

La trasmissione seriale dei dati può avvenire tramite un'uscita seriale RS-232 tradizionale o un collegamento Ethernet. A volte vengono utilizzati protocolli industriali più avanzati come Ethernet/IP per connettersi a dispositivi come schermi o interfacce operatore. Tali risorse offrono interfacce personalizzate per applicazioni specifiche, migliorando il monitoraggio e la gestione dei processi.

5.9 Tipi di Sistemi di Machine Vision

Le principali tecnologie impiegate per l'acquisizione delle immagini nell'Industria 4.0 includono:

- **Machine Vision 1D:** La visione 1D analizza un segnale digitale una linea per volta anziché considerando tutto l'insieme, ad esempio valutando la variazione tra il gruppo più recente di dieci linee acquisite e il gruppo precedente. Questa tecnica rileva e classifica i difetti sui materiali prodotti in continuo, come carta, metalli, plastica e altri fogli non tessuti o rotoli.
- **Machine Vision 2D:** Due sono i modi per ottenere immagini a due dimensioni.
 - **Camera Matriciale:** in questa modalità viene impiegata una camera matriciale, che esegue un'istantanea di un campo bidimensionale.
 - **Camera Lineare:** In questa tipologia invece si utilizza invece una camera lineare che acquisisce una sola linea di pixel e ha quindi bisogno di un movimento relativo tra camera e oggetto per scansionare il secondo. I sistemi a camera lineare sono più adatti a spazi ristretti, ad esempio quando la telecamera deve vedere tra i rulli di un trasportatore il fondo di un componente. Solitamente offrono anche una risoluzione molto più elevata delle telecamere tradizionali. Inoltre, dato che hanno bisogno di componenti in movimento per costruire l'immagine, sono perfetti per prodotti in continuo movimento. (*Immagine 2.6*)

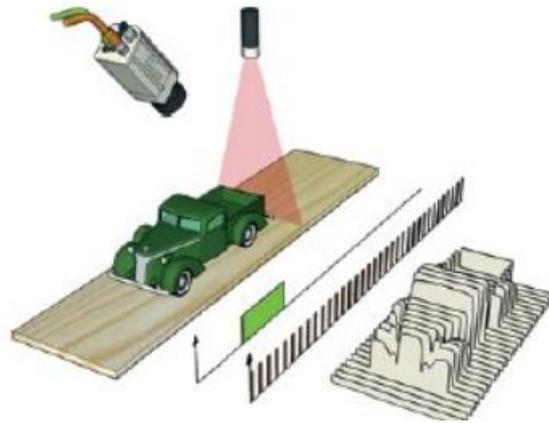


In entrambi i casi l'illuminazione è fondamentale che può essere diretta, diffusa o retroilluminazione. A seconda delle caratteristiche che si vogliono evidenziare nell'immagine, sono tre le tecniche di illuminazione più utilizzate sono quella diretta, diffusa e retroilluminazione.

La visione artificiale 2D è particolarmente per impieghi in cui è richiesto un contrasto elevato o qualora siano importanti texture e colore. Affinché l'applicazione sia robusta è necessario che il metodo di illuminazione scelto permetta di acquisire immagini con elevato contrasto tra l'oggetto da analizzare e lo sfondo.

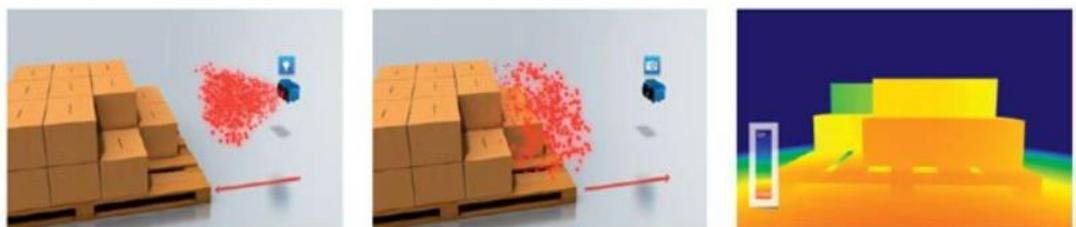
- **Machine Vision 3D:** Le tecniche della machine vision 3D possono essere raggruppate in due differenti modalità:
 - **Scansione:** La tecnica di scansione che prevede l'utilizzo di sistemi a triangolazione laser tramite i quali l'oggetto viene accuratamente ricostruito in tre dimensioni. Nello specifico abbiamo una lama laser disegna il profilo dell'oggetto mentre esso si muove sotto alla camera (o viceversa, il sistema di visione viene fatto traslare sopra all'oggetto fermo). Profili successivi vengono acquisiti dalla camera e poi rimessi insieme a creare

l'immagine 3D dell'oggetto. Tipicamente il segnale di un encoder viene utilizzato per fare in modo che profili successivi siano equidistanti anche in caso di variazioni di velocità. Questa tecnologia permette di ricostruire l'oggetto con alta precisione.



(Immagine 3.1)

- **Istantanee:** Si utilizzano invece tecniche volte a ricostruire la forma e la posizione degli oggetti nello spazio e ottenere una forma approssimata dell'oggetto: questa tecnica risulta meno precisa dell'altra. Ad esempio, con la tecnologia Time-of-Flight viene misurato il tempo di volo di un segnale luminoso emesso da una sorgente posta vicino al sensore. In questo modo è possibile calcolare la distanza dell'ostacolo incontrato in una determinata direzione, ricostruire così una nuvola di punti tridimensionale che approssimi la forma dell'oggetto inquadrato. L'accuratezza della ricostruzione è inferiore rispetto alle tecniche basate sulla scansione. (Immagine 3.2)



Le tecnologie 3D consentono una ricostruzione accurata degli oggetti nello spazio utilizzando la triangolazione laser o tecniche di scansione. Questi sistemi sono utilizzati per ottenere una rappresentazione più dettagliata e precisa degli oggetti, migliorando così la capacità di manipolare e analizzare componenti complessi.

