

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Meccanica, Aerospaziale, dell'Autoveicolo e della Produzione

Corso di Laurea Magistrale

in Ingegneria Meccanica – orientamento Automazione

Tesi di Laurea Magistrale

Automazione della raccolta e dell'imballo di PET termoformato



Relatori

Prof. Maffiodo Daniela

.....

Prof. Sesana Raffaella

.....

Candidato

Clot Carlo

.....

Anno Accademico 2018/2019

1 Sommario

INTRODUZIONE	1
Presentazione dell'azienda.....	1
Struttura della tesi.....	2
1 SITUAZIONE INIZIALE.....	3
1.1 Termoformatura: Processo e Prodotto	3
1.1.1 Reparto.....	3
1.1.2 Macchinari.....	6
1.1.3 Prodotto	7
1.2 Contesto globale.....	9
1.2.1 Il concetto di Automazione	9
1.2.2 Breve analisi economico-produttiva	10
2 INDIVIDUAZIONE DELLA STRATEGIA DI INTERVENTO.....	12
2.1 Sistemi di visione per il controllo della qualità	12
2.2 Ricerca soluzioni per l'intervento sul reparto	18
2.2.1 Dossier tecnico per l'integratore	18
2.2.2 Prima Soluzione.....	22
2.2.3 Seconda soluzione.....	25
2.2.4 Terza soluzione.....	28
2.2.5 Analisi di pay-back.....	31
2.3 In che direzione va l'innovazione?	32
2.3.1 L'industria 4.0.....	32
2.3.2 Gli strumenti di presa versatili	35
2.4 Risultati dello studio.....	40
3 PROGETTAZIONE STRUMENTO DI PRESA	42
3.1 Informazioni preliminari.....	42
3.2 Varie ipotesi.....	46
3.3 Progettazione meccanica	52

3.3.1	Prove di forza sperimentali	52
3.3.2	Scelta motori di riferimento.....	55
3.3.3	Scelta altri componenti	61
3.3.4	Dimensionamento.....	65
3.4	Analisi strutturale	73
3.5	Controllo del gripper	86
3.5.1	Note introduttive	86
3.5.2	Operational Block OB1	88
3.5.3	Database DB1	92
3.5.4	Main	93
3.5.5	Formazione Piani.....	95
3.5.6	Raccolta	98
3.5.7	Posa	99
3.5.8	Messa a disposizione	101
3.5.9	Impilamento.....	103
3.5.10	Controllo Qualità (CQ).....	104
3.5.11	Reimmissione da controllo qualità (CQB)	104
3.5.12	Scatola finita.....	105
3.5.13	Robot cartesiano	106
3.5.14	Cinghioli.....	107
3.5.15	Contatori	108
3.5.16	Azzeramento	109
3.5.17	Interfaccia operatore (Human Machine Interface HMI).....	110
4	CONCLUSIONI	111
	APPENDICI	113
	Appendice A: Dossier Tecnico Integratore.....	113
	Appendice B: Listato Ansys	114
	Appendice C: Bibliografia	119

RINGRAZIAMENTI.....121

INTRODUZIONE

Presentazione dell'azienda

La Roboplast S.r.l. è una media impresa con sede a Vignolo, in provincia di Cuneo.

L'azienda, fondata da Rosetta Bonanomi e da Carlo Oderda, opera nel settore degli imballaggi plastici, soprattutto rivolti al trasporto e all'esposizione di cibo, in particolare prodotti dolciari.

L'attività principale svolta dal 1979 ad oggi è la termoformatura di film plastico; nel 2008 è stato raddoppiato lo stabilimento italiano allo scopo di internalizzare il processo a monte della termoformatura, portandolo ad oggi a ospitare tre estrusori di film plastico da granuli vergini e materiali riciclati. Nel 2012 l'azienda ha compiuto un'ulteriore espansione in ambito extranazionale fondando a Radom, in Polonia, una nuova società produttiva nel settore della termoformatura denominata Roboplast Z.o.o., di cui possiede il 100% delle quote,

Il punto di forza di Roboplast all'interno di un mercato globale in cui compete con realtà molto più grandi è un approccio totalmente orientato al cliente, "tailor made": non viene offerto un prodotto da catalogo, bensì solamente su richiesta precisa del cliente.

