



POLITECNICO DI TORINO
Dipartimento di Architettura e Design
Tesi di Laurea in Design e Comunicazione Visiva
A.A. 2022 - 2023

Nello scenario evolutivo della robotica industriale il Design assume il ruolo di mediatore tra le ingegnerie di sistema (meccatronica e informatica) e l'utilizzatore finale che necessita di strumenti sicuri e intuitivi con i quali famigliarizzare. Con questi obiettivi, all'interno del Competence Industry Manufacturing di Torino (CIM4.0) nasce un percorso di tesi in Disegno Industriale dedicato al re-design di un robot assistente progettato nella logica contemporanea di assemblaggio di componenti hardware/software e capace di portare a bordo un drone, un braccio robotico o altri strumenti che si rendessero utili per attività industriali specifiche. Molte le novità ergonomiche, fisiche e percettive, associate a questa macchina, che si presenta come valido prodotto di sintesi delle valutazioni in tema di umanizzazione delle tecnologie, sostenibilità dei processi di trasformazione dei materiali, facile assemblaggio di componenti e gestione intuitiva del suo pilotaggio.

Claudio Germak

Robot industriale FIXIT

Analisi e sviluppo di design per
una proposta di mobile robot
multitasking

Relatore: Claudio Germak
Co-relatrice: Lorenza Abbate

Candidata: Mariachiara Cavagna

Indice dei contenuti

1 Robotica industriale 9

1.1 Storia della robotica industriale: XX secolo 12

1.2 Quarta e quinta generazione: XXI secolo 16

1.3 La robotica industriale oggi: definizioni e tassonomia 18

1.4 Campi di applicazione 24

1.5 HMI: Etica e sicurezza 28

2 Brief 33

2.1 Richiesta di progetto 34

2.2 Obiettivi del redesign 35

2.3 Scenario 38

2.4 Personas 40

3 Analisi di mercato 43

3.1 Comparazione dei casi studio 44

4 Sistema esigenziale 57

5 Progetto 63

5.1 Concept 64

5.2 Configurazione 66

5.3 Specifiche tecniche 68

5.4 Componenti 72

5.5 Elettronica 74

5.6 Feedback luminoso 76

6 Bibliografia e sitografia 79

7 Ringraziamenti 84

Abstract

Nel presente lavoro di tesi, saranno illustrati l'analisi contestuale e lo sviluppo progettuale di FIXIT, un robot mobile multitasking destinato ad assistere durante le operazioni di manutenzione in ambiente industriale.

Lo scopo del lavoro è descrivere lo sviluppo progettuale del robot a partire dall'analisi storica e della cultura della robotica industriale, successivamente dalle richieste ed esigenze del committente, dell'andamento di mercato e del sistema esigenziale richiesto.

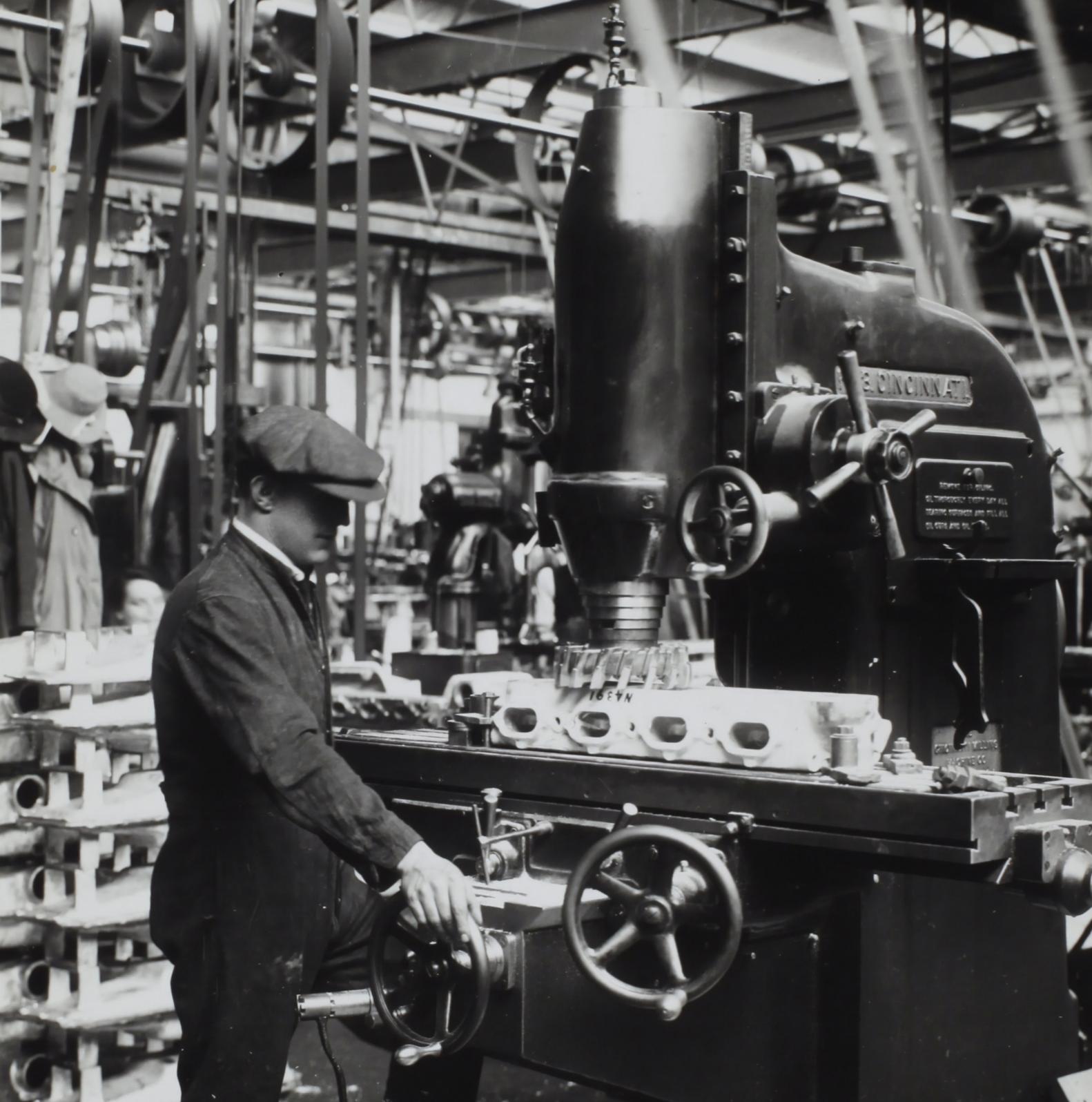
Il lavoro comincia con la contestualizzazione storica dell'origine e dello sviluppo del mercato della robotica industriale a partire dal XX secolo fino ad oggi. A partire dal primo esemplare del 1954 è possibile individuare quattro generazioni di robot. La ricerca prosegue con l'analisi dello stato della robotica industriale contemporanea, esplorandone la tassonomia, i possibili campi

di applicazione e i vincoli etici.

L'elaborato prosegue con l'analisi del brief del committente, dello scenario d'uso e delle personas.

Successivamente, si indaga lo stato del mercato attuale attraverso una comparazione delle attuali tipologie di robot mobili industriali, col fine di effettuare una comparazione multicriteria tra i modelli presi in considerazione. Tale comparazione permette di estrapolare le esigenze delle utenze del progetto, e di conseguenza i suoi requisiti.

Una volta individuati i requisiti progettuali, viene illustrata la creazione del concept e il suo sviluppo fino al prodotto definitivo.



ROBOTICA INDUSTRIALE

Storia,
classificazione,
applicazioni, etica

1.1 Storia della robotica industriale: XX secolo

Il primo utilizzo della parola "Robot" risale al 1921 e fu introdotto da Karel Capek nella sua opera teatrale I Robot Universali di Rossum. L'opera descrive uomini meccanici costruiti per lavorare nelle catene di montaggio delle fabbriche, e che si ribellano ai loro padroni umani [1]. L'origine etimologica della parola Robot deriva dalla parola ceca robota, che significa servitù o lavoro forzato.

Il termine "Robotica" fu menzionato per la prima volta dallo scrittore americano di fantascienza di origine russa Isaac Asimov nel 1942 nel suo racconto "Runabout" [1]. Asimov aveva un'opinione molto più brillante e ottimistica del ruolo dei robot nella società umana rispetto a quella di Capek. Difatti, Asimov nei suoi racconti, caratterizzò i robot come utili servitori dell'uomo. Nelle sue opere, definì tre principi fondamentali che oggi sono conosciuti come le Tre Leggi della Robotica [2]:

1. Un Robot non deve danneggiare una persona o lasciare che una persona subisca danni a causa della sua inazione.
2. Un Robot deve eseguire gli ordini dettati dall'uomo,

salvo il caso in cui tali ordini siano in contraddizione con la Prima Legge.

3. Un Robot deve salvaguardare la propria integrità, tranne quando tale salvaguardia vada in conflitto con la Prima o la Seconda Legge.

Negli ultimi decenni, la robotica si è evoluta come area di ricerca finalizzata alla progettazione, della fabbricazione e dell'uso dei robot, e all'interno della quale si combinano varie discipline, tra cui informatica, ingegneria elettrica, ingegneria meccanica e intelligenza artificiale (IA). Il suo obiettivo principale è la costruzione di dispositivi che eseguano compiti user-specific, ovvero che rispondono a specifici comandi dell'utente, che ne ha il controllo decisionale e attuativo in base al livello di autonomia della macchina. La rapida crescita del campo in termini scientifici ha portato allo sviluppo di diversi tipi di robot. Diversi tipi di robot, tra i quali: robot industriali, manipolatori, terrestri, aerei, acquatici, di ricerca, didattici, di intrattenimento e umanoidi.

Il progresso della robotica industriale è stato influenzato

dai progressi tecnologici, come ad esempio la creazione del transistor [3], del computer digitale [4], del sistema di controllo numerico [5] o dei circuiti integrati [6]. Questi progressi tecnologici hanno ulteriormente migliorato le proprietà dei robot, facendoli evolvere da macchine esclusivamente meccaniche o idrauliche a sistemi programmabili, che possono persino essere consapevoli del loro ambiente. Come altre innovazioni tecnologiche, anche la robotica è progredita e cambiata tenendo conto delle esigenze della società.

In base alle caratteristiche e alle proprietà dei robot, si può classificare lo sviluppo della robotica in quattro generazioni:

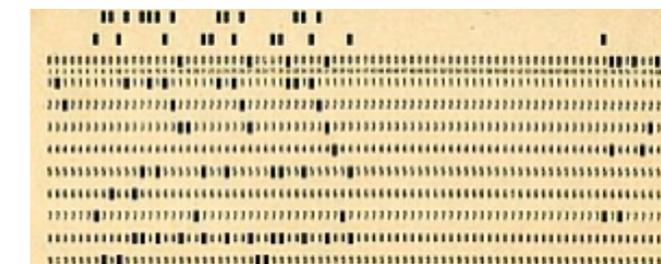
Generazione 0: Pre-Robot (prima del 1950)

Caratteristiche:

- I primi robot industriali erano pneumatici o idraulici.

Già nel 1495, il polimico Leonardo Da Vinci immaginò la progettazione del primo umanoide [7]. Negli anni successivi, vennero prodotte diverse macchine che utilizzavano elementi meccanici per assistere l'industria. Solo con la prima rivoluzione industriale le fabbriche iniziarono a pensare all'automazione come mezzo per

migliorare i processi produttivi. Queste macchine erano basate su meccanismi pneumatici o idraulici, privi di capacità di calcolo e gestiti dagli operai. Le prime tecniche di automazione furono le schede perforate [8] (Fig. 1.1), utilizzate per inserire informazioni in diversi macchinari (ad esempio per controllare i telai tessili). Anche i primi computer elettronici, come ad esempio il Colossus [9], utilizzavano schede perforate per la programmazione.



Scheda perforata

Generazione 1: primi manipolatori (1950-1967)

A causa del rapido sviluppo tecnologico e degli sforzi per migliorare la produzione industriale, furono progettate delle macchine automatizzate per aumentare la produttività. I produttori di macchine utensili introdussero le macchine a controllo numerico (NC), che permisero di creare prodotti migliori [5]. L'unione tra gli strumenti di lavorazione a

controllo numerico e i manipolatori ha aperto la strada alla prima generazione di robot.

Questi robot non erano in grado di recepire l'ambiente circostante, ma si limitavano ad eseguire comandi preimpostati, e funzionavano con algoritmi di controllo semplici (Point-to-Point), che permettevano di impostare posizioni statiche.

La robotica industriale è nata come soluzione per migliorare la produzione e soddisfare le elevate quote dell'industria automobilistica statunitense. Parallelamente, la crescita tecnologica ha portato alla costruzione dei primi bracci meccanici a controllo digitale che hanno potenziato le prestazioni di compiti semplici e ripetibili come il pick and place.

Il primo robot riconosciuto è UNIMATE [10] (Fig. 1.2), considerato da molti il primo robot industriale. Si trattava di una macchina programmabile creata da George Devol e Joe Engleberger, che due anni prima avevano finanziato la prima società di robot al mondo: Unimation (Universal Automation). Nel 1960, firmarono un contratto con la General Motors per installare il braccio robotico nella loro fabbrica di Trenton (New Jersey). UNIMATE contribuì ad ottimizzare la loro produzione, motivando ulteriormente molte aziende e centri di ricerca a dedicare le loro risorse alla robotica.



Il robot UNIMATE

Generazione 2: Robot sensorizzati (1968-1977)

Le caratteristiche che accomunano questa generazione di macchine sono:

- Maggiore consapevolezza dell'ambiente circostante grazie all'integrazione di sensori (es. visivi, tattili);
- Learning from Demonstration (Lfd), o Apprendimento tramite Dimostrazione, un paradigma che permette agli utenti di "programmare" il robot mostrandogli come eseguire l'operazione, senza necessità di programmazione;
- Ingombro significativo

A partire dal 1968, l'integrazione di sensori introduce la

seconda generazione di robot. Questi robot erano in grado di reagire all'ambiente fornendo risposte che rispondevano a diversi stimoli. Shakey (Fig. 1.3) [11], sviluppato dallo Stanford Research Institute, è stato il primo robot mobile sensorizzato, contenente una serie di sensori (come quelli tattili) e una telecamera.

In questo periodo sono stati fatti importanti investimenti nella robotica. Nell'ambiente industriale, va segnalato il PLC (Programmable Logic Controller) [12], un computer digitale industriale, progettato e adattato per il controllo di processi produttivi, come linee di assemblaggio, dispositivi robotici o qualsiasi attività che richiedesse alta affidabilità. I PLC erano considerati facili da programmare, e grazie a queste caratteristiche divennero un dispositivo comunemente utilizzato nell'industria dell'automazione.



Il robot mobile Shakey



Il robot Famulus di KUKA

Nel 1973, KUKA (uno dei principali produttori mondiali di robot industriali) costruì il primo robot industriale con 6 assi a comando elettromeccanico, chiamato Famulus [13]. Un anno dopo, il robot T3 [14] fu introdotto sul mercato da Cincinnati Milacron (acquisita da ABB nel 1990). Il robot T3 è stato il primo robot disponibile in commercio controllato da un microcomputer.