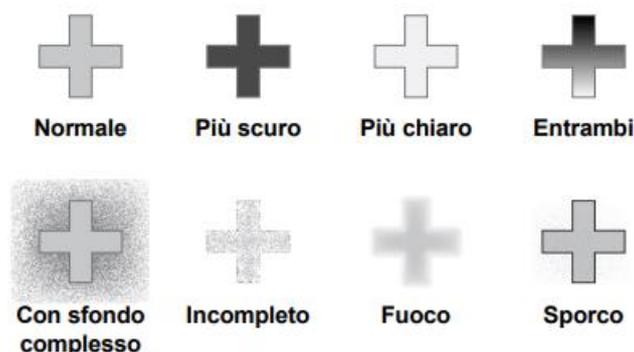
Oltre alla scelta della tecnologia migliore per l'acquisizione delle immagini, il setup di un sistema di visione può variare molto anche in base alla complessità dell'analisi necessaria. Si può spaziare dalla semplice installazione di un sensore di visione configurabile, che può essere fatta anche da un utente senza esperienza, alla creazione di un progetto complesso, che include lo sviluppo di programmi ed algoritmi software. Tuttavia, questa flessibilità, tipica della visione artificiale, rende questi sistemi più efficienti e robusti in applicazioni sfidanti rispetto alla sensoristica classica.

5.10 Localizzazione dell'oggetto della Machine Vision

Che si tratti di una semplice verifica di componenti assemblati o di un prelievo robotizzato da un contenitore in uno spazio 3D, solitamente la prima fase di qualsiasi applicazione di visione industriale per la verifica della corrispondenza dei modelli è la localizzazione del componente o della caratteristica di interesse all'interno del campo visivo della telecamera. Questa fase spesso determina il successo o il fallimento del sistema. Se il software non è in grado di localizzare con esattezza il componente all'interno dell'immagine, non potrà poi guidarlo, ispezionarlo, misurarlo, contarlo o identificarlo.

Trovare un componente può sembrare facile; tuttavia, in un ambiente di produzione reale, può rivelarsi assai difficile a causa delle possibili variabili nell'aspetto e delle diverse velocità. Sebbene i sistemi di visione siano progettati per riconoscere i componenti sulla base di un modello geometrico, anche nei processi più controllati l'aspetto dei prodotti ha un certo margine di variabilità.

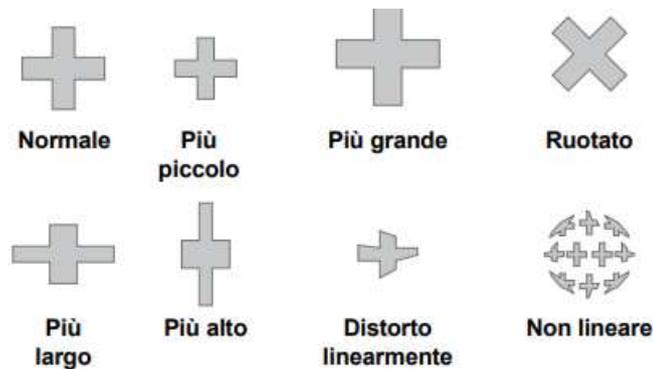
Ad esempio, l'illuminazione insufficiente o mal direzionata può generare ombre, che compromettono il contrasto tra l'oggetto e lo sfondo, rendendo difficile la segmentazione accurata del componente. Inoltre, oggetti in movimento possono presentare una variazione di velocità che richiede sistemi capaci di adattarsi dinamicamente.



(Immagine 2.6)

Per affrontare queste sfide, vengono utilizzate diverse tecniche di illuminazione e ottimizzazione della configurazione del sistema. Ad esempio, l'uso di illuminazione diffusa riduce le ombre e fornisce un'immagine più uniforme, mentre l'illuminazione a retroproiezione è ideale per ottenere un profilo chiaro dell'oggetto, evidenziando bordi e contorni per una localizzazione precisa. Queste tecniche sono cruciali per ottenere un elevato contrasto e migliorare la robustezza del sistema

Oltre all'illuminazione, esistono altre variabili che possono influire sulla localizzazione. Una delle più comuni è l'**orientamento dell'oggetto**: gli oggetti possono presentarsi in diverse posizioni o angolazioni all'interno del campo visivo della telecamera, complicando la fase di riconoscimento.



(Immagine 2.7)

Anche la **velocità di movimento** lungo la linea di produzione può causare distorsioni, poiché la telecamera potrebbe non avere il tempo sufficiente per acquisire immagini nitide. Inoltre, la **presentazione del componente** stessa può variare: piccoli cambiamenti nell'aspetto o nella forma di un pezzo possono confondere i modelli di riconoscimento basati su feature geometriche.

Per superare queste difficoltà, vengono utilizzati strumenti di localizzazione avanzati, basati su modelli geometrici e algoritmi di apprendimento automatico. Uno degli approcci più comuni è il Pattern Matching, in cui il sistema confronta il modello geometrico dell'oggetto di riferimento con l'immagine acquisita, cercando corrispondenze tra le caratteristiche chiave, come contorni, angoli e punti di interesse.

Gli strumenti di localizzazione più avanzati, come i sistemi di visione basati su Deep Learning, sono capaci di apprendere da grandi quantità di dati di

addestramento e sono in grado di riconoscere e localizzare componenti anche in presenza di variabili estreme, come variazioni di illuminazione, oclusioni o deformazioni. Questi sistemi migliorano notevolmente la precisione e l'affidabilità rispetto ai metodi tradizionali, offrendo prestazioni migliori in contesti produttivi complessi.

Uno degli esempi più rilevanti dell'uso di sistemi avanzati di localizzazione in ambienti di produzione è il **bin picking** robotizzato. In questa applicazione, il sistema di visione deve individuare e localizzare componenti disposti in modo casuale all'interno di un contenitore, spesso sotto illuminazione non ottimale e con parti occluse. L'utilizzo di strumenti di Machine Vision, abbinati a tecniche di riconoscimento avanzate come il Deep Learning, permette di localizzare con precisione gli oggetti e di guidare il robot per prelevarli, riducendo errori e aumentando l'efficienza del processo.