Questo *modus operandi*, fortemente volto a garantire un'alta qualità del prodotto, ha permesso fino ad ora all'azienda di imporsi anche su competitor esteri con costi produttivi nettamente inferiori. Tuttavia la crescente disponibilità di macchinari e di know-how in paesi in cui il costo della manodopera non è paragonabile a quello italiano, i problemi legati alla forte stagionalità del lavoro (il consumo di dolci si impenna nelle festività di Natale e Pasqua) e gli imponenti progressi tecnologici dell'automazione industriale spingono oggi Roboplast ad interrogarsi su quale sia l'organizzazione interna più adeguata a garantire un futuro all'impresa.

Questa tesi, pur focalizzandosi su uno studio più tecnico della possibilità di automatizzare il processo, nasce proprio dal desiderio della direzione di Roboplast di verificare l'automazione del reparto di Termoformatura come una buona ipotesi di risposta alle problematiche ed alle sfide attuali.

Struttura della tesi

La presente tesi si articolerà in una sequenza logica molto aderente al percorso pratico e concettuale svolto in azienda.

Nel primo capitolo verrà analizzata la situazione iniziale dell'attività produttiva, partendo da un focus sulla termoformatura fino ad andare ad inquadrare il contesto globale in cui si trova ad operare l'azienda.

Nel secondo capitolo saranno descritti il percorso con cui si è affrontato il problema dell'automazione, le prime risposte giunte dal mercato e il loro superamento; in questo capitolo sarà costante il paragone con la letteratura scientifica, che è stato elemento di guida in alcune decisioni aziendali.

Il terzo capitolo conterrà la parte più strettamente ingegneristica: verranno trattate l'ideazione di uno strumento in grado di effettuare la raccolta automatica, la sua progettazione meccanica e la programmazione del suo controllo.

Nella conclusione verranno presentati i risultati raggiunti e discussi possibili ulteriori sviluppi.

1 SITUAZIONE INIZIALE

Il punto di partenza di questa tesi, così come avviene in ogni analisi di tipo sperimentale, è l'osservazione e la descrizione dei dati. Nel caso specifico il punto di partenza è un'attività produttiva efficace che, mediante la collaborazione di macchinari e persone, trasforma bobine di film plastico in prodotti finiti termoformati e imballati. Analizziamo ora più nel dettaglio come questo avviene.

1.1 Termoformatura: Processo e Prodotto

La termoformatura è un procedimento tecnologico di formatura di manufatti aventi superfici estese e spessori relativamente sottili e uniformi, a partire da lastre di materiali termoplastici. Consiste nel riscaldare la lastra alla temperatura di rammollimento e nel farla aderire a uno stampo mediante una forte depressione, una pressione d'aria, o un controstampo. [1]

1.1.1 Reparto

Il reparto di termoformatura della Roboplast (Figura 1-1) consiste di 12 macchine lavoranti su 3 turni per 5 o 6 giorni su 7 a seconda dei periodi, ciascuna seguita da un operatore a fondo linea, per un totale di 12 operatori a turno; ad essi vanno aggiunti 1 capoturno, 1 vice-capoturno e 2 meccanici.



Figura 1-1: Layout reparto termoformatura

Come rappresentato nella figura esemplificativa della macchina H07 (Figura 1-2), le bobine di materia prima vengono prelevate dal magazzino ed introdotte nel reparto e depositate nelle aree di stoccaggio temporanee tramite un carrello elevatore e successivamente caricate una alla volta sulla macchina dall'operatore (linea blu). Dal magazzino vengono ricevuti e messi a disposizione degli operatori anche scatoloni ancora da formare e pedane vuote (linea gialla). Dalla macchina escono gli sfridi (linea rossa) che vengono pressati, imballati e portati in magazzino, e il prodotto

finito (linea verde) inscatolato e pallettizzato, che viene poi avvolto in una pellicola di polietilene (operazione di “filmatura” o “mummiatura”) e portato nel magazzino prodotto finito.