Generazione 3: Robot industriali (1978-1999)

Caratteristiche:

- Sistemi di controllo dedicati (computer);
- Nuovi linguaggi di programmazione per il controllo dei robot: i robot di questa generazione potevano essere programmati non solo on-line (l'operatore poteva utilizzare una scatola di apprendimento con tastiera), ma anche off-line, collegandosi a un PLC (Programmable

Logic Controller) o a un PC, che consentiva di utilizzare un linguaggio di programmazione high-level (più intuitivo e semplice da utilizzare) dei movimenti e permetteva di interfacciare i robot con un CAD o un database.

- Capacità minime di auto-programmazione, ovvero di correzione del lavoro tramite l'acquisizione di dati
- Inclusione parziale di sensori per la visione artificiale.

Molti ritengono che l'era dei robot sia iniziata nel 1980 [15], quando le aziende di tutto il mondo hanno investito miliardi di dollari per automatizzare le attività di base nelle loro catene di montaggio. Gli investimenti in soluzioni di automazione fecero aumentare le vendite di robot industriali fino all'80% rispetto agli anni precedenti. I robot hanno popolato molti settori industriali per automatizzare un'ampia varietà di attività come la verniciatura, la saldatura, lo spostamento o l'assemblaggio.

In questi anni sono apparse le tecnologie chiave che ancora oggi guidano lo sviluppo dei robot: l'accesso Internet è stato esteso nel 1980 [16], Ethernet è diventato uno standard nel 1983 [17] (IEEE 802.3), il kernel Linux è stato annunciato nel 1991 [18] e subito dopo sono apparse le patch in tempo reale [19], [20] per aumentare il determinismo dei sistemi basati su Linux.

In questo periodo si diffusero anche i "linguaggi di programmazione per robot". Ad esempio, Unimation iniziò a utilizzare VAL nel 1979 [21] [22], FANUC progettò Karel nel 1988 [23] e nel 1994 ABB creò Rapid [24] rendendo i robot macchine riprogrammabili che contenevano anche un controllore dedicato.

Alla fine degli anni '90, le aziende iniziarono a pensare ai robot al di fuori degli ambienti industriali. Tra questi, due esempi particolarmente rilevanti:

- **Il primo kit LEGO Mindstorms (1998)** [25],



un kit educativo rispetto ai principi della robotica composto da 717 pezzi, tra cui mattoncini LEGO, motori, ingranaggi, diversi sensori e un mattoncino con un microprocessore incorporato per costruire robot diversi utilizzando gli stessi pezzi.

- **AIBO di Sony (1999)** [26], il primo robot da intrattenimento al mondo, ampiamente utilizzato per la



ricerca e lo sviluppo. Sony ha reso la robotica accessibile a tutti con un robot da 1.500 dollari che prevedeva l'uso di componenti hardware modulari (ad esempio appendici che possono essere facilmente rimosse e sostituite per modificare la forma e la funzione del robot) e di componenti software modulari che potevano essere scambiati tra di loro per modificarne il comportamento e i modelli di movimento.

Il successo di AIBO di Sony e Mindstorms di LEGO è stato fortemente legato al fatto che entrambi i prodotti facevano uso di moduli hardware e software intercambiabili. Anche l'uso di un'infrastruttura comune si è rivelato uno dei

vantaggi principali di queste tecnologie.

1.2 Quarta e quinta generazione: XXI secolo

Generazione 4: Robot intelligenti (2000-2015)

Caratteristiche:

- Capacità di calcolo avanzate.
- Intelligenza: questi computer non solo lavorano con i dati, ma possono anche effettuare ragionamenti logici e imparare.
- L'intelligenza artificiale inizia a essere inclusa parzialmente e in via sperimentale.
- Sensori più sofisticati che inviano informazioni al sistema di controllo e le analizzano attraverso strategie di controllo complesse.
- Introduzione dei robot collaborativi.

La quarta generazione di robot, risalente al 2000, consisteva in robot più intelligenti che includevano computer avanzati per ragionare e imparare. Questi robot contenevano anche sensori più sofisticati che li aiutavano ad adattarsi più efficacemente alle diverse circostanze.

Ad esempio, Nel 2002, il robot aspirapolvere Roomba [27] introduce per la prima volta i robot negli ambienti



Il robot aspirapolvere Roomba

domestici.

Nel 2015 nasce YuMi [28], il primo robot collaborativo. Grazie a profondi progressi nei sistemi di sicurezza, al di là delle barriere fotoelettriche o dei dispositivi di interblocco, YuMi garantisce la coesistenza di lavoratore e robot nello stesso ambiente, migliorando il processo produttivo e l'ergonomia dell'operatore. Questi progressi, sia per quanto riguarda la collaborazione uomo-robot sia per quanto riguarda i miglioramenti dei sistemi di sicurezza dei robot, hanno permesso ai robot di lavorare insieme all'uomo

nello stesso ambiente.

Tra le tecnologie apparse in questo periodo ricordiamo il Player Project [29] (2000, ex Player/Stage Project), il simulatore Gazebo [30] (2004) e il Robot Operating System [31] (2007). Inoltre, in questi anni sono apparse piattaforme hardware di rilievo. Computer a scheda singola (SBC) come il Raspberry Pi [32] hanno permesso a milioni di utenti in tutto il mondo di creare facilmente robot.



Il primo robot collaborativo YuMi

Generazione 5: robot collaborativi e personali (2015-oggi)

Caratteristiche:

- Possibilità di collaborazione di robot e umani all'interno dello stesso ambiente

• Robot modulari e robot riconfigurabili, ovvero composti da moduli standard progettati per essere collegati o scollegati frequentemente e rapidamente, in modo da potersi adattare ad applicazioni diverse.

• Integrazione dei robot nelle attività quotidiane.

Nel 2015, è stata introdotta una quinta generazione di robot, in grado di operare più velocemente della generazione precedente, con maggiore efficienza ed a costo minore [33].

1.3 La robotica industriale oggi: definizioni e tassonomia

Principali Classificazioni Dei Robot [33]

SIRI (Associazione Italiana di Robotica e Automazione) definisce il robot industriale come “un manipolatore con tre o più gradi di libertà, autonomo, riprogrammabile, multiuso, fisso o mobile e destinato ad applicazioni di automazione industriale” (ISO 8373:2012).

Tradizionalmente, la classificazione dei robot si separa in due categorie principali, ovvero robot industriali e robot di servizio (Cobots and the benefits of their implementation in intelligent manufacturing, Rinat Galin, 2020).

Tuttavia, entrando nello specifico di tali categorie, la tassonomia si fa più complessa e sfaccettata. Non esiste un framework unificato che stabilisce le varie definizioni, ma esistono dei criteri secondo i quali vengono distinte le varie tipologie.

In particolare, di seguito i criteri considerati sono: struttura geometrica dei manipolatori, metodo di controllo del robot, metodo di input delle informazioni nel robot, grado di intelligenza del robot, scopo del robot, mobilità del robot e potenza del robot.

1. Classificazione in base alla struttura geometrica del manipolatore

La configurazione meccanica del manipolatore è varia e può essere descritta dalle caratteristiche delle sue coordinate. Tra queste, le più comuni sono:

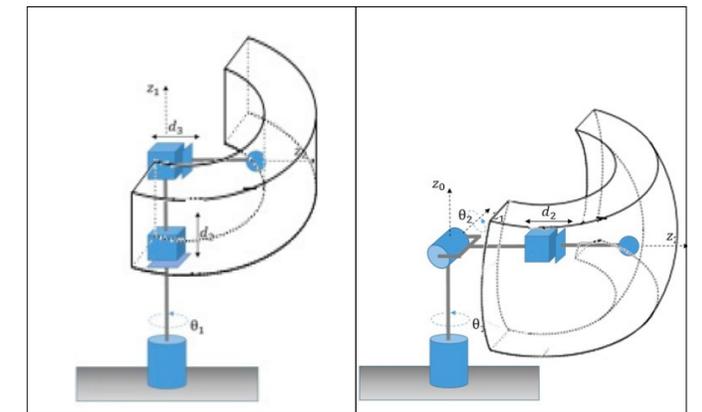
❶ **Il robot a coordinate cilindriche** è composto principalmente da colonna verticale, braccio orizzontale (o manipolatore) e base.

Il manipolatore orizzontale è installato sulla colonna verticale, può espandersi e contrarsi liberamente e può muoversi su e giù lungo la colonna verticale. La colonna verticale è installata sulla base e può muoversi su di essa insieme al manipolatore orizzontale. In questo modo, il raggio di azione di questo robot forma una superficie cilindrica, da cui la definizione “coordinate cilindriche”.

❷ **Il robot a coordinate sferiche:** il manipolatore può muoversi telesopicamente all'interno e all'esterno, oscillare su un piano verticale e ruotare su un piano orizzontale intorno alla base. Pertanto, il raggio di azione di questo robot fa parte della superficie sferica.

❸ **Il robot a coordinate sferiche articolato** è composto principalmente da una base, un braccio superiore e un avambraccio. Il braccio superiore e l'avambraccio possono muoversi su un piano verticale che passa attraverso la base. Tra l'avambraccio e la parte superiore del braccio, il manipolatore ha un'articolazione del gomito; tra la parte superiore del braccio e la base, c'è un'articolazione della spalla. Il

movimento di rotazione sul piano orizzontale può essere realizzato sia con l'articolazione della spalla sia ruotando intorno alla base. Il raggio di azione di questo robot forma la maggior parte della superficie sferica.



Differenza tra lo spazio di lavoro di un manipolatore cilindrico (sinistra) e sferico (destra)

2. Classificazione in base al metodo di controllo del robot

In base alla modalità di controllo, i robot possono essere suddivisi in due tipi: robot non servoassistiti e robot servocontrollati.

① **Robot non servoassistiti.** Funzionano secondo una sequenza preprogrammata, utilizzando finecorsa terminali, freni, piastre di bloccaggio e sequenziatori per controllare il movimento del manipolatore.

② **Robot servocontrollati.** I robot servocontrollati hanno capacità di lavoro superiori a quelle dei robot non servoassistiti. Sono sistemi di controllo a retroazione e possono controllare grandezze come la posizione, la velocità, l'accelerazione e la forza dell'attuatore o utensile all'estremità del robot. I robot servocontrollati possono essere suddivisi a loro volta in servocontrollo di punto e servocontrollo di percorso continuo (traccia).

3. Classificazione in base al metodo di input delle informazioni del controllore del robot

L'utilizzo di questo metodo di classificazione è leggermente diverso a seconda dei Paesi, ma può avere uno standard unificato. Qui sono presentati principalmente i metodi di classificazione adottati dalla Japan Industrial Robot Association (JIRA), dalla American Robot Association (RIA) e

dalla French Industrial Robot Association (AFRI).

3.1 Classificazione JIRA

La Japan Industrial Robot Association divide i robot in sei categorie.

① **Mano operativa manuale.** È un dispositivo di elaborazione con diversi gradi di libertà che viene azionato direttamente dall'operatore.

② **Robot sequenziale.** È un manipolatore che ripete gradualmente un determinato compito secondo una sequenza, condizioni e posizione predeterminate. Le informazioni predeterminate (come le fasi di lavoro, ecc.) sono difficili da modificare.

③ **Robot a ordine variabile.** È uguale al tipo 2, ma l'ordine di lavoro e le altre informazioni sono facilmente modificabili.

④ **Robot ripetitivi.** Questo tipo di robot può riprodurre le azioni originariamente insegnate dall'uomo in base alle informazioni memorizzate nel dispositivo di memoria. Queste azioni di insegnamento possono essere ripetute

automaticamente.

⑤ **Robot a controllo programmatico.**

L'operatore umano non insegna manualmente a questo robot, ma gli fornisce un programma di movimento per fargli eseguire un determinato compito.

⑥ **Robot intelligente.** Possono utilizzare le informazioni dei sensori per rilevare autonomamente i cambiamenti nell'ambiente o nelle condizioni di lavoro e, con l'aiuto della loro capacità di autodecisione, possono eseguire con successo i compiti corrispondenti indipendentemente dai cambiamenti delle condizioni ambientali in cui svolgono le attività.

3.2 Classificazione RIA

L'American Robot Association considera robot gli ultimi quattro tipi di macchine della classificazione JIRA (Robot a ordine variabile, robot ripetitivi, robot a controllo programmatico, robot intelligenti).

3.3 Classificazione AFRI

L'Associazione Francese dei Robot Industriali divide i robot in quattro tipi:

A. **Categoria 1,** apparecchiature di lavorazione manuale o a distanza.

B. Comprendente le **categorie 2 e 3,** apparecchiature di lavorazione automatica con cicli di lavoro preprogrammati.

C. Comprendente le **categorie 4 e 5,** robot programmabili e servoassistiti con posizioni puntiformi o traiettorie continue, chiamati robot di prima generazione.

D. La **categoria 6,** che può ottenere determinati dati ambientali, è chiamata robot di seconda generazione.

4. Classificazione in base al grado di intelligenza del robot

I robot generici non hanno intelligenza, ma solo capacità di programmazione generale e funzioni operative.

I **robot intelligenti**, a seconda del grado di intelligenza, possono essere suddivisi in:

- 1 **Robot sensoriali**, in grado di utilizzare le informazioni sensoriali (tra cui la vista, l'udito, il tatto, la prossimità, la forza, gli infrarossi, gli ultrasuoni e il laser) per elaborare le informazioni sensoriali e ottenere il controllo e il funzionamento.
- 2 **Robot interattivi**, che conducono un dialogo uomo-macchina con l'operatore o il programmatore attraverso il sistema informatico per controllare il funzionamento del robot.
- 3 **Robot autonomi**, che dopo essere stati progettati e realizzati, non richiedono l'intervento umano e possono completare automaticamente vari compiti antropomorfi in diversi ambienti.

5. Classificazione in base allo scopo del robot

1 **Robot industriali**. Utilizzati nella produzione industriale e agricola, soprattutto nel settore manifatturiero per la saldatura, la verniciatura, l'assemblaggio, la movimentazione, l'ispezione, la lavorazione dei prodotti agricoli e



Il robot quadrupede SPOT di Boston Dynamics è uno degli esempi più rinomati di robot autonomo.

altre operazioni.

- 2 **Robot da esplorazione**. Utilizzati per l'esplorazione dello spazio e degli oceani e possono essere impiegati anche per l'esplorazione del suolo e del sottosuolo.
- 3 **Robot di servizio**. Si tratta di un tipo di robot semi-autonomo o completamente autonomo, il cui lavoro di servizio può migliorare la sopravvivenza degli esseri umani e far funzionare meglio le attrezzature al di fuori dell'industria manifatturiera.
- 4 **Robot militari**. Utilizzati per scopi militari,

possono essere suddivisi in robot militari aerei, robot militari marini e robot militari terrestri.

6. Classificazione in base alla mobilità dei robot

1 **Robot fissi**. Fissati su una determinata base, l'intero robot (o manipolatore) non può muoversi, ma solo ogni singolo giunto.



Un esempio di robot da esplorazione è l'ExoMars della NASA

2 **Robot mobili**. L'intero robot può muoversi in una determinata direzione o in qualsiasi direzione. Questo tipo di robot può essere suddiviso in robot a ruote, robot cingolati e robot deambulanti, questi ultimi suddivisi in robot a una gamba, bipedi, a quattro gambe, esapodi e a otto gambe.