5.11 Applicazioni industriali della Machine Vision

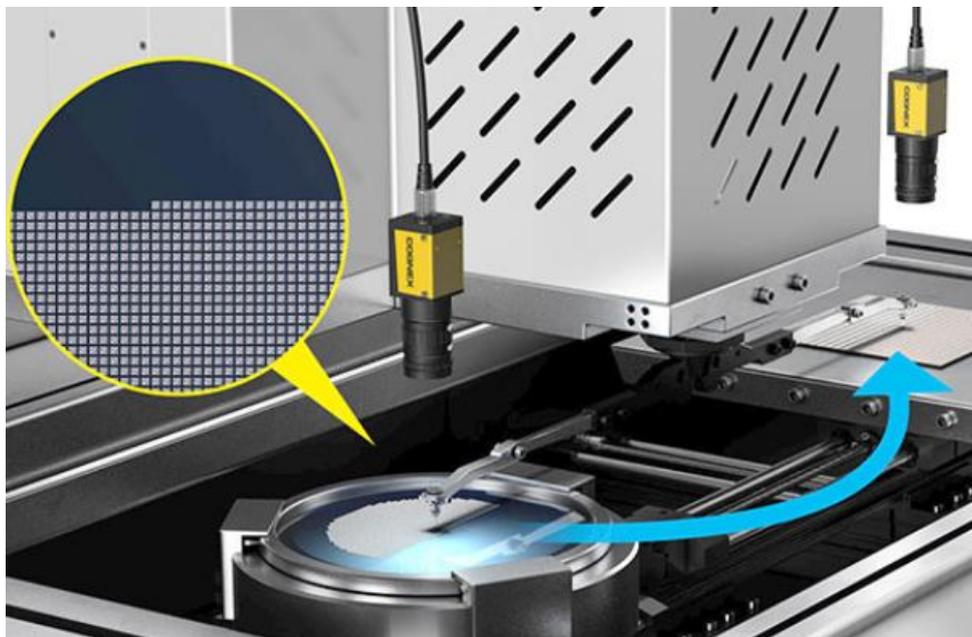
La localizzazione dei componenti rappresenta una fase preliminare fondamentale in molte applicazioni di visione industriale. Essa come visto consente di individuare con precisione il componente o la caratteristica di interesse all'interno del campo visivo, garantendo così che i successivi processi possano essere eseguiti correttamente. Solo dopo aver localizzato il componente, il sistema può procedere con le principali applicazioni della visione industriale che approfondiremo nel prossimo capitolo.

5.11.1 Guida

La guida può essere necessaria per diversi motivi. Innanzitutto, le funzioni come l'assemblaggio, il Pick-and-place e l'ispezione dipendono dalla capacità della, i sistemi di localizzazione della Machine Vision di determinare la posizione e l'orientamento del componente, confrontarlo con una specifica

Dopodiché la guida può essere usata per comunicare la posizione e l'orientamento del componente ad un controller del robot o della macchina in uno spazio 2D o 3D, in modo che il robot possa localizzare il pezzo e la macchina possa allinearli.

La guida della Machine Vision consente una maggiore velocità e accuratezza rispetto al posizionamento manuale per operazioni come la sistemazione dei pezzi depositati o prelevati dai pallet, l'imballaggio degli articoli da un nastro trasportatore e l'allineamento per assemblarli con altri componenti, depositarli su un ripiano o toglierli da un contenitore.

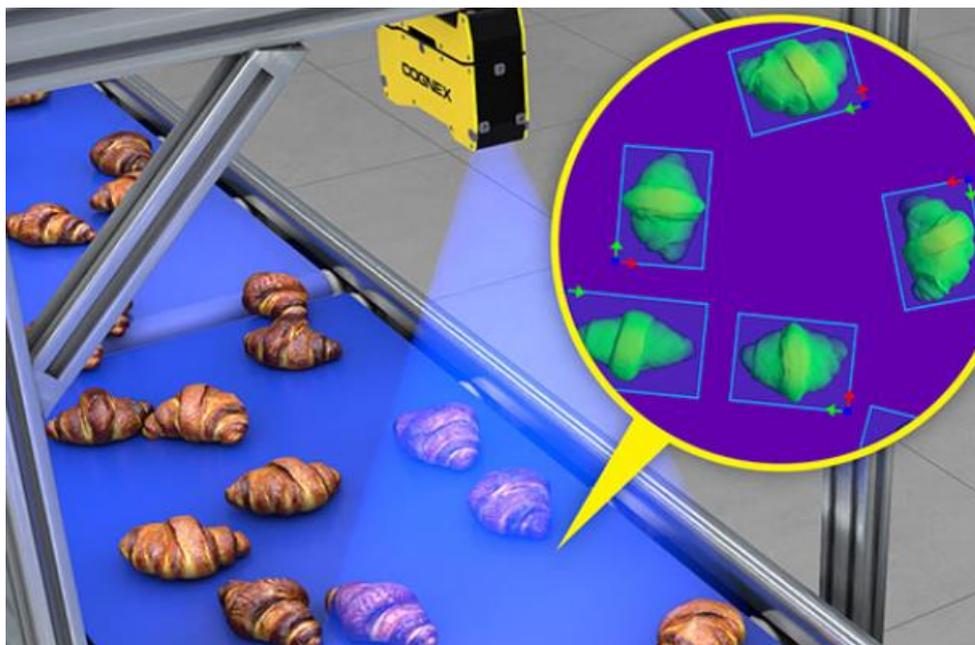


Es: Assemblaggio di microchip che richiedono una precisione nell'ordine dei micron (Immagine 2.8)

La guida può anche essere usata per l'allineamento con altri strumenti di Machine Vision. Si tratta di un elemento particolarmente importante per questo tipo di visione, perché le parti durante la produzione possono presentarsi alla telecamera con orientamenti casuali.