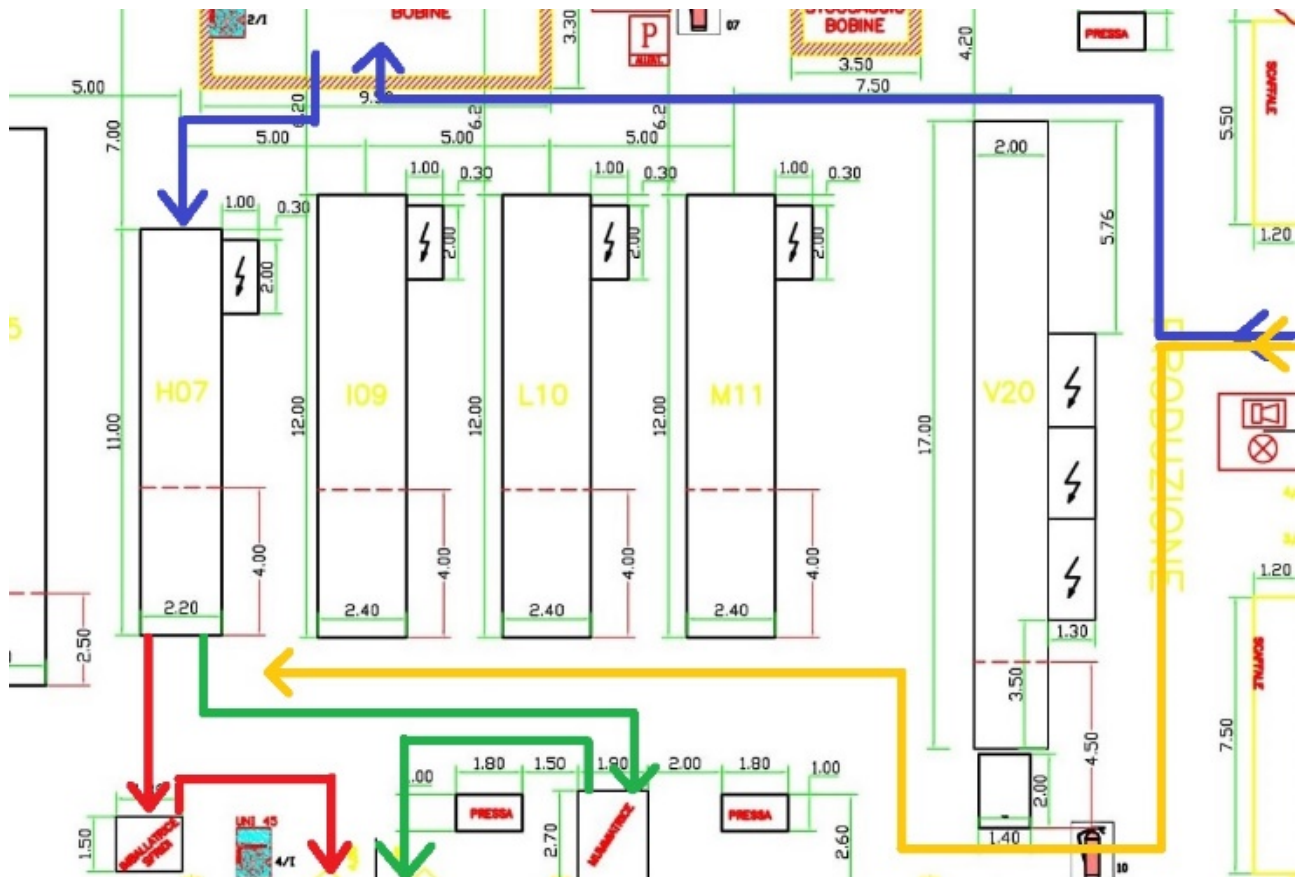


Figura 1-2: Flussi H07

Le operazioni sulla linea ad oggi svolte dagli operatori consistono in:

- Caricamento delle bobine di film;
- Smaltimento degli sfridi a fondo linea;
- Approvvigionamento di scatole e pedane;
- Formazione delle scatole;
- Raccolta degli articoli termoformati in uscita dalla macchina;
- Controllo qualità;
- Formazione delle scatole;
- Impilamento ed inscatolamento dei pezzi (con eventuali aggiunte di interfalde di cartone, detti pianetti, e/o sacchetti);
- Formazione del pallet (le scatole hanno dimensioni sottomultiple degli EPAL 1200X800 mm usati);
- Chiusura ed etichettatura delle singole scatole e del pallet formato;

- Avvolgimento del pallet formato con film di polietilene;
- Collocamento del pallet correttamente avvolto ed etichettato in un'area di magazzino transitorio;



Figura 1-3: Reparto termoformatura Roboplast



Figura 1-4: Esempio raccolta

1.1.2 Macchinari

Lo schema di una macchina termoformatrice è mostrato in Figura 1-5.

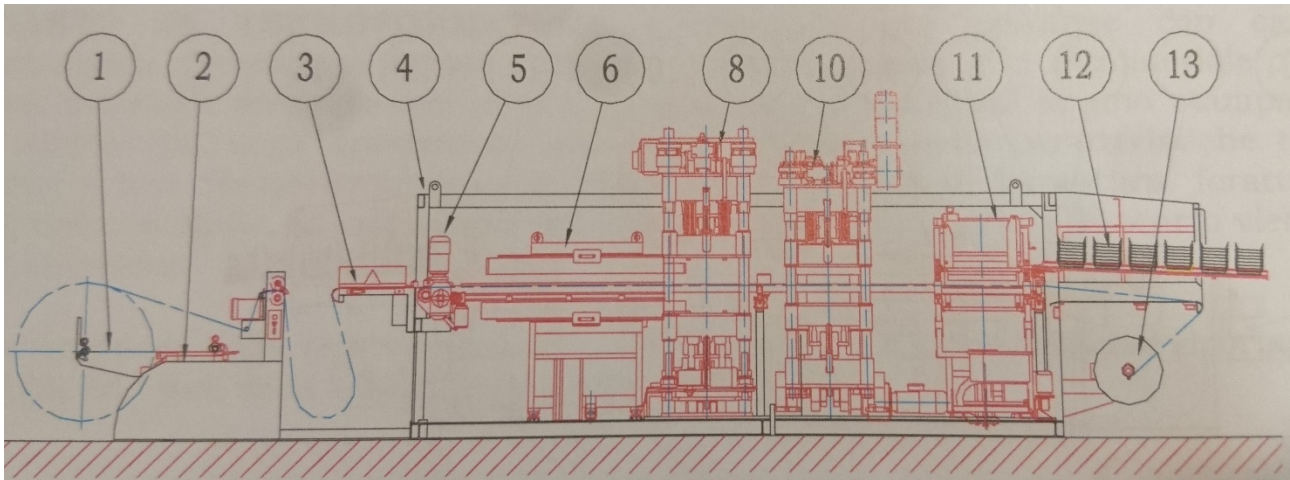


Figura 1-5: Schema termoformatrice

- 1) Supporto bobina;
- 2) Sollevamento automatico bobina (opzionale);
- 3) Guida regolabile di imbocco foglia;
- 4) Struttura metallica;
- 5) Attuatore catene di traslazione;
- 6) Forno;
- 7) (Opzione alternativa alla 8 di pressa con forma+trancia unite, non disegnata)
- 8) Pressa di formatura;
- 9) (Pressa di foratura opzionale non disegnata, a valle della 8);
- 10) Pressa di taglio (fustella);
- 11) Impilamento;
- 12) Uscita prodotti;
- 13) Accumulo sfridi.