1.4 Campi di applicazione

Utilizzi e operazioni più diffuse dei robot industriali

I requisiti principali che rendono un'attività favorevole alla sostituzione dell'uomo con robot nei processi industriali sono [34]:

- **Gli ambienti di lavoro pericolosi o particolarmente gravosi** (pressofusione, fucinatura, verniciatura, saldatura, ecc.).
- **Processi ripetitivi.** Se i movimenti di una sequenza di lavoro sono abbastanza semplici e sempre uguali, l'utilizzo dei robot rispetto all'uomo permette di aumentarne la precisione e la ripetibilità e la qualità.
- **Difficoltà di movimentazione** di parti o utensili (ad esempio in caso di parti molto pesanti)
- **Lavorazioni su più turni.** In queste operazioni, i robot sono più rapidi dell'uomo e permettono

maggiore ritorno economico.



Un lavoratore intento ad effettuare un'operazione di manutenzione di macchinari pericolosa

- **Produzioni su larga scala.**
- **Posizione ed orientazione delle parti fisse.**
La possibilità di manipolare parti nel corso del

ciclo si basa sul fatto che queste si trovino in posizioni note.

Le applicazioni industriali attuali, concentrate nella produzione, possono essere classificate in tre categorie:

Manipolazione di materiali

Con manipolazione si intende l'abilità da parte del robot di prendere (e rilasciare) un oggetto e di muoverlo nello spazio su percorsi predefiniti.

Applicazioni tipiche sono:

- La pallettizzazione (disposizione di oggetti in maniera preordinata su un opportuno supporto raccoglitore)
- Il carico e lo scarico di magazzini
- Il carico e lo scarico di macchine operatrici e macchine utensili
- La selezione e lo smistamento di parti
- Il confezionamento di merci



Operazioni tecnologiche (di processo)

Esempi di questo tipo di applicazioni sono:

- La saldatura ad arco e quella a punti
- La verniciatura e il rivestimento
- L'incollaggio e la sigillatura
- Il taglio laser e quello a getto d'acqua
- La fresatura e la foratura
- La pressatura e lo stampaggio
- La sbavatura e la molatura
- L'avvitatura, il cablaggio e il fissaggio
- L'assemblaggio di gruppi meccanici ed elettrici
- Il montaggio di schede elettroniche

Ispezioni

Alcuni esempi di ispezione robotica sono:

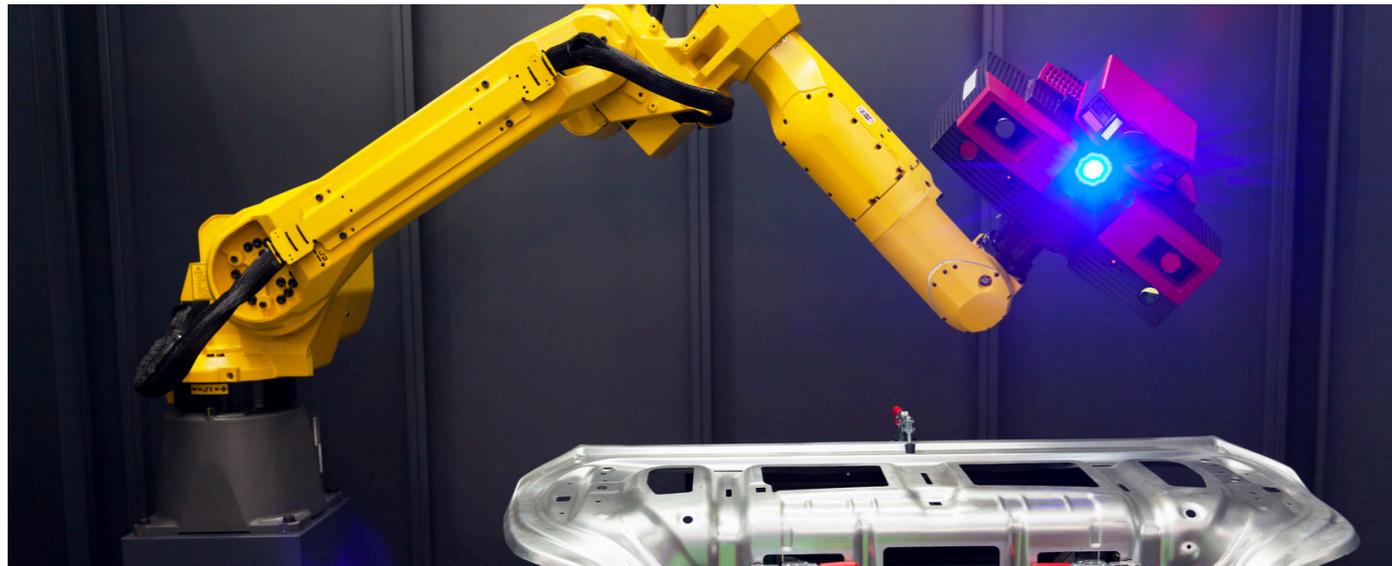
- **Controllo qualità:** i sistemi di ispezione robotizzati possono essere utilizzati per segnalare i pezzi difettosi, misurarli o verificare che tutti i pezzi siano assemblati correttamente.
- **Ispezioni visive di territori e infrastrutture** (come serbatoi, tubi, navi)
- **Ispezione di strutture ferromagnetiche** in applicazioni nucleari ed energetiche;

- **Ispezione mobile e remota** automatizzata di livelli di petrolio e gas onshore, perdite, condizioni di superficie e anomalie acustiche;

Le principali applicazioni dei robot industriali nel mondo sono, in ordine [35]:

- 1 Manipolazione
- 2 Saldatura
- 3 Assemblaggio
- 4 Pulizia
- 5 Erogazione
- 6 Operazioni di processo (es. trattamenti)

Tutto questo, principalmente negli ambiti dell'automotive, dell'elettronica e della metallurgia, seguiti dall'industria della plastica e quella alimentare.



Un robot industriale mentre performa un'ispezione di qualità su un componente

1.5 HMI: Etica e sicurezza

L'introduzione della robotica nei processi industriali ha portato molti vantaggi a livello di efficienza, qualità, adattabilità e velocità [33] nelle linee produttive. Tuttavia, il fattore umano resta un campo inesplorato rispetto a quello ingegneristico, e soprattutto cruciale nell'impatto sociale e psicologico della diffusione dei robot sull'ambiente di lavoro, soprattutto con l'avvento dei cobot, che comporta contatto ancora più stretto tra uomini e macchine. Il concetto del robot collaborativo ha enormi potenzialità, ma allo stesso modo può essere un'arma a doppio taglio, in quanto quando il design dell'interazione viene tralasciato o presenta degli errori, può comportare gravi rischi alla salute psicologica e alla sicurezza generale dei lavoratori, oltre che alla produttività del sito.

All'interno di questo capitolo saranno discussi i fattori umani che influenzano l'interazione

uomo-robot (Human Robot Collaboration, HRC) e le normative correnti riguardo alla sicurezza nel design di robot.

Fattori umani all'interno della human robot collaboration (HRC) [37]

Una sfida importante per il progresso della robotica è il fattore umano. In effetti, è molto difficile fare previsioni o dedurre dei comportamenti umani comuni nella HRI. Per studiare i principali fattori umani, servono dati empirici che dimostrino informazioni statistiche. Ciò consente di creare un elenco di base dei **fattori che influenzano l'HRC:**

- **Credibilità dei robot:** La mancanza di un rapporto confidenziale con i robot e

l'atteggiamento nei loro confronti contribuiscono a ridurre l'uso.

- **Carico di lavoro mentale** umano: La progettazione errata di un posto di lavoro con robot comporta un carico di lavoro umano aggiuntivo.

- **Consapevolezza della situazione:** La perdita di consapevolezza della situazione porta a vari incidenti e lesioni umane.

- **Degrado delle competenze:** Questo fattore di dequalificazione influisce sul risultato dell'HRI e riduce le misure di sicurezza del lavoro comune.

- **Stress, ansia e sicurezza** dovuti all'HRC: l'HRI diretto in prossimità può portare a una collisione. Ciò influisce sulla manifestazione di effetti quali stress, ansia e interazione con la sicurezza.

- **Automazione adattiva:** L'automazione per fasi consente all'operatore di seguire l'intero processo.

- **Percezione positiva del robot:** La percezione positiva del robot può avere un impatto positivo sulle prestazioni.

Normative attive riguardo in ambito di robotica industriale [38]

Alcune delle normative riguardanti i robot:

- **ISO/TS 15066:2016**, Robot e dispositivi robotici - Robot collaborativi; La norma ISO/TS 15066:2016 specifica i requisiti di sicurezza per i sistemi robotici industriali collaborativi e per l'ambiente di lavoro e integra i requisiti e la guida sul funzionamento dei robot industriali collaborativi forniti nelle norme ISO 10218-1 e ISO 10218-2. La ISO/TS 15066:2016 si applica ai sistemi robotici industriali descritti nelle ISO 10218-1 e ISO 10218-2. Non si applica ai robot non industriali, anche se i principi di sicurezza presentati possono essere utili per altre aree della robotica.

- **ISO 10218-1:2011**, Robot e dispositivi robotici - Requisiti di sicurezza per robot industriali; lo standard specifica i requisiti e le linee guida per la progettazione intrinsecamente sicura, le misure di protezione e le informazioni per

l'uso dei robot industriali. Descrive i pericoli fondamentali associati ai robot e fornisce i requisiti per eliminare, o ridurre adeguatamente, i rischi associati a tali pericoli.

- **ISO 10218-2:2011**, Robot e dispositivi robotici - Requisiti di sicurezza per robot industriali - Parte 2: Sistemi robotici e integrazione; specifica i requisiti di sicurezza per l'integrazione di robot industriali e sistemi di robot industriali, come definiti nella norma ISO 10218-1, e celle di robot industriali. L'integrazione comprende:

- La progettazione, la fabbricazione, l'installazione, il funzionamento, la manutenzione e lo smantellamento del sistema di robot industriali o della cella;
- Le informazioni necessarie per la progettazione, la fabbricazione, l'installazione, il funzionamento, la manutenzione e la disattivazione del sistema o della cella di robot industriali;
- Dispositivi componenti il sistema o la cella di robot industriali.

Lo standard descrive anche i pericoli di base e

le situazioni pericolose identificate con questi sistemi, e fornisce i requisiti per eliminare o ridurre adeguatamente i rischi associati a tali pericoli.

- **ISO 12100:2010**, Sicurezza del macchinario - Principi generali di progettazione - Valutazione e riduzione del rischio; specifica la terminologia di base, i principi e la metodologia per raggiungere la sicurezza nella progettazione delle macchine. Specifica i principi di valutazione e riduzione del rischio per aiutare i progettisti a raggiungere questo obiettivo. Questi principi si basano sulla conoscenza e sull'esperienza della progettazione, dell'uso, degli incidenti e dei rischi associati alle macchine. Vengono descritte le procedure per l'identificazione dei pericoli e per la stima e la valutazione dei rischi durante le fasi rilevanti del ciclo di vita della macchina, nonché per l'eliminazione dei pericoli o per una sufficiente riduzione dei rischi. Vengono fornite indicazioni sulla documentazione e sulla verifica del processo di valutazione e riduzione del rischio.

- **ISO 13850**, Sicurezza del macchinario - Funzione di arresto di emergenza - Principi per la progettazione; specifica i requisiti funzionali e i principi di progettazione per la funzione di arresto di emergenza delle macchine, indipendentemente dal tipo di energia utilizzata. Non si occupa di funzioni quali l'inversione o la limitazione del movimento, la deviazione delle emissioni (ad es. radiazioni, fluidi), la schermatura, la frenatura o la disconnessione, che possono far parte della funzione di arresto di emergenza.

- **ISO 13855**, Sicurezza del macchinario - Posizionamento delle protezioni rispetto alle velocità di avvicinamento di parti del corpo umano; La norma ISO 13855:2010 stabilisce il posizionamento delle protezioni rispetto alle velocità di avvicinamento di parti del corpo umano.

Specifica i parametri basati sui valori delle velocità di avvicinamento di parti del corpo umano e fornisce una metodologia per determinare le distanze minime di una zona pericolosa

dalla zona di rilevamento o dai dispositivi di azionamento delle protezioni.

- **IEC 60204-1**, Sicurezza del macchinario - Equipaggiamento elettrico delle macchine - Parte 1: Requisiti generali; La IEC 60204-1:2016 si applica alle apparecchiature e ai sistemi elettrici, elettronici ed elettronici programmabili delle macchine non trasportabili a mano durante il lavoro, compreso un gruppo di macchine che lavorano insieme in modo coordinato. L'equipaggiamento coperto da questa parte della IEC 60204 inizia nel punto di connessione dell'alimentazione all'equipaggiamento elettrico della macchina. Questa sesta edizione annulla e sostituisce la quinta edizione pubblicata nel 2005. Essa costituisce una revisione tecnica.



2

BRIEF

2.1 Richiesta di progetto

Committente: CIM4.0 – Linea pilota Digital Factory [39]

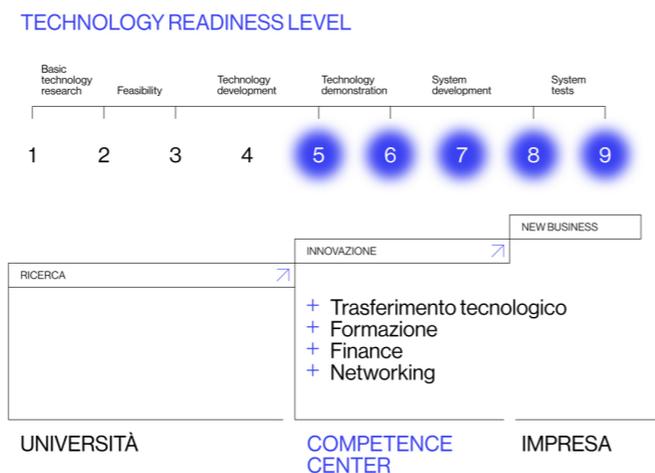
CIM4.0 è un network che offre supporto strategico e operativo in ottica di sviluppo industriale 4.0 con la diffusione di servizi e corsi di alta formazione.

CIM4.0 mira a contribuire, a livello locale e nazionale, all'accelerazione del processo di trasformazione del sistema produttivo italiano, con particolare attenzione alle piccole e medie imprese, proponendosi come polo di riferimento per ciò che riguarda la diffusione di competenze e buone pratiche, anche con azioni di formazione ed esperienze sul campo, in settori tecnologici ed ambiti industriali.

CIM4.0 si fonda sul concetto di "linee pilota", o linee dimostrative di manifattura. Infatti, il Competence è dotato di due "linee pilota", tramite cui viene sviluppata la maturazione tecnologica di processi e prodotti innovativi, facilitando le imprese nell'approccio ai nuovi mercati.

Al suo interno, la Linea Pilota Digital Factory è dedicata a i temi della fabbrica digitale, e si occupa di supportare le aziende nell'innovazione tecnologica delle imprese. La linea supporta il lancio di progetti pilota, portando le tecno-

logie nell'ambiente produttivo prototipale, dove è possibile valutare KPI e rapporto costi/benefici, da associare agli investimenti previsti. L'esecuzione della strategia a lungo termine è l'ultimo passo, per definire il piano industriale per trasformare le sperimentazioni in servizi a tempo pieno.