La localizzazione e l'allineamento con altri strumenti di visione permette il fissaggio automatico degli strumenti. A questo scopo è necessario identificare le caratteristiche essenziali di un componente per consentire il posizionamento preciso dello strumento Caliper, blob, bordi o di altri software di visione in modo che interagiscano correttamente con il pezzo. Questo approccio permette di fabbricare diversi prodotti sulla stessa linea e ridurre la necessità di strumentazione costosa per mantenere la posizione del pezzo durante l'ispezione.

tolleranza e assicurare che abbia la corretta angolazione per l'assemblaggio.



Es: Rilevamento di pezzi su un nastro trasportatore per l'ispezione.

(Immagine 2.9)

Talvolta la guida richiede l'ispezione delle strutture geometriche. Gli strumenti di rilevamento della struttura sono in grado di tollerare ampie variazioni di contrasto e luminosità, oltre a diversa scala, rotazione e altri fattori: dunque possono trovare l'elemento in modo sempre affidabile. Ciò è possibile in quanto le informazioni sulla localizzazione ottenute dal rilevamento delle strutture consentono l'allineamento di altri software di visione industriale.

Rispetto al posizionamento manuale, la guida automatizzata permette velocità e precisione superiori, riducendo al minimo errori umani e migliorando l'efficienza. Questo è particolarmente evidente in operazioni delicate come l'assemblaggio di microchip, che richiedono precisione micrometrica.

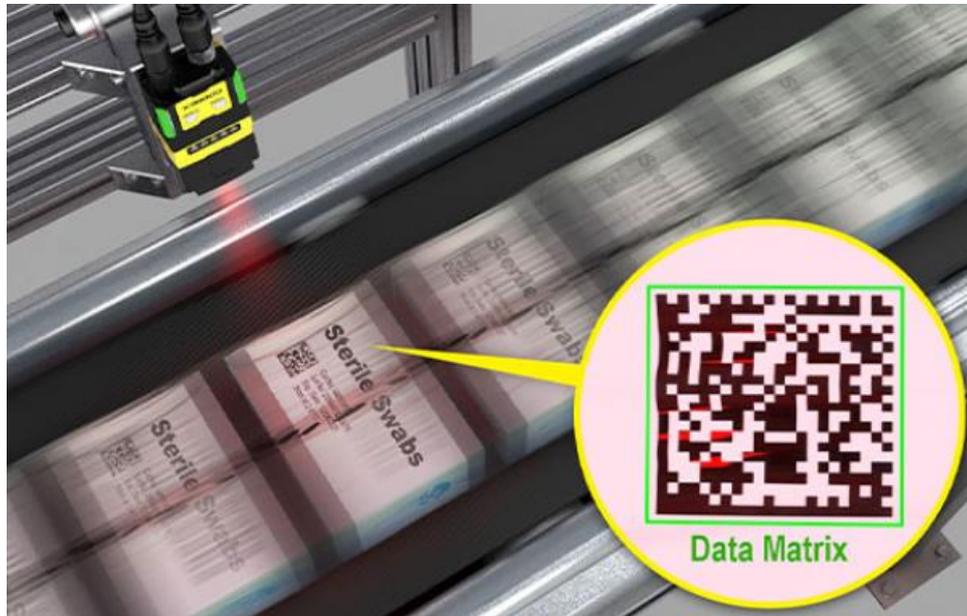
5.11.2 Identificazione

I sistemi di Machine Vision sono in grado di eseguire una varietà di compiti di identificazione e riconoscimento, supportando diverse tecnologie per la lettura di codici e caratteri. Essi possono leggere:

- Codici a barre (1-D)
- Codici Data Matrix (2-D)
- Codici DPM (Direct Part Marks)
- Caratteri stampati su pezzi, etichette e confezioni

I codici a barre tradizionali (1-D) sono comunemente utilizzati per la gestione al dettaglio e degli inventari, la tracciabilità in ambito industriale richiede un volume di informazioni maggiore. Per questo motivo, sono stati sviluppati i

codici 2-D, come i codici Data Matrix, capaci di contenere informazioni aggiuntive come produttore, identificativo del prodotto, numero di lotto e un numero di serie unico per ogni unità.



Es: Offrire una accurata tracciabilità delle forniture mediche. (Immagine 2.10)

I codici a barre sono presenti ovunque nell'industria moderna, ma il testo stampato leggibile dall'uomo è ancora essenziale, in particolare per la vendita al dettaglio, la produzione, la farmaceutica e le supply chain di alimenti e bevande, per identificare le date di scadenza, i numeri di lotto e altre informazioni importanti. Per essere utile nella moderna elaborazione ad alta velocità, il testo deve essere leggibile in modo affidabile dalle macchine. I sistemi di visione artificiale possono leggere questi codici nell'arco di millisecondi con una precisione del 99,99%. Il riconoscimento ottico dei caratteri (OCR), che permette di leggere stringhe alfanumeriche senza un apprendimento preventivo. In parallelo, la verifica ottica del carattere (OCV)

viene utilizzata per confermare la presenza e la correttezza di stringhe specifiche di caratteri.



Es: Classificare un pezzo in base ai caratteri stampati su di esso (OCR).