Il film di materiale plastico (PET, PVC, PP, PLA...) viene svolto dalla bobina e imboccato nella macchina, dove viene agganciato da catene laterali che lo trasportano attraverso le varie stazioni. Il film viene innanzitutto scaldato, poi modellato attraverso l'uso combinato del vuoto e della pressione dell'aria e dello stampo raffreddato, che fissa la forma presa dal materiale; successivamente i pezzi vengono fustellati (tagliati), impilati e messi a disposizione dell'operatore, mentre gli sfridi vengono avvolti e pressati per poi essere riciclati.

Se la raccolta è ben organizzata (con un sufficiente numero di operatori) ciò che detta la produttività della macchina è la stazione di formatura e tutti i fattori ad essa connessa (tecnologia stampo, spessore e proprietà chimiche del materiale, pressione disponibile ecc...). Bisogna dunque progettare un'automazione in grado almeno di rispettare la cadenza imposta dalla pressa di formatura.

1.1.3 Prodotto

I termoformati prodotti da Roboplast appartengono a categorie molto diverse fra loro, fra le quali le principali sono: prodotti alveolari (cioè che contengono, per esempio, un cioccolatino per ogni sede), grandi espositori, trasportatori interni, prodotti con barriera (per la conservazione degli alimenti).

Le destinazioni d'uso di questi prodotti sono indicate in Figura 1-6.

	<i>segmentazione prodotti</i>	%	#RIF!
1	THERMOFORMED TRAYS FOR CHOCOLATE	23%	Vignolo (I), Radom (P)
2	THERMOF. TRAYS FOR BAKERY	8%	Vignolo (I), Radom (P)
3	THERMOF. TRAYS FOR CHEESE	4%	Vignolo (I), Radom (P)
4	THERMOF. TRAYS FOR CAKES	5%	Vignolo (I), Radom (P)
5	THERMOF. TRAYS FOR FRESH MEAT	7%	Vignolo (I), Radom (P)
6	MAP (THERM. TRAYS) FOR LONG SHELF-LIFE (PASTA, HAM,...)	6%	Vignolo (I), Radom (P)
7	THERMOF. SERVICE TRAYS FOR FOOD	15%	Vignolo (I), Radom (P)
8	THERMOF. SERVICE TRAYS FOR AUTOMOTIVE	5%	Vignolo (I), Radom (P)
9	EXTRUSION OF A-PET & R-PET FILM	17%	Vignolo (I)
10	EXTRUSION OF LAMINATED PET FILM (PE/EVOH/PE)	10%	Vignolo (I)

Figura 1-6: Mercato termoformati

Alcuni esempi:

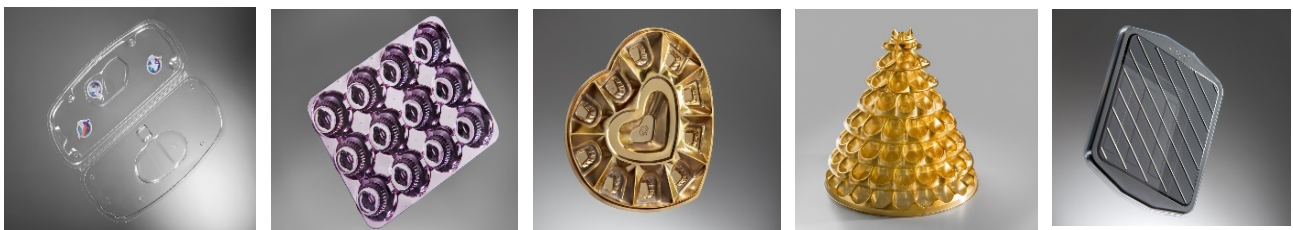


Figura 1-7: Esempi di articoli Roboplast

I materiali trattati sono principalmente PET (Polietilene Tereftalato) e PP (Polipropilene), ma talvolta vengono lavorati anche PS (Polistirene) e PLA (Acido Polilattico), eventualmente alterati da sostanze in grado di potenziare le loro proprietà fisiche.