Schema del posizionamento di CIM4.0 rispetto alle imprese

Brief

Redesign della morfologia del robot FIXIT, un robot industriale destinato ad assistere fisicamente i lavoratori in compiti di manutenzione ripetitivi e poco ergonomici. Il progetto è commissionato dalla Linea Digital Factory del CIM4.0.

FIXIT

FIXIT nasce come progetto pilota del CIM4.0, e si tratta di una piattaforma con il compito di comunicare il potenziale delle tecnologie dell'azienda [39].

Il progetto consiste in un robot composto da un UGV (Unmanned Ground Vehicle, letteralmente Veicolo Terrestre Senza Pilota) che sostiene una scocca sulla quale è posizionata la pista per un drone.

Il tutto è pensato per assistere gli operatori nel campo della manutenzione nell'ambito della digital factory.

Progetto di partenza

L'aspetto attuale consiste in tre parti realizzate in vetroresina e assemblabili ad incastro. Il primo layer comprende un cassetto che permette di accedere al pulsante di accensione del Rover, due scaffali interni per le camere di visione e due scaffali esterni per i lidar

(rilevatori di ostacoli per permettere al Rover di spostarsi autonomamente); al centro, presenta una protuberanza cilindrica, che si estende su tutta l'altezza del robot, sulla quale si incastrano gli strati superiori (forati al centro), e



Progetto di partenza

che termina con un coperchio che funziona da pista sulla quale si posiziona il drone.

Il secondo strato comprende uno sbalzo creato per accogliere un mini proiettore, pensato per l'interazione con il robot.

Il terzo strato, superiore ai primi due, è incavo e funziona da contenitore per gli attrezzi da lavoro.

PROBLEMI

In seguito alla prototipazione del design di partenza e a delle prove d'uso effettuate dal committente, sono state riscontrate varie problematiche:

- **Ingombro** - Le dimensioni di 602 x 586 x 957 mm rendono il prodotto troppo grande e poco agile per gli ambienti industriali;
- **Difficoltà di montaggio** - Per assemblare la scocca sul Rover è necessario ribaltare la struttura intera, il che rende la procedura poco agevole;
- **Usura dei componenti** causata dall'attrito fra gli strati;
- **Predisposizione agli urti** - La scocca sporge rispetto al Rover ed è quindi soggetta ad urti e usura;
- **Sporgenza** - Le mensole dei sensori lidar sporgono rispetto alla scocca, e di conseguenza sono più

soggetti agli urti.

PUNTI DI FORZA

- **Forme arrotondate** - Le forme arrotondate del corpo conferiscono senso di sicurezza e facilitano l'impressione positiva del robot da parte dell'utente
- **Assemblaggio ad incastro** - I layer del robot sono assemblati uno sopra l'altro senza necessità di viti o bullonature, rendendo il processo e la produzione più semplici.

2.2 Obiettivi del redesign

Sulla base dell'analisi del brief del committente, sono stati stilati una serie di obiettivi riguardanti il redesign della macchina per la sua implementazione, che riguardano:

DESIGN DI SCENARIO

Individuare l'utenza finale del prodotto ed i casi d'uso adatti al prodotto in un contesto industriale nell'ambito della manutenzione ed integrandovi l'utilizzo del drone ;

PERCEZIONE PRODOTTO

Progettare forma, dimensione e materiali del prodotto per favorire una percezione positiva del robot da parte dei suoi utenti e comunicare correttamente la mission del CIM4.0.

USABILITÀ PRODOTTO

Riprogettare la modalità di montaggio e smontaggio;

SOSTENIBILITÀ

Progettare i materiali del prodotto in linea con la produzione sostenibile;

INTERAZIONE

Progettare l'interazione con il robot, compresi il feedback della macchina e le interfacce.

PRODUZIONE

Ottimizzare il progetto del robot in vista di una produzione seriale di piccola scala.

2.3 Scenario

Una volta delineati gli obiettivi e le linee guida del progetto, può essere individuato lo scenario definendo i casi d'uso del prodotto e la tipologia di utenza, col fine di studiarne successivamente le esigenze.

Manutenzione preventiva [40]

Il campo della manutenzione è molto vasto e comprende un'infinità di processi e operazioni diverse, a seconda del tipo di manutenzione (correttiva, migliorativa, incidentale o preventiva), dell'ambiente in cui viene effettuata, e del suo scopo. Tenendo in considerazione l'integrazione del drone all'interno del progetto e il livello di ingegnerizzazione ott
La manutenzione preventiva è un tipo di manutenzione eseguita ad intervalli predeterminati o in accordo a criteri prescritti, volta a ridurre la probabilità di guasto o la degradazione del funzionamento di un bene. All'interno di questa categoria, sulla base delle linee guida del progetto, sono stati delineati due scenari di utilizzo:

ISPEZIONI VISIVE [41]

L'ispezione visiva è un'ispezione di un componente effettuata esclusivamente a occhio nudo un bene o



un'attrezzatura.

Le ispezioni visive si svolgono tradizionalmente con un ispettore che cammina intorno o all'interno di un bene come una caldaia, esaminandone visivamente ogni singola parte.

Tuttavia, il processo può essere quasi completamente automatizzato tramite i droni e gli UAV (Unmanned Aerial Vehicle), che stanno acquisendo popolarità in svariati tipi di industrie in quanto grazie alla loro capacità di manovrare, muoversi rapidamente e librarsi. I droni aiutano a risparmiare tempo, aumentare le prestazioni, ridurre il costo delle risorse e migliorare l'efficienza.

MANUTENZIONE ORDINARIA [40]

La manutenzione ordinaria è un tipo di manutenzione preventiva. È una parte fondamentale della manutenzione produttiva totale, e prevede piccoli interventi di manutenzione delle macchine che utilizzano quotidianamente.

Le attività di manutenzione ordinaria sono semplici e richiedono solo competenze di base per essere eseguite correttamente. Possono essere eseguite quotidianamente,



PERFORAZIONE



INCOLLAGGIO

settimanalmente, mensilmente, trimestralmente o annualmente. Le aziende che investono nella manutenzione ordinaria possono prolungare la vita dei loro beni, ridurre gli interventi di emergenza e mantenere le linee di produzione o gli impianti in funzione in modo più costante.

A fianco sono illustrate le operazioni più comuni a questo tipo di manutenzione.



AVVITATURA



SALDATURA

2.4 Personas



INGEGNERE DI MANUTENZIONE

- **Femmina**
- **35 anni**
- **Crea le procedure, gestisce, pianifica, esegue**

Certifica ed esegue riparazioni e ricostruzioni sulle apparecchiature. Inoltre, diagnostica i guasti quando le apparecchiature si rompono e contribuisce a creare programmi di manutenzione preventiva.

- **FIXIT** può aiutarla a svolgere le ispezioni e le operazioni di manutenzione ordinaria in modo più efficiente.



SUPERVISORE

- **Maschio**
- **48 anni**
- **Supervisiona gli operatori, effettua il training**

Dirige e organizza tutte le attività relative ai sistemi di costruzione, alle operazioni delle attrezzature, agli standard di sicurezza e al funzionamento di macchine e strumenti. Supervisiona, dirige e guida il lavoro dei tecnici della manutenzione.

- **FIXIT**, con la presenza del drone, può aiutarlo durante le ispezioni di sicurezza.



TECNICO DI MANUTENZIONE

- **Maschio**
- **32 anni**
- **Esegue le operazioni pratiche**

Svolge il lavoro più pratico. Esegue attività di manutenzione preventiva (ad esempio, lubrificazione), riparazioni di emergenza (ad esempio, sostituzione di parti) e ispezioni. In alcune strutture, il tecnico di manutenzione è un "esperto di tutti i mestieri" e lavora su diversi tipi di apparecchiature.

- **FIXIT** può aiutarlo durante le operazioni di manutenzione ordinaria



ANALISI DI MERCATO



Casi studio e
comparazione
multicriteria

3.1 Comparazione casi studio

I casi studio considerati vengono comparati tramite il modello Kano, detto di comparazione con indici multicriteria, che scompone l'offerta del prodotto in una serie di "attributi" o "qualità" che i clienti percepiscono e apprezzano in modo diverso.

Il modello analizza la relazione tra le dimensioni della qualità, oggettiva e soggettiva, concentrandosi sugli elementi del prodotto che hanno un maggiore impatto sulla soddisfazione del cliente e che incidono sul posizionamento dell'azienda sul mercato.

Nella sua valutazione, il modello distingue tre classi di fattori:

FATTORI DI BASE (oggettivi)

I fattori di base sono quelli diffusi e condivisi nella classe del bene o servizio, legati all'esperienza di consumo passata o tradizionale (lato cliente), al costruire consapevole e nel rispetto di una normativa (lato costruttore). Sono oggettivi, perché la loro presenza nel prodotto che è sul mercato viene data per scontata.

La presenza di questi specifici fattori non presenta alcun

impatto sulla soddisfazione finale del cliente mentre la loro eventuale assenza viene considerata inaccettabile.

Tali fattori non rappresentano una fonte di vantaggio competitivo, ma determinano la soglia minima per l'ingresso nel mercato per il prodotto/servizio.

FATTORI PRESTAZIONALI (tra oggettivi e soggettivi)

I fattori prestazionali sono relativi a prestazioni del prodotto, di natura tangibile (es. la flessibilità dimensionale) e intangibile (es. l'affordance d'uso), che possono essere più o meno presenti, sviluppate e percepite dal consumatore. Sono parametri di riferimento, tra il soggettivo e l'oggettivo, che consentono di comparare il prodotto con altri prodotti

2a stessa tipologia presenti sul mercato.

Rispecchiando bisogni e desideri del soggetto consumatore, i fattori prestazionali determinano il livello di customer satisfaction.

Dando risposta a queste prestazioni il costruttore potrà mantenere stabile la propria posizione sul mercato, ma solo nel breve periodo.

FATTORI DELIGHT (soggettivi)

I fattori delight rappresentano il grado di originalità offerto dal prodotto, tale da sorprendere il soggetto consumatore.

Sono gli elementi inattesi, tali da generare un forte impatto positivo (anche all'acquisto) sulla customer satisfaction dell'utente. Sono valori soggettivi, talora condivisi solo da certi target di utenza, anche solo da nicchie di consumatori. Se questi elementi non sono presenti in un prodotto o servizio, ciò non comporta alcun effetto negativo sulla soddisfazione del cliente.

Ma se presenti, l'impresa può raggiungere un vantaggio competitivo duraturo, cioè per il lungo periodo.

3

BOLT

AZIENDA PRODUTTRICE

IAM Robotics

DIMENSIONI

114 x 74 x 30 cm

CARICO MASSIMO

300 kg

PESO

91 kg

DURATA BATTERIA

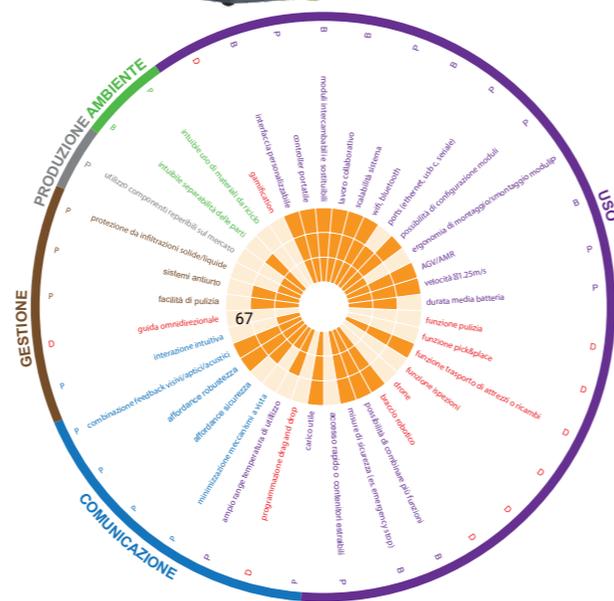
10 - 20 h

VELOCITÀ MASSIMA

2 m/s

TEMPERATURA DI UTILIZZO

0 - 40 °C

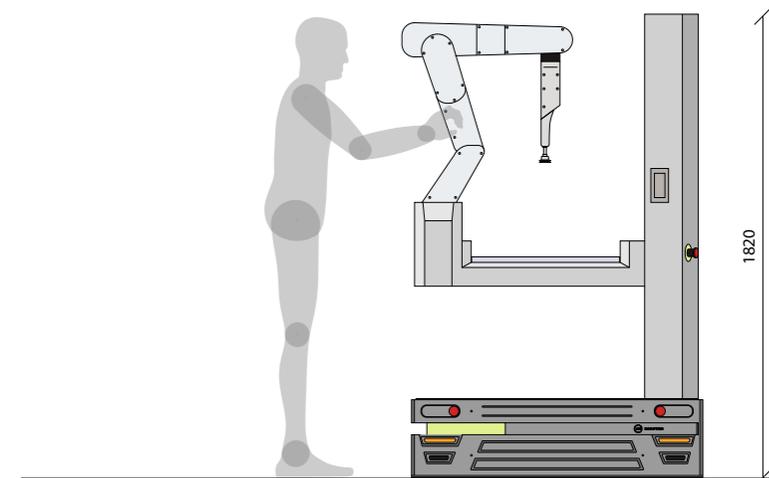
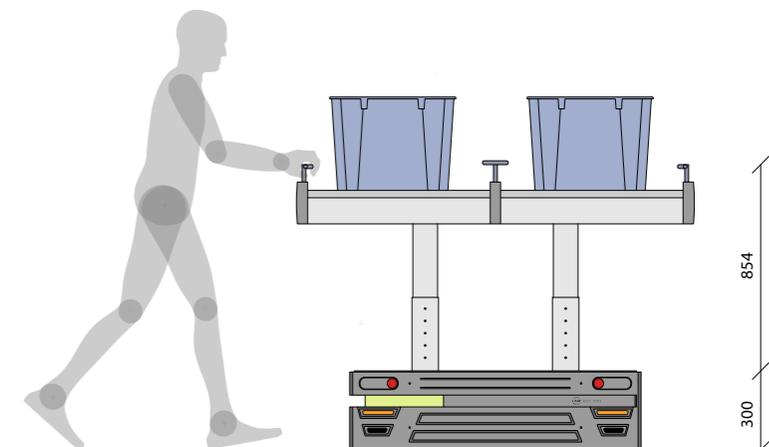
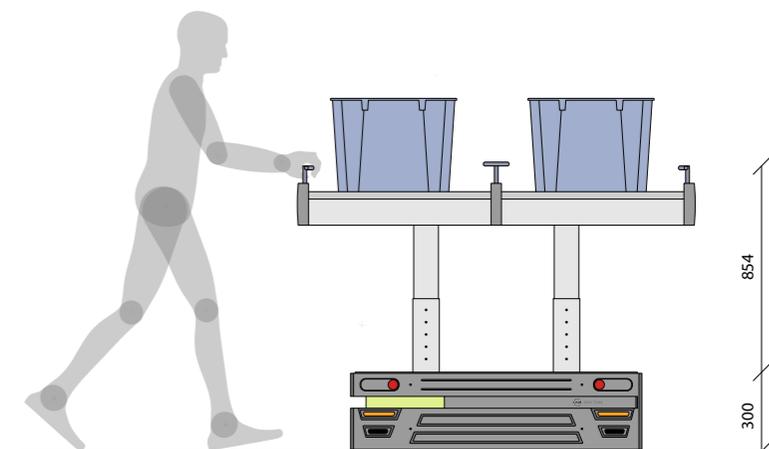


Bolt è un AMR collaborativo, progettato per lavorare con e intorno alle persone per la movimentazione e il trasporto di materiali all'interno e tra le zone di un magazzino tradizionale. Bolt è dotato di un'interfaccia flessibile che consente di utilizzare diverse opzioni di carico utile per varie applicazioni.