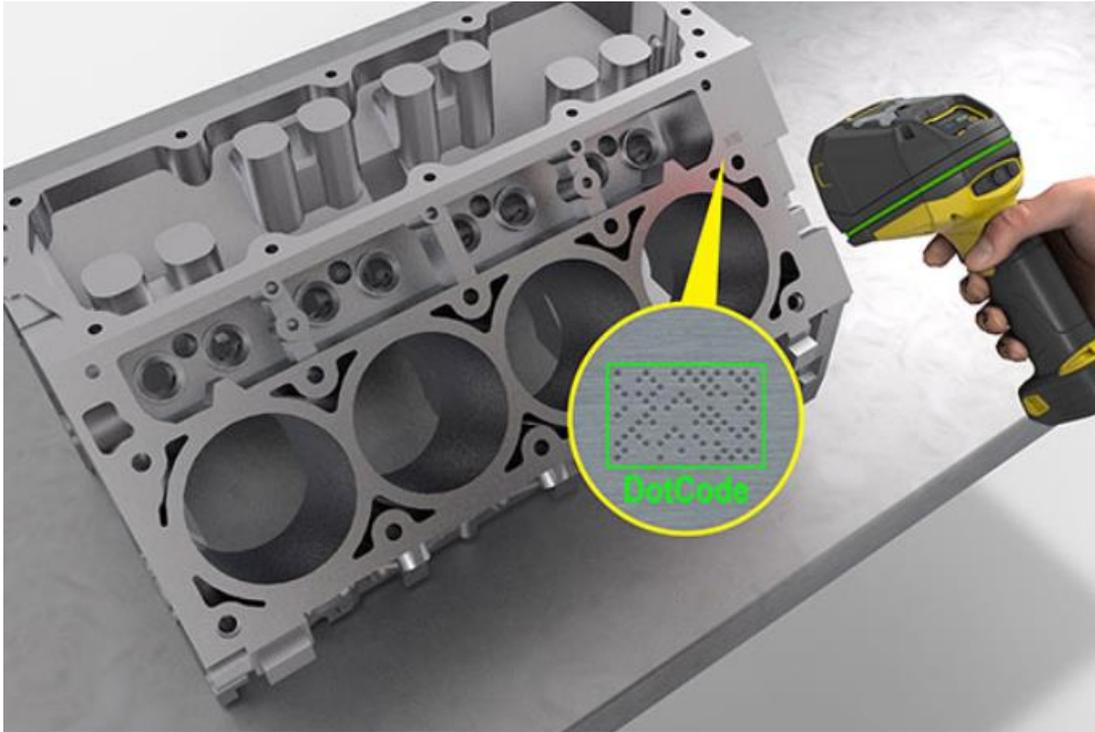
(Immagine 2.11)



Es: Controllare se una data di scadenza o un numero di lotto sono stampati correttamente (OCV). (Immagine 2.12)

Oltre a queste funzioni, i sistemi di Machine Vision possono identificare componenti localizzando modelli unici basati su caratteristiche come colore, forma o dimensione.

Nelle applicazioni industriali, una tecnica importante è quella del Direct Part Marking (DPM), che permette di marcare un codice o una stringa di caratteri direttamente sul componente. Questa tecnica è ampiamente utilizzata per il controllo di errori, il monitoraggio dei processi produttivi, e la valutazione della qualità. Permette ai produttori di identificare facilmente le problematiche nella produzione, come colli di bottiglia, migliorando la tracciabilità dei componenti e verificando l'autenticità dei pezzi. I dati raccolti grazie al DPM possono essere impiegati per fornire supporto tecnico, garantire la tracciabilità di riparazioni in garanzia e documentare la genealogia delle parti che compongono un prodotto finito.



Es: Assicurare l'assemblaggio dei componenti corretti. (Immagine 2.13)

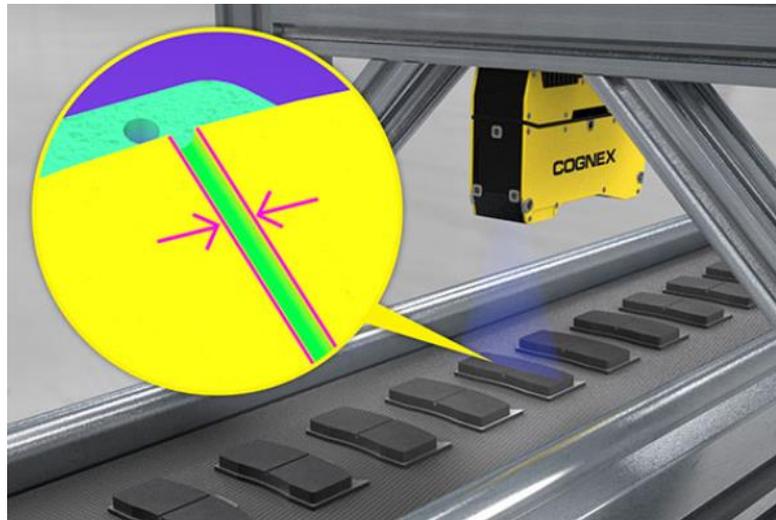
5.11.3 Misurazione

Una produzione precisa richiede la misurazione accurata di distanze, aree, diametri e altro ancora. La misurazione manuale con manometri, calibri o maschere di ispezione è lenta e introduce discrepanze.

Il sistema di Machine Vision per la misurazione calcola la distanza tra due o più punti o la posizione geometrica su un oggetto e determina se queste misure corrispondono alle specifiche. In caso contrario, il sistema invia un segnale di rifiuto al controller della macchina, attivando un meccanismo che espelle l'oggetto dalla linea.

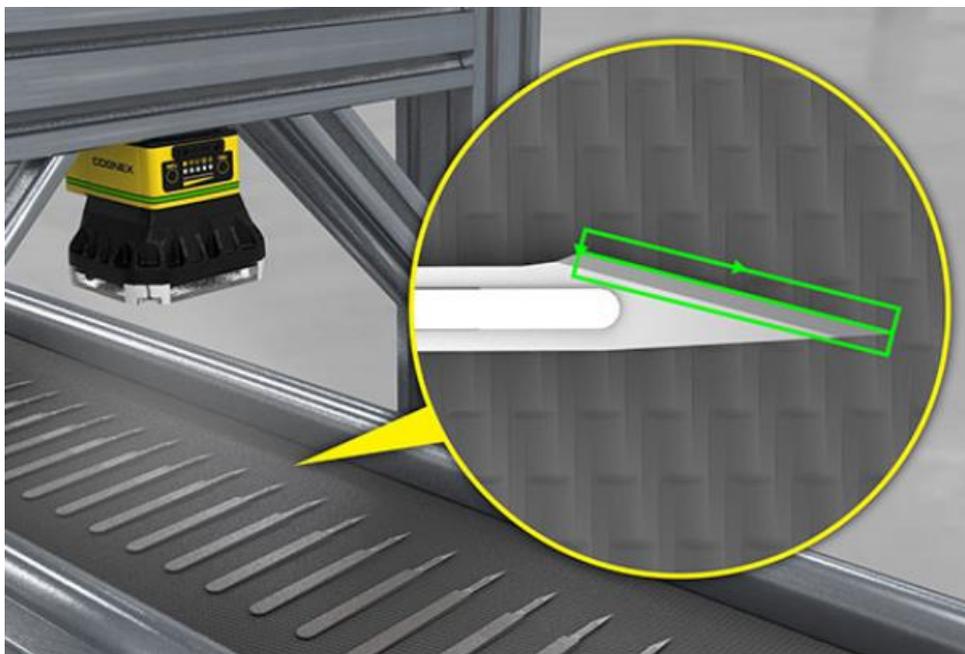
In pratica, una telecamera fissa cattura le immagini dei pezzi che passano nel suo campo visivo e il sistema usa il software per calcolare la distanza tra diversi punti nell'immagine.