Essendo i prodotti così diversi tra di loro, risulta difficile catalogarli e riassumerli secondo criteri accomunanti. Per questa ragione in prima battuta si è svolto un lungo lavoro di raccolta dati, che ha portato alla creazione di una tabella contenente tutte le informazioni di tutti i circa 260 codici

prodotti nel 2018. In Appendice A sarà presentato un estratto contenente tutte le informazioni riguardanti un campione del 10% dei codici, scelto in modo tale da essere rappresentativo della quasi totalità della produzione. Vale però la pena elencare i dati a disposizione, essendo essi stati il punto di partenza per qualsiasi considerazione successiva (Figura 1-8).

ANAGRAFICA PRODOTTO								
COD.ART.	DESCRIZIONE	CLIENTE	DISEGNO TECNICO	FOTO ARTICOLO	DIMNESIONI	PESO NETTO [g]	SCARICO [g]	PASSO [mm]
MATERIALE								
TIPO		PESO BOBINA [Kg]		FASCIA [mm]		SPESSORE [centesimi di mm]		
ATTREZZI								
FUSTELLA		TRANCIA		STAMPO		FIGURE [PEZZI/BATTUTA]		
RACCOLTA E IMBALLO								
CODICE	ALTEZZA [mm]	LARGHEZZA [mm]	PROFONDITA' [mm]		PEZZI/SCATOLA		SCATOLE/PEDANA	
EXTRA IMBALLAGGI	INFO E FOTO RACCOLTA	ALTEZZA USCITE [mm]	ALTEZZA PILOTTI IN SCATOLA [mm]		PEZZI/USCITE		USCITE/PILOTTO	
PRODUZIONE 2018								
BATTUTE/MIN	PEZZI/ORA	USCITE/MIN	PILOTTI/MIN		BOBINE/TURNO		PEDANE/TURNO	
SFRIDI/TURNO	SCATOLE/TURNO	N° PEZZI	% PEZZI		ORE		% ORE	

Figura 1-8: Categorie tabella prodotti

I dati cruciali da tenere in conto per approcciarsi ad un progetto preliminare di automazione sono:

- N° PEZZI (prodotti nel 2018): quantifica l'importanza di un codice rispetto al totale della produzione.
- BATTUTE/MIN, PEZZI/H...: le cadenze della macchina forniscono le velocità richieste alla raccolta.
- RACCOLTA E IMBALLO: forniscono gli ingombri da movimentare e le richieste specifiche di confezionamento.
- FIGURE: è il dato che consente di ricavare la disposizione dei pezzi in uscita dalla macchina.
- PESO NETTO: è necessario per dimensionare i componenti dell'impianto automatico di raccolta.

1.2 Contesto globale

Dopo aver presentato una panoramica generale della produzione di termoformati Roboplast, è fondamentale metterla in paragone con la realtà globale in cui opera e con le tendenze che vi si stanno affermando.

L'industria dolciaria, di gran lunga mercato principale Roboplast, è caratterizzata da produzioni brevi e in piccoli lotti, per questo il confezionamento è di solito realizzato manualmente, nonostante questo comporti alcuni problemi: sprechi, difficoltà a reperire personale nelle stagioni di punta e disoccupazione nei periodi morti, infortuni dovuti alla ripetizione seriale dello stesso movimento e scarse garanzie igieniche. [2]

1.2.1 Il concetto di Automazione

L'automazione è la capacità di svolgere un processo senza assistenza umana. [3] Questa definizione può essere estesa, dato che oggi il proposito dell'automazione è più ampio: "L'automazione è una tecnologia in cui un processo o una procedura è portato a termine per mezzo di istruzioni programmate solitamente combinate con un controllo di feedback per assicurare la corretta esecuzione". [4]

Una delle principali ragioni per scegliere di automatizzare è il risparmio sul costo della manodopera, ma, considerando gli investimenti necessari e l'emergere di nuove figure professionali, la sola motivazione economica non è sufficiente ad intraprendere questa strada. L'automazione è in grado di sostituire eccellentemente tipologie di lavoro pericolose o altamente ripetitive, in cui la riuscita è subordinata alle condizioni fisiche e psicologiche degli operatori. Inoltre i macchinari, pur non avendo la flessibilità e la capacità di far fronte ai problemi tipiche dell'uomo, se ben utilizzate possono portare a notevoli aumenti di produttività sia in termini qualitativi che quantitativi. [5]