Bolt è progettato per essere modulare, in modo da adattarsi in base alle esigenze grazie ai sistemi mobili di trasporto e movimentazione dei materiali altamente flessibili. Molteplici opzioni di carico utile per la movimentazione dei materiali disponibili grazie alla partnership con TREW Automation.

La navigazione autonoma a campo libero permette di lavorare in modo sicuro in prossimità di persone e altre automazioni.

La batteria rileva e comunica all'utente il suo stato di carica e si collega autonomamente al caricabatterie.



LocusBot

AZIENDA PRODUTTRICE

Locus Robotics

DIMENSIONI

56 x 56 x 147 cm

CARICO MASSIMO

40 kg

PESO

45 kg

DURATA BATTERIA

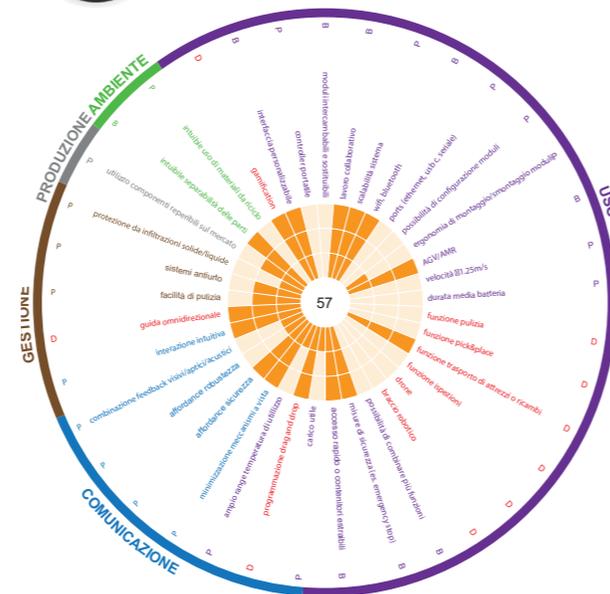
14 h

VELOCITÀ MASSIMA

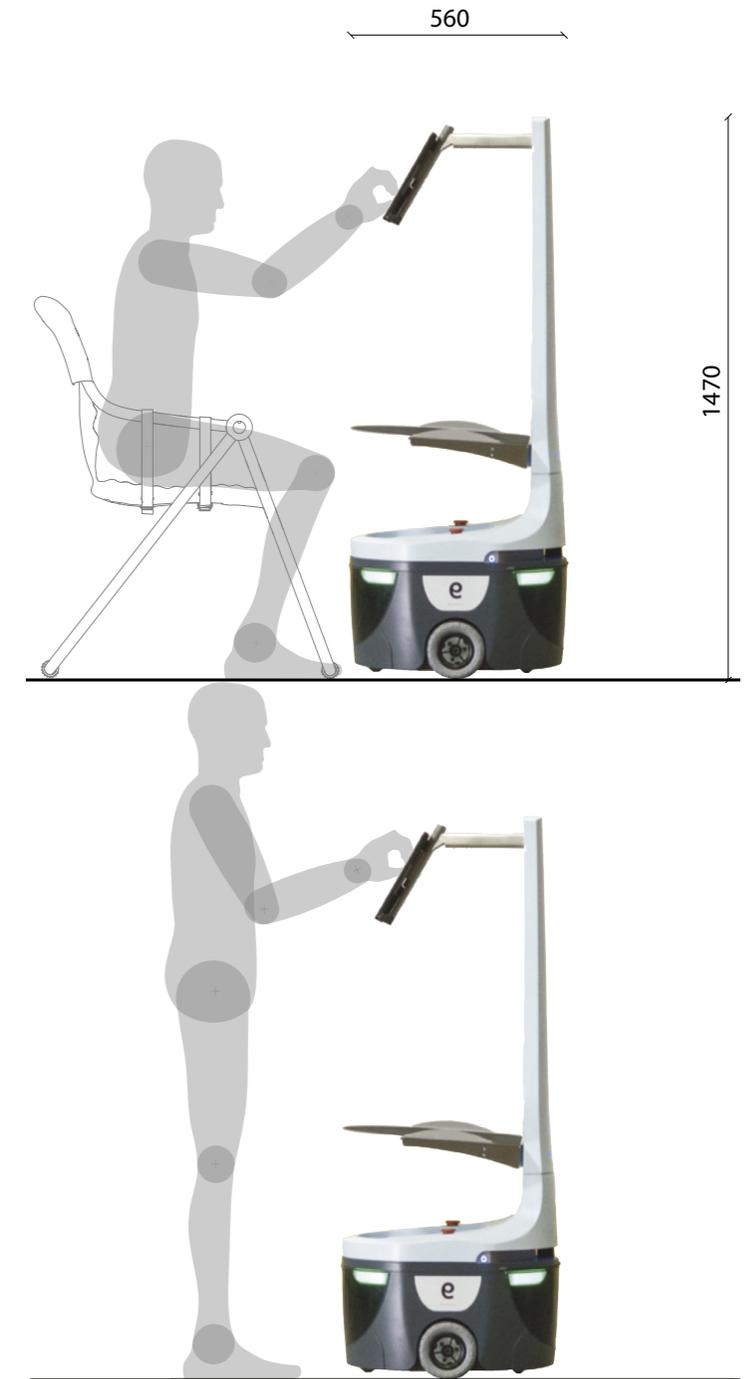
1.1 m/s

TEMPERATURA DI UTILIZZO

n.a.



Locus Origin è il robot mobile autonomo (AMR) intelligente progettato specificamente per l'evasione collaborativa di alti volumi di ordini. Grazie al suo approccio multi-bot, Locus Origin migliora la produttività dell'evasione di oltre 2 volte, eliminando i tempi di spostamento improduttivi e garantendo la precisione degli ordini. Poiché Locus Origin si occupa degli spostamenti, i lavoratori possono essere più produttivi, consentendo tempi di ciclo più rapidi, una migliore ergonomia, la sicurezza dei lavoratori e la qualità generale del posto di lavoro. Locus Origin può essere facilmente configurato per utilizzare scaffalature multilivello e un'ampia gamma di contenitori, dalle matrici di tote, ai bidoni per il trasporto alla rinfusa e persino alle scatole di spedizione, adattandosi facilmente a diversi flussi di lavoro e tipi di prodotti. La tecnologia LiDAR e di visione incorporata, insieme al software di navigazione, lo rendono estremamente agile e flessibile, in grado di collaborare facilmente con i lavoratori sia in ambienti già esistenti sia in aree non edificate. Inoltre, il suo intuitivo display multilingue migliora la precisione e il comfort degli operatori. La sua funzione opzionale di gamification può aiutare i lavoratori a mantenere gli obiettivi giornalieri e gli incentivi alle prestazioni.





SISTEMA ESIGENZIALE

4

In base agli obiettivi preposti insieme al CIM4.0, è stato compilato un quadro esigenziale per ricavare requisiti e prestazioni del prodotto.

Il quadro esigenziale è diviso in cinque categorie: uso, gestione, comunicazione, produzione e ambiente.

Uso

Le esigenze d'uso riguardano le necessità degli operatori dal punto di vista delle operazioni da svolgere e della facilità d'uso del prodotto.

In questa categoria sono state considerate le esigenze di interazione con il robot, di sicurezza durante l'utilizzo e di funzionalità rispetto alle operazioni a cui è adibito.

Da tali esigenze sono stati ricavati requisiti di forma e utilità, che sono stati risolti con le prestazioni del progetto finale come illustrato in tabella.

ESIGENZE

Interazione intuitiva
Interazione ergonomica
Prodotto adattabile a compiti diversi
Indossare i DPI durante l'utilizzo
Commettere errori in sicurezza
Trasporto attrezzi
Eseguire operazioni di manutenzione di routine

REQUISITI

Interfaccia digitale intuitiva/familiare	Interazione tramite tablet Android
Interfaccia fisica intuitiva/familiare	Sostituzione moduli intuitiva
	Pulsante di accensione visibile e facilmente raggiungibile
Comandi facilmente raggiungibili da posizione eretta o seduta	Tablet wearable
	Altezza tablet di facile lettura
Personalizzazione delle funzioni	Moduli intercambiabili e stampabili in additive
	Braccio robotico con funzione di lavoro collaborativo
Platforms di interazione compatibili con DPI	Possibilità di stampaggio moduli ad-hoc
	Interazione tramite tablet o occhiali AR
Segnalazione adeguata dei pericoli	Feedback luminoso
Funzione immediate stop	Tasto immediate stop facilmente raggiungibile
Accesso rapido o contenitori estraibili	Modulo contenitore
Capacità di manipolazione	Modulo braccio robotico

Gestione

In questa categoria sono contenute le esigenze di pulizia, manutenzione, ricarica e compatibilità con le strutture esistenti nel contesto di utilizzo.

ESIGENZE

Benessere durante il montaggio/smontaggio del robot
Manutenzione
Pulizia
Ricaricare il robot
Compatibilità con le infrastrutture presenti (es. prese di carica, software, macchinari, attrezzature)

Comunicazione

Queste caratteristiche riguardano il contatto tra il robot e l'utente e si focalizzano sui requisiti di forma, colore e feedback.

ESIGENZE

Rapporto di fiducia con il robot
Visibilità del robot
Comprensione del feedback di sicurezza/utilizzo

Ambiente

Le esigenze ambientali riguardano principalmente i materiali e il fine vita del prodotto.

ESIGENZE

Sostenibilità dei materiali
Sostenibilità dei componenti
Disassemblaggio

Produzione

Le esigenze di produzione riguardano il risparmio economico nella produzione industriale.

ESIGENZE

Produzione economica in piccola serie

REQUISITI

Minimizzazione chiodature/bullonature	Pesenza di componenti assemblabili tramite incastro
Separabilità delle parti	Suddivisione in tre parti, moduli superiori separati
Facilità di pulizia	Forme semplici Tinta unita, finitura liscia lucida
Possibilità di ricarica	Accesso diretto alla ricarica del rover Ricarica unificata (un solo port)
Conformità con standard ISO	Port USB-C, ethernet, CMMS

PRESTAZIONI

REQUISITI

Forme che trasmettono sicurezza	Spigoli arrotondati
Colore evidenziante	Bianco o colori fluo
Feedback semplice e comprensibile	Codice luminoso tricolore

PRESTAZIONI

REQUISITI

Materiali riciclati o riciclabili	Materiali riciclabili
Tecnologie RP	Assemblaggio per incastro
Scomponibilità per componenti	Assemblaggio per incastro

PRESTAZIONI

REQUISITI

Tecnica di stampaggio adeguata alla limitata tiratura	Termoformatura
---	----------------

PRESTAZIONI



PROGETTO

5

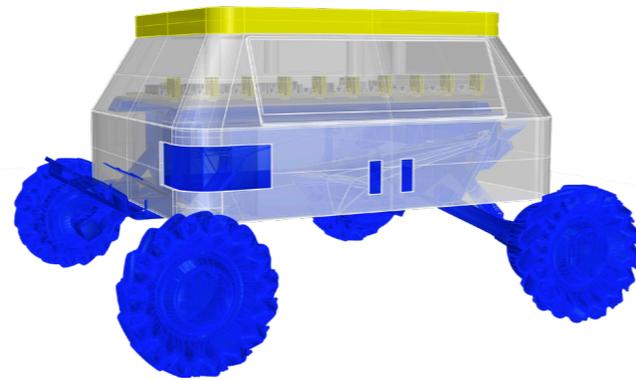
Concept,
configurazione,
specifiche,
componenti

5.1 Concept: robot mobile multitasking

Il concept definisce un **robot mobile multifunzionale** in grado di adattarsi alle svariate esigenze delle squadre di manutenzione e competere con le funzionalità dei manipolatori mobili presenti sul mercato.

Per trasmettere fiducia, è pensato con **forme arrotondate** e **dimensioni ridotte** rispetto al progetto di partenza.

I **moduli** saranno **configurabili** e personalizzabili, e semplici da inserire e disinserire.

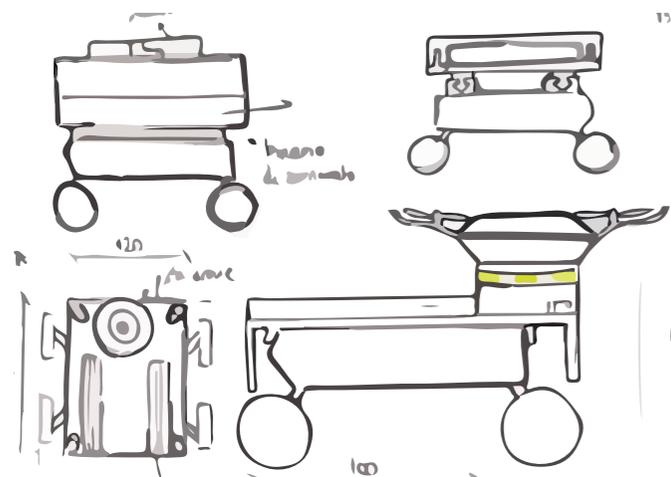


Sketch concept

Per soddisfare l'utenza di produzione, sarà composto di materiali adatti alla tecnologia di **termoformatura**.

Sono da includere tutti gli **elementi di elettronica**, presenti nel progetto di partenza, che permettono il corretto funzionamento del robot.

Il **montaggio** e smontaggio del robot deve essere il più possibile **semplice** ed ergonomico,



Sketch concept

Moodboard



5.2 Configurazione

Il corpo del robot si compone principalmente di tre componenti.

- Il piano inferiore si ancora all'UGV tramite un sistema di mensole interne, assemblate tramite incollaggio e avvitate al piano che sostiene la scheda madre e i computer di bordo. Un'altra coppia di mensole sostiene i sensori lidar, che raggiungono i 270° gradi di visione necessari grazie alla rientranza della struttura.
- Il secondo piano si assembla sul primo con un incastro che sfrutta la forza di gravità e comprende dei sostegni per le camere di visione, l'incasso per un tablet, che funge da interfaccia digitale del dispositivo, e i pulsanti di accensione ed Immediate Stop.
- Sopra questi due piani vengono



Configurazione drone

posizionati i moduli superiori, concepiti con tre configurazioni principali: una pista per il drone, un braccio robotico e un contenitore per gli attrezzi.