Poiché molti sistemi sono in grado di misurare oggetti con una precisione di 0.0254 millimetri, sono adatti a molte applicazioni tradizionalmente gestite con misurazioni da contatto.



Es: Acquisizione delle dimensioni dei pezzi pressofusi e stampati a iniezione.

(Immagine 2.14)



Es: Misurazione della rotondità e dell'angolo delle punte sui pezzi. (Immagine

2.15)

5.11.4 Ispezione

Il sistema di visione industriale permette l'ispezione di difetti, contaminazioni, imperfezioni funzionali e altre irregolarità nei prodotti finiti. Ad esempio, è possibile verificare eventuali difetti in compresse farmaceutiche, controllare la presenza di icone o pixel specifici sui display e valutare il livello di contrasto dei touch screen.

I difetti possono verificarsi in qualsiasi fase del processo produttivo, dai problemi di qualità delle materie prime o dei componenti fino all'ispezione finale. Le ispezioni per individuare i difetti sono state tradizionalmente eseguite manualmente, da personale specializzato.

La visione artificiale rappresenta un significativo miglioramento rispetto all'ispezione umana: opera alla stessa velocità della linea di produzione, non si stanca, è in grado di rilevare anche difetti piccoli e imprevisti e memorizza le informazioni per un miglioramento operativo continuo.



Es: Ricerca di connettori allentati, fili mal saldati, cuciture difettose o tubi crimpati in modo improprio. (Immagine 2.16)

La Machine Vision si occupa anche di controllare la completezza dei prodotti, come la corrispondenza tra prodotto e imballaggio nei settori alimentare e farmaceutico, oppure l'integrità di sigilli di sicurezza, tappi e anelli sulle bottiglie.

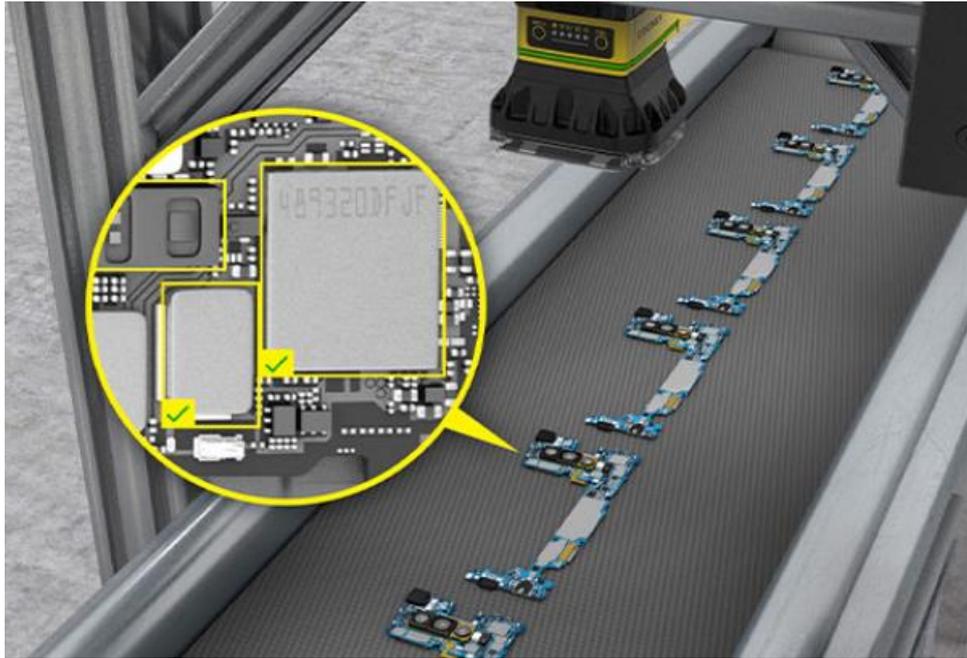


Es: Individuazione di contaminanti o di altri problemi nei prodotti alimentari.

(Immagine 2.17)

5.11.5 Conteggio degli oggetti

La determinazione della presenza o dell'assenza e il conteggio degli oggetti è una funzione ampiamente utilizzata nella gestione dell'inventario, nelle linee di produzione e prima di rilasciare o accettare spedizioni. Sia l'ispezione manuale che il conteggio meccanico sono lenti e soggetti a errori, rispetto ai sistemi di visione industriale ad alta velocità e precisione.



Es: Confermare la presenza di tutti i componenti elettronici su un circuito stampato. (Immagine 2.18)

5.12 Vantaggi Machine Vision

Molte soluzioni tecnologiche si affidano ai sistemi di visione per aiutare le aziende italiane a muoversi verso l'automazione 4.0. Oltre alle applicazioni specifiche su misura per le esigenze di ogni azienda, i sistemi di visione artificiale offrono ampi vantaggi che includono:

- **Affidabilità e continuità dei controlli:** La coerenza e l'efficacia dei controlli sono evidenti che supervisionare tutti gli articoli alla fine della linea di produzione è poco pratico. Mantenere un'attenzione intensa per lunghi periodi è difficile, portando a trascurare articoli difettosi che causano interruzioni e ritardi nelle fasi successive. L'implementazione di sistemi di visione offre un vantaggio significativo in quanto possono ispezionare ogni articolo prodotto senza compromettere la qualità. Le

ricerche indicano che l'impiego di sistemi di visione artificiale può ridurre i difetti del 30-50% rispetto ai controlli manuali, migliorando al contempo la velocità operativa del 20%.