In ogni caso prima di ragionare secondo la convenienza economica, l'intervento di automazione deve passare al vaglio di altri criteri di giudizio [6]:

- Flessibilità: il sistema deve adeguarsi facilmente a diverse situazioni
- Affidabilità: il sistema deve lavorare come ci si aspetta che faccia
- Accuratezza: il sistema deve garantire la precisione nel rispettare i comandi ricevuti
- Robustezza: il sistema deve essere in grado di reggere bene (o perlomeno di fermarsi senza rompersi) all'accadere di circostanze impreviste

- Manutenzione: il sistema deve poter lavorare a lungo in buone condizioni senza necessità di interruzioni costose in termini di tempo
- Complessità: il numero di interazioni che il sistema deve avere con l'ambiente esterno va ad aumentare la sua complessità e ad inficiare la sua robustezza
- Sicurezza: il sistema deve garantire una sicura interazione con il personale
- Payback: in ultimo il sistema deve garantire un ritorno economico in tempi accettabili

Le tradizionali forme di automazione, con strumenti molto veloci e precisi, ma dedicati ad un singolo prodotto, non sono in grado di soddisfare le esigenze di questo ambito manifatturiero, dato che il frequente cambio di attrezzature comporta una perdita molto elevata in termini di tempi e costi. La soluzione che tutte le aziende stanno dunque cercando per non perdere terreno in un mercato ultra competitivo è una tecnologia riconfigurabile in grado di adattarsi a diverse produzioni, versatile e modulare. [2]

Per concludere questa sintetica panoramica si desidera ancora citare una metodo (proposto da Lindgren & Soderberg, 2014) per procedere nelle decisioni riguardanti gli interventi di automazione. Esso consiste nel rispondere a tre domande:

- Qual è lo scopo dell'automazione e cosa vale la pena fare per raggiungere tale scopo?
- Quanto costerà raggiungere quello scopo?
- Quanto sono affidabili le risposte alle prime due domande?

Queste tre domande sono state costantemente rimesse a tema durante tutto lo studio del caso Roboplast.

1.2.2 Breve analisi economico-produttiva

A livello puramente economico la necessità di un intervento sulla produzione trova fondamento in un'analisi sul costo di un'ora di lavoro fatta confrontando la Roboplast italiana con la sua controllata in Polonia.

I dati sotto riportati (Figura 1-9), per motivi di riservatezza, sono stati riscaldati ponendo 100 il costo pieno di un'ora di lavoro in Italia nell'anno contabile 17/18.

Costo di un'ora di produzione in Termoformatura Italia			
	2017/2018		
ORE DI PRODUZIONE 17-18	DA FISSI [€/h]	DA VARIABILI [€/h]	COSTO ORARIO ATTUALE [€/h]
41,809	55.54	44.46	100.00
	2016/2017		
ORE DI PRODUZIONE 16-17	DA FISSI [€/h]	DA VARIABILI [€/h]	COSTO ORARIO [€/h]
41,558	53.65	39.96	93.61
Costo di un'ora di produzione in Termoformatura Polonia			
	2017/2018		
ORE DI PRODUZIONE 17-18	DA FISSI [€/h]	DA VARIABILI [€/h]	COSTO ORARIO ATTUALE [€/h]
25,176	49.07	17.92	66.99
	2016/017		
ORE DI PRODUZIONE 16-17	DA FISSI [€/h]	DA VARIABILI [€/h]	COSTO ORARIO [€/h]
19,751	39.03	20.47	59.50

Figura 1-9: Tabella costi orari

Purtroppo il confronto è impietoso: La Roboplast in Italia non è competitiva nemmeno con la sua “sorella minore” polacca.

Ritornando dunque alla domanda posta alla fine del paragrafo precedente “Qual è lo scopo dell’automazione e cosa vale la pena fare per raggiungere tale scopo?”, la prima risposta è: dare un futuro all’impresa in Italia, e per tale scopo vale la pena fare tutto il possibile.