Configurazione porta attrezzi

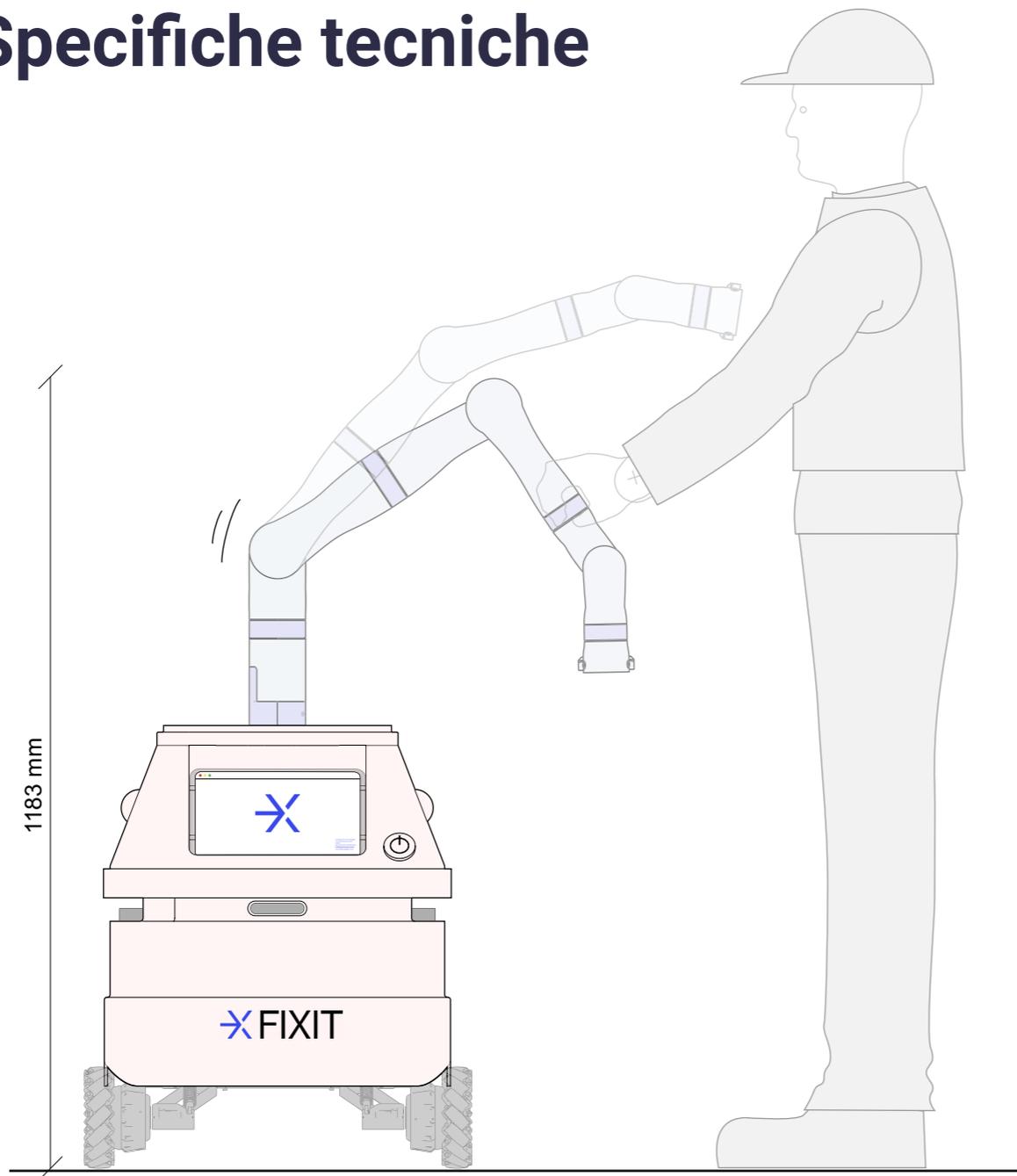


Configurazione braccio robotico

5.3 Specifiche tecniche

MODULO MANIPOLATORE

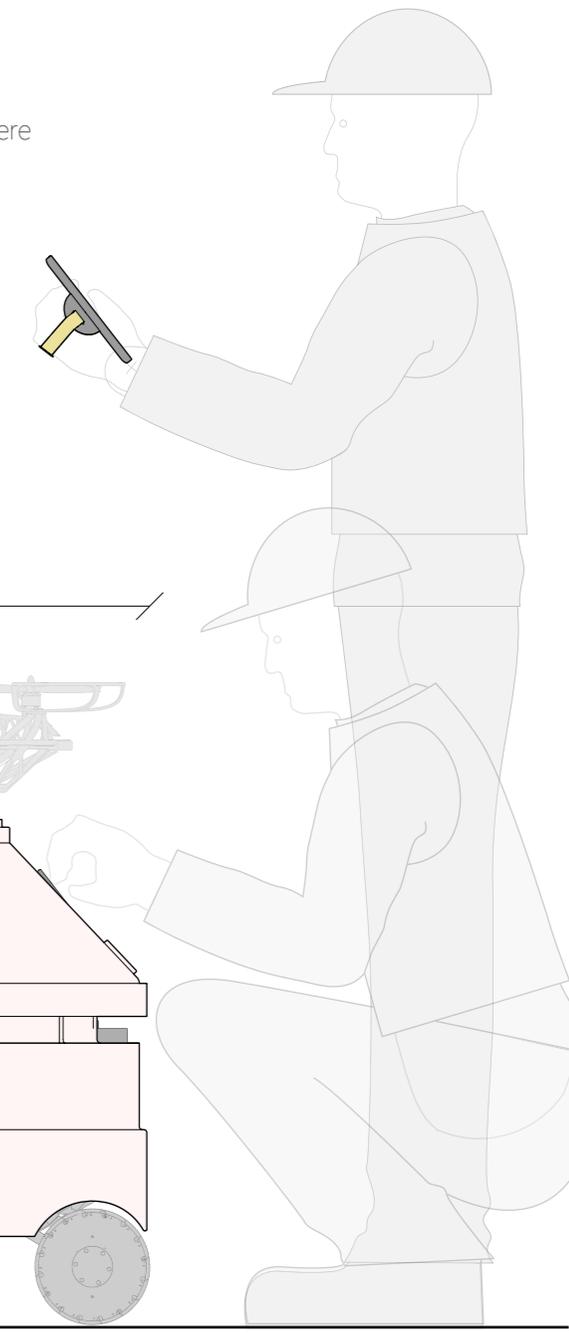
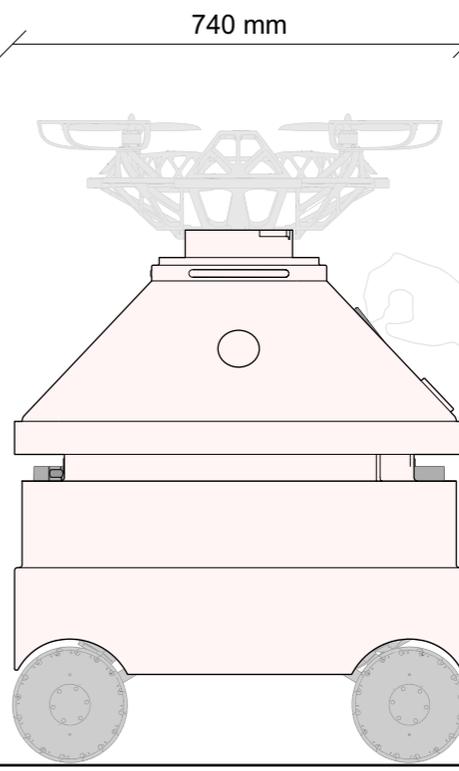
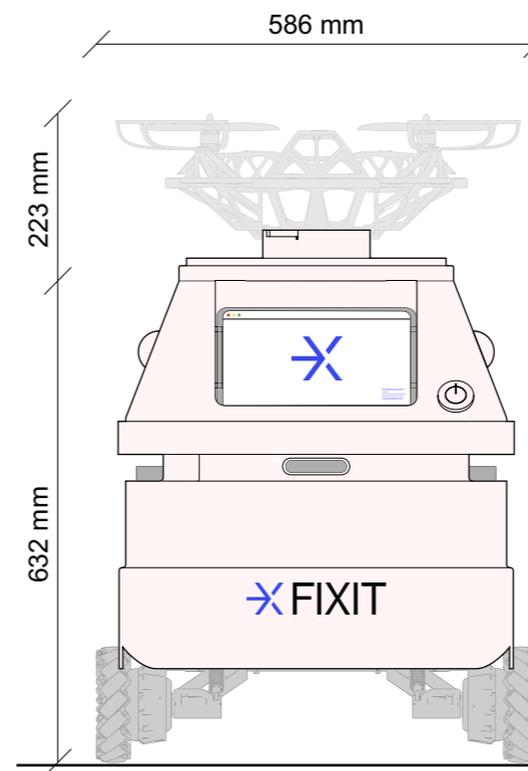
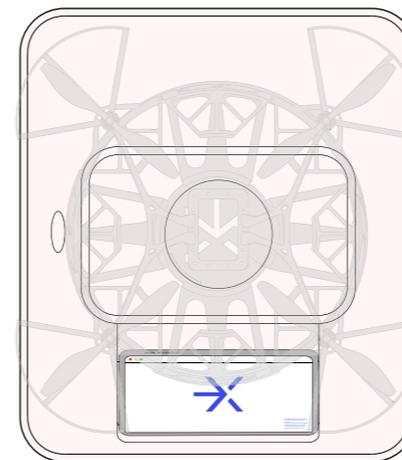
Il modulo manipolatore è progettato per assistere nelle operazioni di manutenzione ordinaria ripetitive, come la saldatura e la bullonatura.



68

MODULO DRONE

Questo modulo comprende una pista sulla quale il drone può essere agganciato tramite un innesto a baionetta.

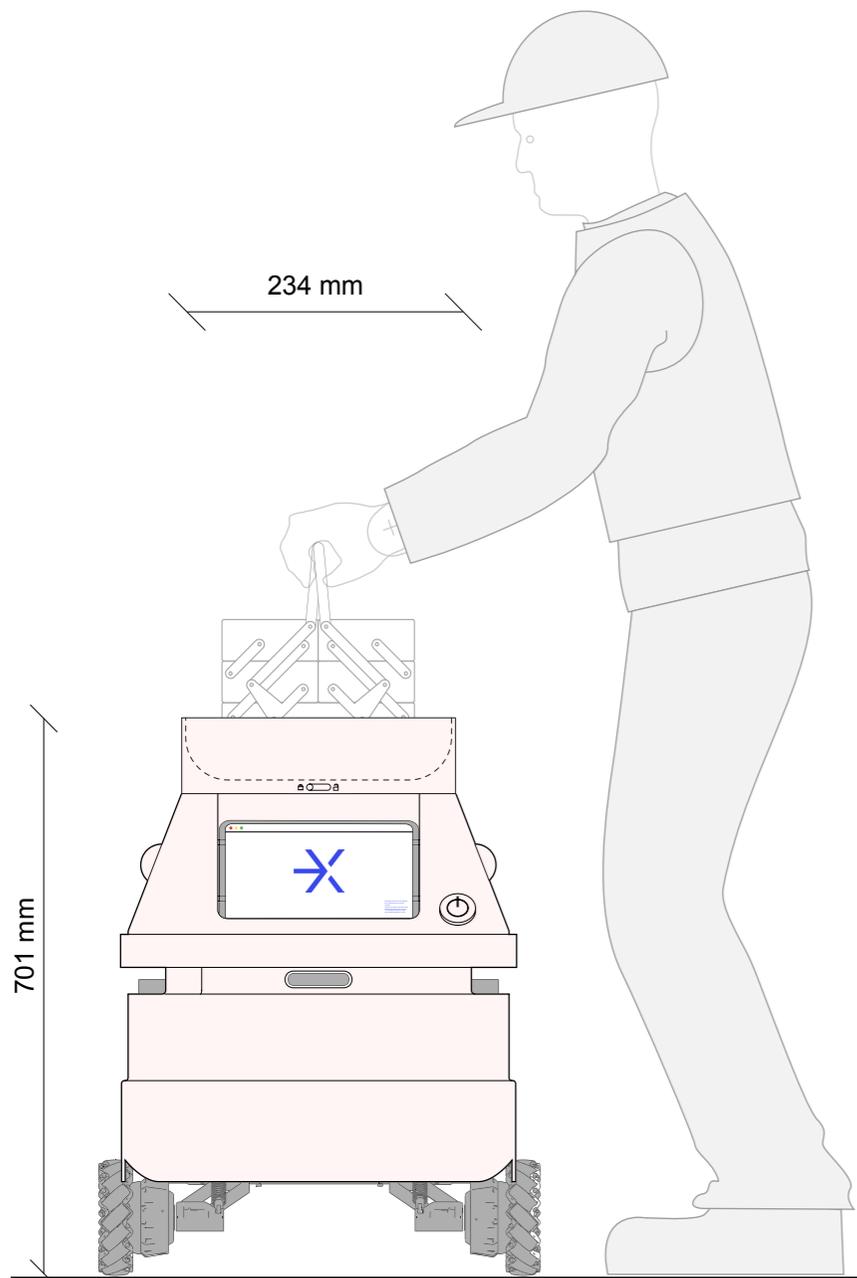


69

0 10 20 30 40 50 cm

MODULO CONTENITIVO

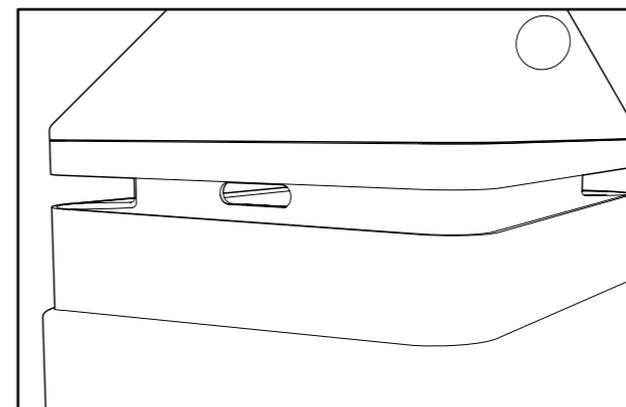
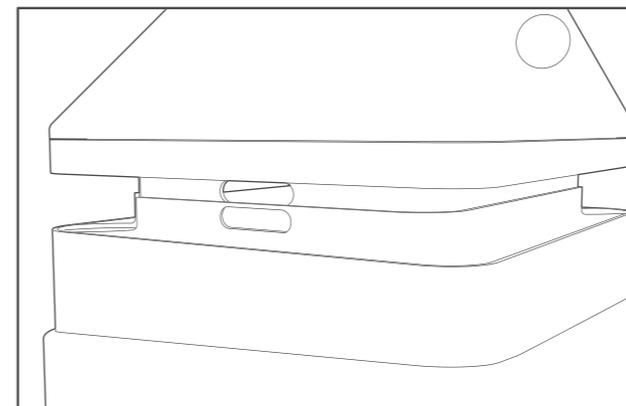
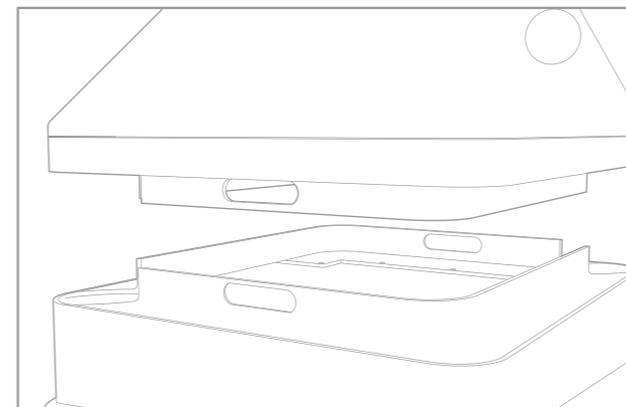
Piccoli carichi, come attrezzi e documenti, possono necessitare di essere portati da un punto all'altro del luogo di lavoro. Il terzo modulo permette quindi il trasporto di tali carichi senza richiedere l'investimento di tempo e sforzo fisico da parte dell'utente.