- **Rapidità nelle fasi di controllo:** Il monitoraggio automatizzato con sistemi di visione può controllare rapidamente il processo di produzione, ridurre la necessità di controlli manuali e accelerare la catena di fornitura. Questo monitoraggio rapido consente un flusso continuo tra le fasi di produzione senza ritardi.
- **Tutela degli operatori:** In condizioni difficili con rumore, alte temperature o sostanze pericolose, l'uso di sistemi di visione automatici avvantaggia l'operatore proteggendolo da disagio e stress. Seguire gli standard internazionali di sicurezza sul posto di lavoro come ISO 45001 automatizzando il processo in un ambiente rischioso riduce notevolmente il rischio per la salute dell'operatore. Ciò migliora la qualità dell'ambiente di lavoro e riduce i tassi di incidenti.
- **Precisione delle verifiche:** La precisione delle ispezioni I sistemi basati sulla visione artificiale utilizzano software per analizzare piccoli pezzi e dettagli rilevando difetti con una precisione fino a 0,01 mm. Questa capacità di rilevamento precisa è molto apprezzata nel settore dei semiconduttori, dove anche piccole variazioni possono avere un impatto sull'intero processo di produzione. A differenza degli operatori umani che possono avere difficoltà con la concentrazione sostenuta, questi sistemi si basano su algoritmi avanzati per l'identificazione

meticolosa dei difetti.

- **Machine vision e imprese data-driven:** Oltre ai diversi utilizzi abilitati dai sistemi di visione artificiale, le informazioni raccolte tramite queste soluzioni sono estremamente utili per ottimizzare il processo di produzione e le operazioni aziendali complessive. Sfruttando un approccio basato sui dati, le organizzazioni possono migliorare l'efficienza e l'efficacia implementando tempestivamente misure correttive basate su dati completi raccolti dai sistemi di visione artificiale.

5.13 Svantaggi della Machine Vision

I sistemi di visione artificiale offrono molti vantaggi, tuttavia è essenziale valutare anche gli svantaggi correlati al loro utilizzo. Di seguito sono elencati i principali svantaggi supportati da fonti attendibili:

- **Costi di Implementazione:** L'implementazione di sistemi di visione artificiale può comportare costi sostanziali che coprono le spese per l'acquisizione di hardware e software nonché la formazione del personale. Queste spese iniziali possono rappresentare delle sfide per le piccole e medie imprese. Le ricerche di Vision Systems Design indicano che i costi variano notevolmente a seconda della complessità del sistema e dei requisiti aziendali.
- **Limitazioni nel Riconoscimento:** I sistemi di visione artificiale possono avere difficoltà a identificare gli oggetti quando le condizioni di luce cambiano o se i componenti sono difettosi. Addestrare

correttamente gli algoritmi di visione artificiale per l'uso in contesti di produzione complessi è un compito impegnativo, come evidenziato in un articolo di ScienceDirect. Queste sfide con il riconoscimento e la formazione potrebbero limitare l'adozione della tecnologia in alcune applicazioni.

- **Manutenzione e Aggiornamenti:** I sistemi di visione artificiale necessitano di manutenzione di routine e aggiornamento software per funzionare in modo efficiente. Trascurare la manutenzione può comportare prestazioni ridotte e maggiori spese operative. Come affermato da Automation World, le aziende dovrebbero allocare risorse e tempo per la manutenzione del sistema di visione artificiale per mantenerli aggiornati ed efficaci.
- **Resistenza al Cambiamento:** Incorporare la visione artificiale nei processi di produzione può incontrare l'opposizione dei dipendenti abituati ai metodi convenzionali. Fornire formazione e guida durante il passaggio all'automazione potrebbe essere essenziale per promuovere un'adozione positiva della tecnologia. Un articolo su Manufacturing.net evidenzia l'importanza della cultura aziendale e della gestione del cambiamento nel raggiungimento di un'integrazione prospera della visione artificiale.

5.14 Conclusioni

Nei capitoli da 5 a 5.13, un esame dettagliato dei sistemi di visione artificiale rivela un campo intricato e diversificato. Queste innovazioni offrono un potenziale significativo per le aziende contemporanee consentendo di migliorare i livelli di accuratezza, produttività e sicurezza. Il monitoraggio e l'analisi in tempo reale della produzione presentano un vantaggio concreto nel ridurre al minimo gli errori, semplificare le operazioni e migliorare il benessere dei dipendenti sul posto di lavoro.

È fondamentale considerare le difficoltà e gli svantaggi legati a queste tecnologie. I costi di implementazione, le restrizioni nel riconoscimento degli oggetti e la manutenzione continua richiedono una pianificazione approfondita e risorse sufficienti. Inoltre, superare la resistenza del personale al cambiamento è una sfida che le aziende devono affrontare con attenzione e impegno.

Nell'attuale mondo tecnologico in rapida evoluzione è importante che le organizzazioni vedano la visione artificiale non solo come una soluzione meccanica, ma come un modo per migliorare le relazioni e il benessere sul posto di lavoro. Fornire una formazione e un supporto adeguati ai dipendenti è essenziale per aiutare con una transizione graduale verso i sistemi di visione artificiale, creando un ambiente in cui innovazione e intelligenza artificiale possano lavorare insieme alle competenze umane in modo efficace.

I sistemi di visione artificiale possono cambiare significativamente lo scenario industriale. È importante che le aziende adottino questo cambiamento in modo ponderato ed equilibrato per sfruttare efficacemente la tecnologia e promuovere un futuro in cui il lavoratore umano e l'automazione possano coesistere armoniosamente.

6. Sitografia

<https://antsolutions.eu/it/blog/industria-4-0-nella-fabbrica-come-si-chiama/>

<https://www.industry4business.it/industria-4-0/supply-chain-piu-resistenti-e-resilienti-con-le-tecnologie-avanzate/>

<https://blog.keb.it/articoli/come-intelligenza-artificiale-sta-rivoluzionando-i-processi-produttivi-vantaggi-e-applicazioni>

<https://performahrm.com/il-progetto-lo-strumento-che-migliora-la-gestione-delle-candidature/?msclkid=d379049a92421b655c25620ede312545>

<https://www.officeautomation.soiel.it/lintelligenza-artificiale-in-fabbrica/>

<https://blog.keb.it/articoli/come-intelligenza-artificiale-sta-rivoluzionando-i-processi-produttivi-vantaggi-e-applicazioni>

<https://www.ptc.com/it/blogs/iiot/what-is-ai-in-predictive-maintenance>

<https://www.kablator.com/sistemi-di-visione-artificiale-nellindustria/>

<https://www.digital4.biz/executive/predictive-analytics-cos-e-l-analisi-predittiva-e-come-l-ai-aiuta-a-prevedere-il-futuro/>

<https://formlabs.com/it/blog/personalizzazione-di-massa/>

<https://www.4ward.it/blog/intelligenza-artificiale-nel-manufacturing-come-perch%C3%A9-vantaggi-e-strumenti>

<https://connectif.ai/it/blog/ia-in-azione-5-modi-per-potenziare-il-marketing-omnicanale/>

<https://www.smactory.com/industria4-0-definizione-e-benefici/>

<https://biblus.acca.it/manutenzione-industriale/#:~:text=La%20%E2%80%9Cmanutenzione%20industriale%E2%80%9D%2C%20conosciuta,in%20ottime%20condizioni%20di%20lavoro.>

<https://www.mainsim.com/academy/tipi-di-manutenzione/>

<https://www.appsistance.it/tipi-di-manutenzione-la-normativa-uni-10147/>

<https://industrialexpertise.henkel-adhesives.com/manutenzione-proattiva-cos%C3%A8-e-perch%C3%A9-scegliala>

https://it.wikipedia.org/wiki/Manutenzione_migliorativa

<https://www.universal-robots.com/it/blog/manutenzione-predittiva-nel-2024-si-fa-con-intelligenza-artificiale/>

<https://www.zerounoweb.it/resource-center/data-science-machine-learning/manutenzione-predittiva-cose-e-come-farla-con-intelligenza-artificiale-e-iot/>

<https://www.keplerotech.com/manutenzione-predittiva/manutenzione-predittiva-iot-machine-learning/#:~:text=Il%20machine%20learning%20abilita%20la,gli%20algoritmi%20di%20apprendimento%20automatico.>

<https://www.sap.com/italy/products/artificial-intelligence/what-is-iot.html>

<https://www.keplerotech.com/manutenzione-predittiva/simulazione-iot/>

https://www.google.com/search?q=Implementazione+della+manutenzione+predittiva&oq=Implementazione+della+manutenzione+predittiva&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIHCAEQIRigATIHCAIQIRigAdIBCDExNDFqMGo3qAIAAsAIA&sourceid=chrome&ie=UTF-8

<https://www.bnova.it/analytics/manutenzione-predittiva-digital-manufacturing/#:~:text=L'implementazione%20della%20manutenzione%20predittiva,questi%20sistemi%20con%20le%20operazioni>

<https://www.tesionline.it/tesi/brano/storia-ed-evoluzione-della-manutenzione/7169>

https://it.wikipedia.org/wiki/Internet_delle_cose

https://blog.osservatori.net/it_it/cos-e-internet-of-things

<https://aws.amazon.com/it/what-is/iot/>

<https://www.acs.it/it/blog/digitalizzazione-aziendale/internet-of-things-cos-e/>

<https://www.zebra.com/us/en/resource-library/faq/what-is-the-difference-between-machine-vision-computer-vision.html#:~:text=Computer%20vision%20systems%20can%20gain,as%20possible%20about%20an%20object.>

https://it.wikipedia.org/wiki/Visione_artificiale#Storia

https://blog.osservatori.net/it_it/computer-vision-definizione-applicazioni

<https://www.ibm.com/it-it/topics/computer-vision>

<https://learn.microsoft.com/it-it/training/modules/analyze-images-computer-vision/2-understand-computer-vision>

<https://www.cognex.com/it-it/what-is/machine-vision>

https://www.sick.com/it_it/machine-vision-cose-e-come-funziona/w/blog-it-machine-vision-come-funziona/

<https://www.azzaliettronica.it/wp-content/uploads/2018/09/Guida-Introduttiva-Visione-Artificiale>

<https://www.industry4business.it/smart-manufacturing/machine-vision-cose-occhio-infallibile-in-fabbrica/>

<https://www.cognex.com/it-it/what-is/machine-vision/types-of-machine-vision-systems>

https://www.sas.com/it_it/insights/analytics/computer-vision.html#manifatturiero

https://www.sas.com/it_it/industry/manufacturing/solution/manufacturing-quality.html

<https://www.economyup.it/innovazione/industria-4-0-9-startup-che-applicano-lintelligenza-artificiale-per-la-manutenzione-predittiva/>

<https://www.aimonitoring.net/>

<https://www.terna.it/it/progetti-territorio/asset-management#:~:text=Parte%20integrante%20del%20nostro%20sistema,mirata%20gli%20interventi%20da%20effettuare.>

7. Sitografia immagini

Immagine 1 →

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7d/Industry_4.0_ita.png

Immagine 2.1/18 → [https://www.azzalielettronica.it/wp-](https://www.azzalielettronica.it/wp-content/uploads/2018/09/Guida-Introduttiva-Visione-Artificiale.pdf)

[content/uploads/2018/09/Guida-Introduttiva-Visione-Artificiale.pdf](https://www.azzalielettronica.it/wp-content/uploads/2018/09/Guida-Introduttiva-Visione-Artificiale.pdf)

Imagini 3.1/2 → <https://www.cognex.com/it-it/what-is/machine-vision/types-of-machine-vision-systems>