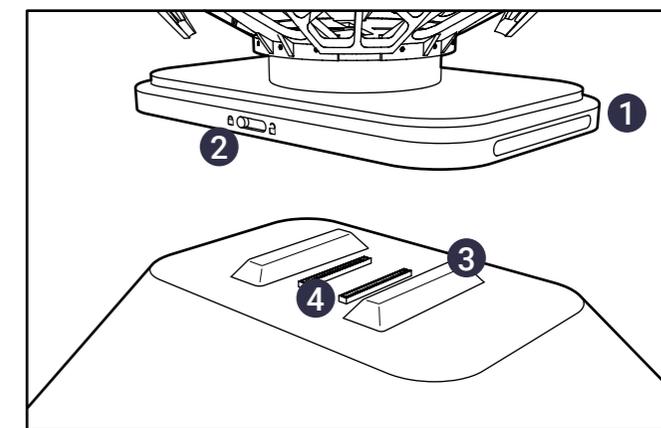
70



Meccanismo di incastro della scocca superiore sulla scocca inferiore



Meccanismo di incastro dei moduli superiori sulla scocca



1 Incasso per sollevamento manuale

Le rientranze permettono di afferrare e sollevare i moduli con comodità

2 Interruttore per elettromagneti

L'ancoraggio meccanico è rinforzato dall'uso di elettromagneti, attivabili tramite l'apposito interruttore.

3 Meccanismo ad incastro

I due innesti permettono l'ancoraggio meccanico dei moduli superiori alla scocca

4 Port DIN64 per alimentazione e connettività

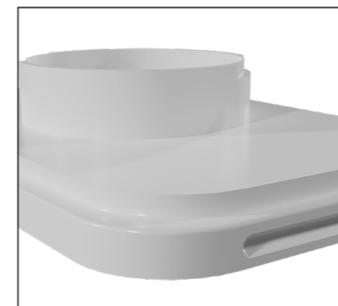
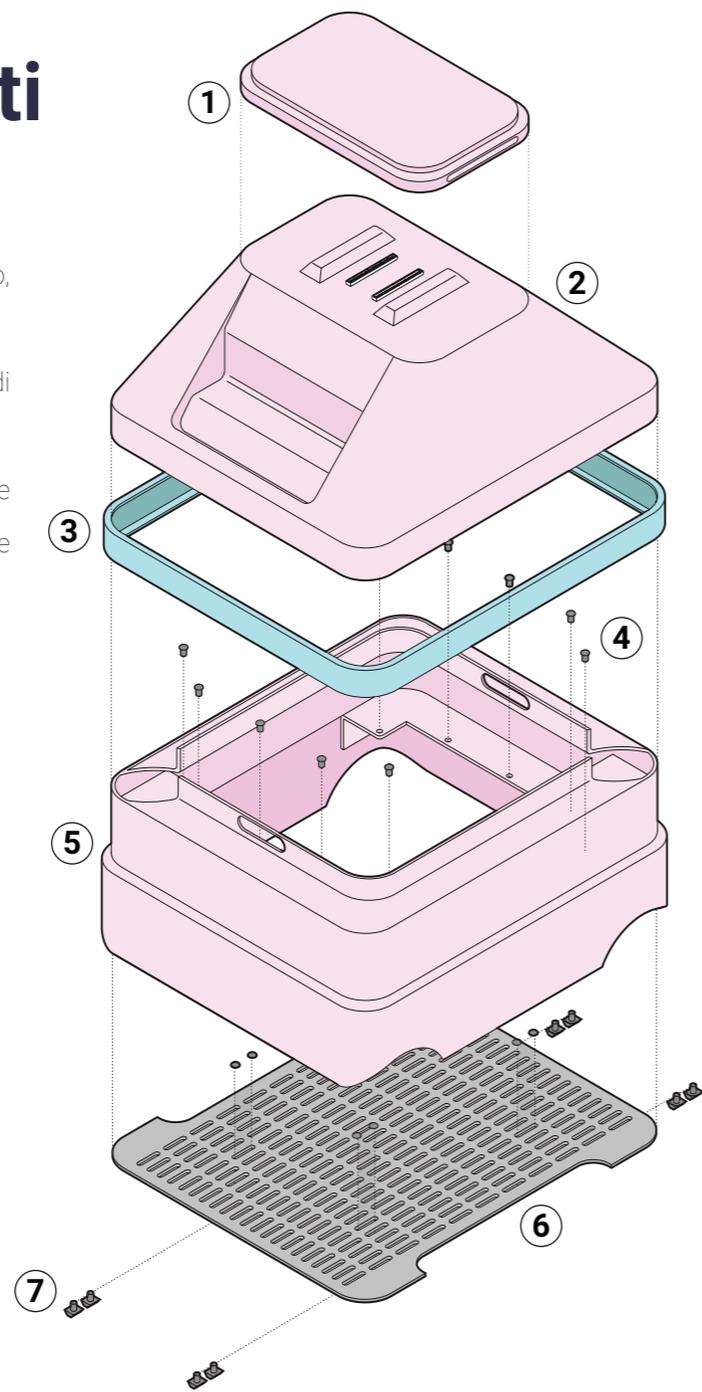
71

5.4 Componenti

La figura illustra i componenti del corpo del prodotto, esclusi i componenti di elettronica.

L'esplosivo isometrico rappresenta l'ordine e la modalità di assemblaggio in fase di produzione.

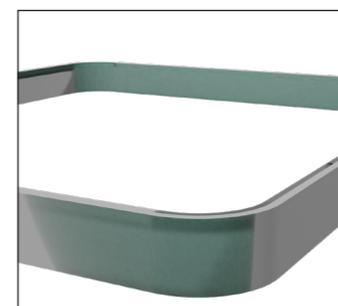
Nella pagina a lato, ogni componente è illustrato e identificato dal punto di vista dei materiali, delle finiture e delle tecnologie di trasformazione.



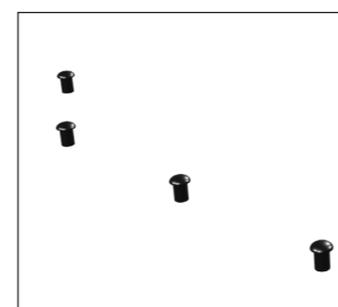
1. MODULO INTERCAMBIABILE
Materiale: ABS
Finitura: lucidatura
Trasformazione: stampaggio a iniezione



2. SCOCCA SUPERIORE
Materiale: ABS
Finitura: lucidatura
Trasformazione: termoformatura



3. CONTENITORE FASCIA LED
Materiale: PC
Finitura: lucidatura
Trasformazione: termoformatura

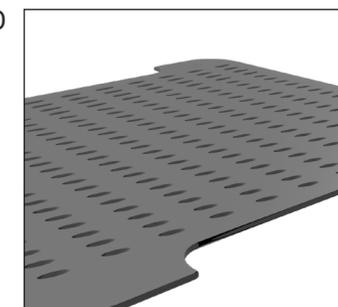


4. VITI
Materiale: acciaio inox
Finitura: lucidatura
Trasformazione: deformazione a freddo

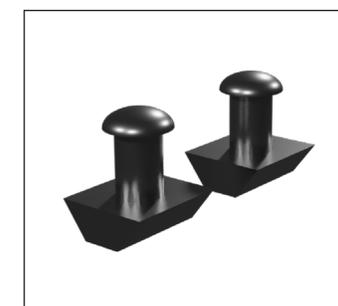
5. SOCCA INFERIORE
Materiale: ABS
Finitura: lucidatura
Trasformazione: termoformatura



6. PIANO DI APPOGGIO ELETTRONICA
Materiale: alluminio
Finitura: anodizzazione
Trasformazione: tranciatura

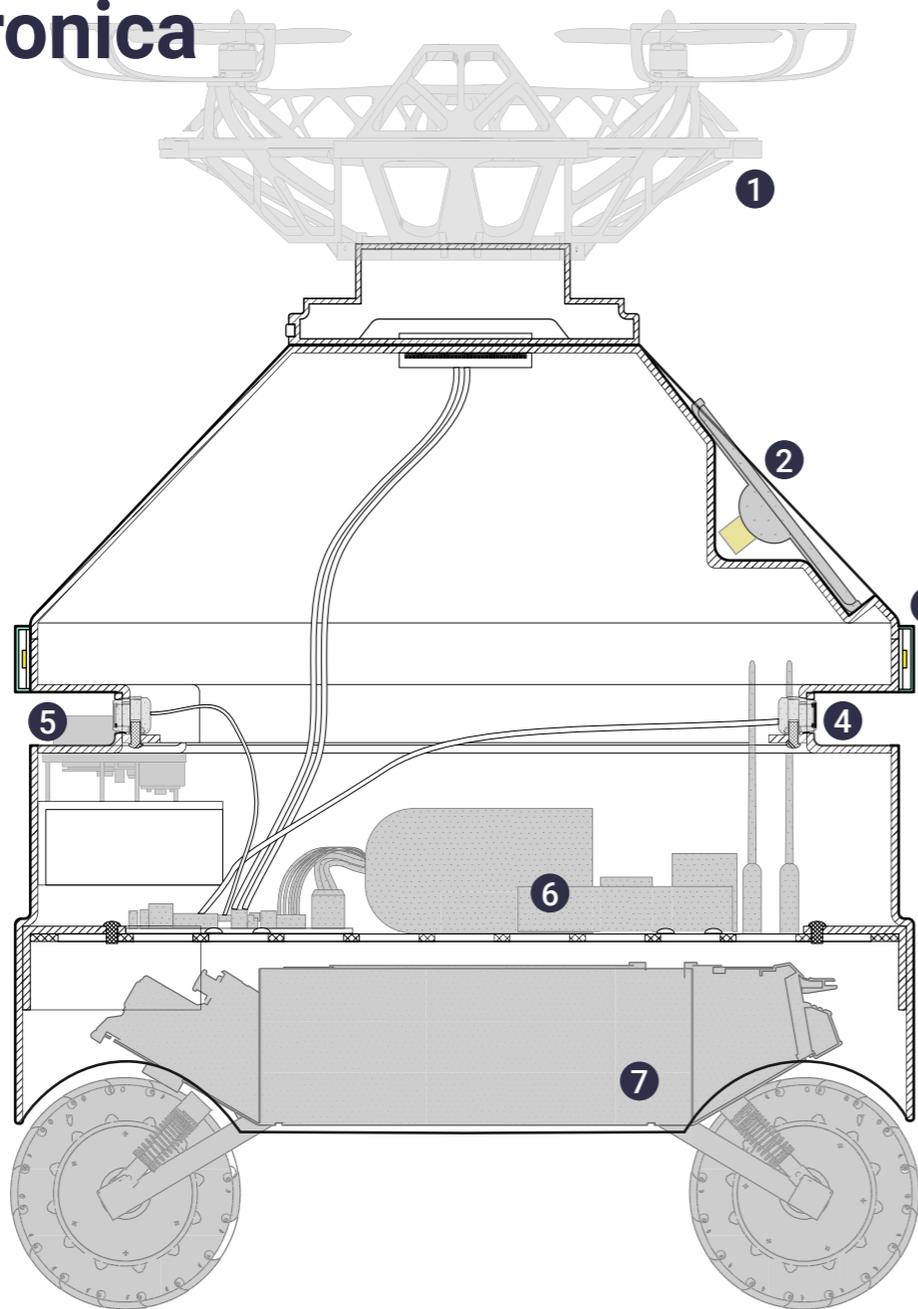


7. BULLONI
Materiale: acciaio inox
Finitura: lucidatura
Trasformazione: deformazione a freddo



0 10 20 30 40 50 cm

5.5 Elettronica



Componenti

Di seguito sono descritti brevemente i componenti elettronici assegnati dalla parte di ingegneria del team di progettazione FIXIT e inclusi nel corpo del robot.

1 Drone

Drone sviluppato dal CIM4.0 e progettato per la produzione in AM.

2 Tablet Samsung Galaxy Tab S4

Fornito dal CIM4.0, funziona come interfaccia digitale del robot ed è inserito in un incasso apposito.

3 Striscia LED

Posizionata attorno al robot, emette diversi codici di colore per il feedback luminoso.

4 Camere Intel RealSense Depth D435i

5 Lidar RPLIDAR A1 2D

Permettono al robot di "vedere" l'ambiente circostante e rilevare gli ostacoli sul suo percorso in modo da potersi spostare autonomamente senza scontrarsi;

6 Scheda elettronica

Contiene la scheda madre e i connettori a cui vengono collegate le batterie, i computer di bordo e le antenne per la connettività.

7 UGV AGILEX Scout Mini

UGV ad alta velocità che sostiene e muove la struttura.

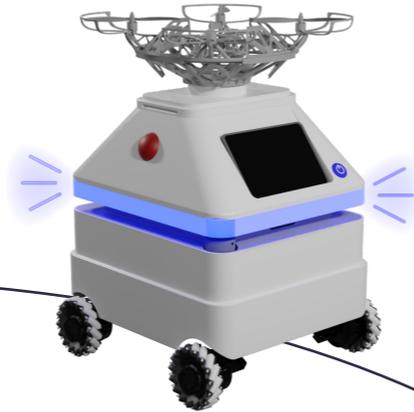
5.7 Feedback luminoso



Stand-by

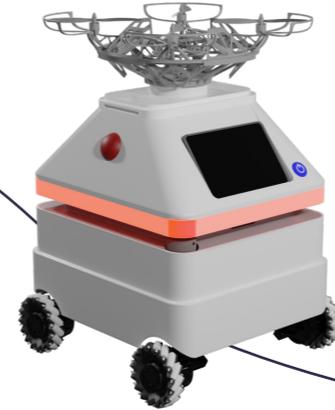


Marcia

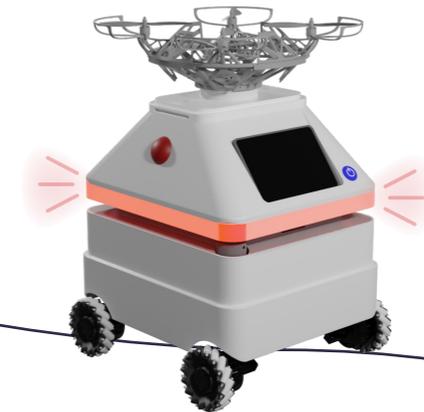


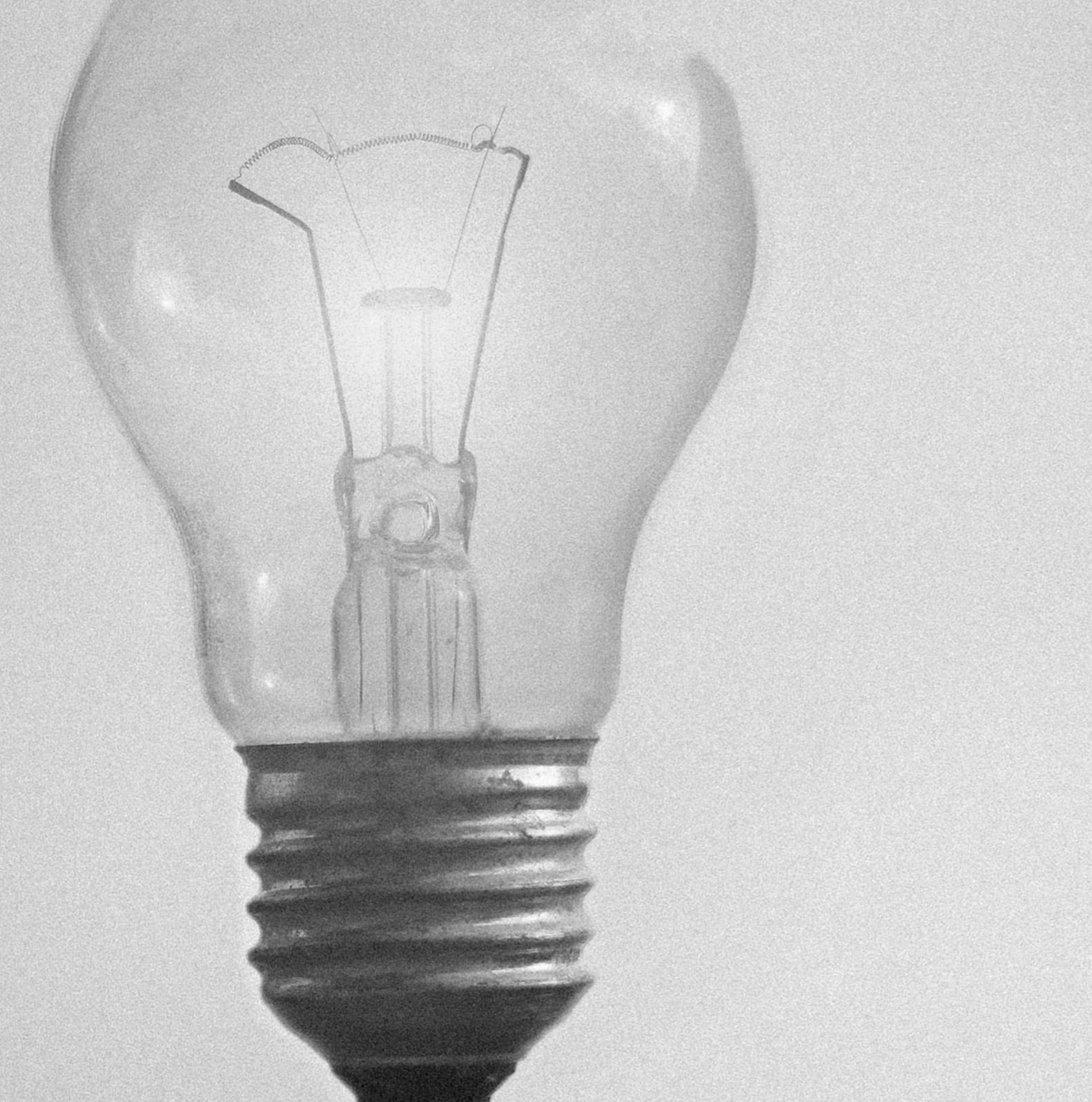
Lavoro

Errore



Batteria scarica





BIBLIOGRAFIA SITOGRAFIA



Bibliografia / Sitografia

- [1] K. Low, *Industrial Robotics: Programming, Simulation and Applications*, ser. ARS, Advanced robotic systems international. Pro-Literatur-Verlag, 2007. [Online]. Available: <https://books.google.es/books?id=xj37AXVqHYC>
- [3] P. K. Bondyopadhyay, "In the beginning [junction transistor]," *Proceedings of the IEEE*, Gennaio 1998.
- [4] A. E. Bryson, "Optimal control-1950 to 1985," *IEEE Control Systems*, vol. 16, num. 3, pag. 26–33, Giugno 1996.
- [5] A. E. Middleditch, *Survey of numerical controller technology*. Production Automation Project, University of Rochester, 1973.
- [6] A. Saxena, *Invention of Integrated Circuits: Untold Important Facts*, ser. International series on advances in solid state electronics and technology. World Scientific, 2009. [Online]. Available: <https://books.google.es/books?id=-3lpDQAAQBAJ>
- [7] B. Gates, "A robot in every home," *Scientific American*, vol. 296, pag. 58–65, 2007.
- [8] B. Trikha, "A journey from floppy disk to cloud storage," *International Journal on Computer Science and Engineering*, vol. 2, num. 4, pag. 1449–1452, 2010.
- [9] B. Copeland, "Colossus: its origins and originators," *IEEE Annals of the History of Computing*, vol. 26, num. 04, pag. 38–45, 2004.
- [10] P. Mickle, "A peep into the automated future," *The Trentonian*, 1961. [Online]. Available: <http://www.capital-century.com/1961.html>
- [11] M. V. Georges Giralt, Raja Chatila, "An integrated navigation and motion control system for autonomous multi-sensory mobile robots," *Autonomous Robot Vehicles*, vol. 7. Springer New York, 1990, pp. 420–443.
- [12] L. Bryan and E. Bryan, "Programmable controllers," 1988.
- [13] S. Shepherd and A. Buchstab, "Kuka robots on-site," in *Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design 2014*. Springer, 2014, pp. 373–380.
- [14] M. R. Cutkosky and P. K. Wright, "Position sensing wrists for industrial manipulators." DTIC Document, Tech. Rep., 1982.
- [15] J. Maeda, "Current research and development and approach to future automated construction in japan," *Construction Research Congress 2005: Broadening Perspectives*, pp. 1–11, 2005.
- [16] M. Castells, "Lessons from the history of the internet," in *The Internet galaxy: Reflections on the Internet, business, and society*. Oxford University Press, 2002, pp. 20–33.
- [17] S. Yu, "IEEE 802.3TM 'standard for ethernet' marks 30 years of innovation and global market growth," *IEEE Standards Association*, 2013.
- [18] M. C. Daniel P. Bovet, "Understanding the linux kernel: from i/o ports to process management," vol. 3. O'Reilly Media, 2005.
- [19] M. Barabanov, "A linux-based real-time operating system," *New Mexico Institute of Mining and Technology, Tech. Rep.*, 1997.
- [20] V. Yodaiken, "Cheap operating systems research and teaching with linux," *Tech. Rep.*, 1996.
- [21] K. Srihari and M. P. Deisenroth, *Robot Programming Languages— A State of the Art Survey*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1988, pp. 625–635. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-73890-6_76
- [22] W. A. Gruver, B. I. Soroka, J. J. Craig, and T. L. Turner, "Industrial robot programming languages: A comparative evaluation," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. SMC-14, no. 4, pp. 565–570, 1984.
- [23] J. Lapham, "Roboscript™: the introduction of a universal robot programming language," *Industrial Robot: An International Journal*, vol. 26, no. 1, pp. 17–25, 1999. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1108/01439919910250188>
- [24] J. Hollingum, "Abb focus on "lean robotization"," *Industrial Robot: An International Journal*, vol. 21, no. 4, pp. 15–16, 1994. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1108/01439919410068140>
- [25] D. C. Cliburn, "Experiences with the lego mindstorms throughout the undergraduate computer science curriculum," in *Proceedings. Frontiers in Education. 36th Annual Conference*, Oct 2006, pp. 1–6.
- [26] M. Fujita, "On activating human communications with pet-type robot aibo," *Proceedings of the IEEE*, vol. 92, no. 11, pp. 1804–1813, Nov 2004.
- [27] <https://www.robosiri.it/wp-content/uploads/2022/01/16.11.2021-Conf.-Stampa-tutto.pdf>
https://www.storicoeventi.este.it/images/Presentazioni-Relatori/2017/Presentazione_Domenico_Appendino_Prima_Industria_Fabbrica_Futuro_Torino.pdf
- [28] <https://unece.org/fileadmin/DAM/press/pr2000/00stat10e.htm>
- [29] J. Jones, N. Mack, D. Nugent, and P. Sandin, "Autonomous floor-cleaning robot," Apr. 26 2005, uS Patent 6,883,201. [Online]. Available: <https://www.google.com/patents/US6883201>
- [30] A. group, "Abb introduces yumiR , world's first truly collaborative dual-arm robot," *ABB Press release*, 2015. [Online]. Available: [http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/5869f389ad26c612c1257e26001c-974c/\\$file/15_23+GPR+YuMi+Hannover+pr.pdf](http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/5869f389ad26c612c1257e26001c-974c/$file/15_23+GPR+YuMi+Hannover+pr.pdf)
- [31] A. H. Brian P. Gerkey, Richard T. Vaughan, "The player/stage project: Tools for multi-robot and distributed sensor systems," *11th International Conference on Advanced Robotics (ICAR 2003)*, vol. 1, pp. 317–323, 2003. [Online].

Available: <http://robotics.usc.edu/~gerkey/research/finalpapers/icar03-player.pdf>

[32] N. Koenig and A. Howard, "Design and use paradigms for gazebo, an open-source multi-robot simulator," in 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (IEEE Cat. No.04CH37566), vol. 3, 2004, pp. 2149–2154.

[33] W. Garage, "Robot operating system," 2009. [Online]. Available: Robotoperatingsystem [34] Service Robots and Robotics - Design and Application, 2012

[35] Robotics - from Manipulator to MobileBot, Zixing Cai, 2022

[36] Robotica Industriale – Consuelo Rodriguez, 2018

[37] World robotics 2021 Report, International Federation of Robotics

[38] <https://www.mglobale.it/analisi-di-mercato/tutte-le-news/world-robotics-report-2022.kl>

[39] Cobots and the benefits of their implementation in intelligent manufacturing, Rinat Galin et al 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 862 032075

[40] www.iso.org

[41] www.cim40.com

[42] <https://www.upkeep.com/learning/routine-maintenance>

[43] <https://www.equinoxsdrones.com/blog/visual-drone-inspection-across-different-industries>

[4] La Manutenzione Per la Sicurezza sul Lavoro e la Sicurezza Nella Manutenzione - Inail, Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici, 2019

Sitografia figure

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Punched_card
2. https://robotics.kawasaki.com/en1/anniversary/history/history_02.html
3. <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fthenewstack.io%2Fremembering-shakey-first-intelligent-robot%2F&psig=AOvVaw3RwCaLsINA1SvMeqcASeFd&ust=1670395104999000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjRxqFwoTCMib2uiw5PsCFQAAAAAdAAAAABAI>
4. <https://robots.ieee.org/robots/aibo/>
5. <https://www.lego.com/it-it/themes/mindstorms/ev3>
6. <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fit.wikipedia.org%2Fwiki%2FRoomba&psig=AOvVaw1g65XbEMm15MXCeQ80pF-y&ust=1670390490662000&source=images&cd=vfe&ved=0CA8QjRxqFwoT-COCK8-qf5PsCFQAAAAAdAAAAABAE>
7. <https://www.google.com/>

[url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.directindustry.it%2Fprod%2Fabb-robotics%2Fproduct-30265-1635187.html&psig=AOvVaw0Z3ir3LaLODx9ZY-2qDRtT1&ust=1670390723190000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjRxqFwoTCKjgoL-g5PsCFQAAAAAdAAAAABAI](https://www.directindustry.it%2Fprod%2Fabb-robotics%2Fproduct-30265-1635187.html&psig=AOvVaw0Z3ir3LaLODx9ZY-2qDRtT1&ust=1670390723190000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjRxqFwoTCKjgoL-g5PsCFQAAAAAdAAAAABAI)

8. <https://www.meccanismocomplesso.org/i-manipolatori-le-configurazioni-piu-comuni/>
9. <https://www.space.com/6461-nasa-multi-robot-planetary-exploration-plans.html>
10. <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.iot-worldtoday.com%2F2022%2F11%2F01%2F-boston-dynamics-spot-the-design-behind-the-robot-dog%2F&psig=AOvVaw01TevAJjAY-bjPGAU0AgPH&ust=1670393018326000&source=images&cd=vfe&ved=0CA8QjRxqFwoTCICx-ooWp5PsCFQAAAAAdAAAAABAI>
11. https://money.cnn.com/galleries/2011/pf/jobs/1108/gallery.dangerous_jobs/10.html
12. https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fsastrarobotics.com%2Fbenefits-automated-inspection-quality-control%2F&psig=AOvVaw2WmvYBqwukGW_6seUs-cXBx&ust=1670394743292000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjRxqFwoTCICvmLyv5PsCFQAAAAAdAAAAABAJ

13. www.cim40.com
14. www.unsplash.com
15. https://www.google.com/search?q=woman+engineer&rlz=1C5CHFA_enIT900IT900&xsrf=ALiCzsb18LD2nrOm8IMSekPp2_o-WC_WyA:1670309414495&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj6jcO6s-T7AhUQHewKHVbOCU0Q_AUoAXoECAEQAw&biw=684&bih=1041&dpr=2#imgrc=HSju273gMiR9N-M&imgdii=wXcoPvM0EJYL6M
16. <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.apizee.com%2Fwhy-integrate-remote-visual-inspection-into-your-processes%2F&psig=AOvVaw3cFLfo4g4gHObIIVGc-DZZt&ust=1670396182542000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjRxqFwoTCKCuvOq05PsCFQAAAAAdAAAAABAW>
- 17.
- 18.



RINGRAZIAMENTI

7

A conclusione di questo elaborato, desidero menzionare tutte le persone senza le quali questo lavoro di tesi non esisterebbe.

Innanzitutto, ringrazio il mio relatore, il Professor Claudio Germak, e la mia correlatrice Lorenza Abbate, per la loro disponibilità e per i consigli preziosi con cui mi hanno guidata durante la realizzazione dell'elaborato.

Un ringraziamento speciale va al mio Tutor Orlando Tovar, che mi ha accompagnata e supportata in ogni step di questo lavoro con infinite pazienza e disponibilità.

Ringrazio di cuore Enrico Pisino, per avermi dato quest'opportunità e per l'entusiasmo mostrato nei confronti del progetto, e ringrazio tutto lo staff e i compagni di studio del CIM4.0, soprattutto il mio amico e collega Giorgio, che mi ha sopportata per tutti questi mesi. E Nico, che mi ha sostenuta nella mia dipendenza dalla caffeina.

Ringrazio i miei migliori amici, Geiem, Leo, Giuseppe, Stefano, Franci e Charlie, perchè sono bellissimi, e ringrazio specialmente Roberta che mi ha salvato la vita resuscitandomi InDesign quando sembrava che se ne fosse andato per sempre.

Ringrazio la mia famiglia, mia mamma, mio fratello, la nonna e la mia sorellina Carlotta.

Infine, vorrei ringraziare me stessa per essermi stata vicina sempre, sperando che possa essere l'inizio di una lunga collaborazione.