Riguardo alla seconda domanda “Quanto costerà?”, il metodo utilizzato per tale analisi è stato quello del payback, ovvero dei costi cessanti e dei costi emergenti, come verrà mostrato in seguito caso per caso.

2 INDIVIDUAZIONE DELLA STRATEGIA DI INTERVENTO

Svolte le analisi preliminari riportate nel capitolo precedente, Roboplast ha formulato un primo documento contenente le funzionalità richieste ad un impianto di raccolta automatica. Tale documento [8] innanzitutto elenca le mansioni svolte dagli operatori (già presentate in 2.1.1), dopodiché afferma che l'automazione dovrà andare a coprire tutte quelle operazioni attualmente svolte dagli operatori a valle della macchina, escludendo quindi il caricamento delle bobine (e la rimozione degli sfridi). Vi si legge inoltre "Tale automazione deve essere effettuata senza modificare le operazioni a monte della raccolta (ovvero tutto ciò che la macchina fa fino al momento di separare il prodotto finito dallo sfrido) e considerando non solo il funzionamento della singola linea, ma il bilanciamento delle uscite dei pallet dalle singole linee (in merito soprattutto alle eventuali interferenze)." In ultimo il documento è completato con una precisa descrizione delle specifiche di qualità da controllarsi senza più il contributo umano:

- Corretta formatura e imbutitura;
- Corretta risposta della materia prima alle sollecitazioni termomeccaniche;
- Corretta e omogenea distribuzione dei colori;
- Corretta geometria, planarità e centratura delle forme;
- Corretta tagliatura dei bordi ed eliminazione degli sfridi (assenza di bordi graffianti/taglienti);
- Assenza di grinze e/o vele;
- Assenza di particelle metalliche, di olio (o qualsiasi altro prodotto derivato da malfunzionamento della macchina), di insetti, di pezzetti di cartone, di peli o di qualsiasi altra impurità.

Per effettuare tale controllo qualità è necessario disporre di un avanzato sistema di visione, si è dunque approfondito l'argomento indagando sia i prodotti offerti dal mercato che le ultime tecnologie sperimentate nel mondo della ricerca.

2.1 Sistemi di visione per il controllo della qualità

In ambito industriale la ricerca sui sistemi di visione è oggi un argomento particolarmente critico. Se da un lato gli avanzamenti tecnologici sono notevoli, dall'altro il livello di qualità raggiunto non sempre è sufficiente a soddisfare gli alti standard richiesti ad un prezzo accessibile, considerando anche la velocità di produzione e la multiformità dei prodotti da trattare [9]. I sistemi di visione, o *vision machine*, svolgono sostanzialmente tre grandi funzioni: aiuto al posizionamento di uno strumento di presa, riconoscimento di oggetti, identificazione dei difetti.

Il processo standard per l'individuazione dei difetti segue i seguenti passaggi [10]:

- Acquisizione e digitalizzazione dell'immagine
- Correzione del disallineamento
- Generazione del *template* (opzionale)
- Sottrazione del *template* all'immagine analizzata
- Ricerca dei difetti sull'immagine residuale

L'immagine di riferimento, detta *template*, può essere inserita dall'alto o può essere autogenerata a partire dalla ripetizione di più immagini uguali, di modo da individuare il primo pezzo della serie diverso dallo standard. Un altro tipo di approccio è quello di segnalare in anticipo al sistema di visione che difetti ricercare. In entrambi i casi ogni immagine acquisita deve essere elaborata, il che comporta diversi passaggi quasi sempre comuni [11]:

- l'immagine analizzata deve essere associata ad un'immagine già conosciuta;
- la forma e i contorni dell'immagine vanno definiti, le forme complesse verranno approssimate a somme di quadrati, rettangoli e cerchi;
- l'immagine viene memorizzata in coordinate cartesiane e polari.

Questo generico tipo di controllo qualità (fatto essenzialmente dal confronto di un'immagine di partenza con una fotografia) è molto efficace su gran parte dei prodotti, ma presenta dei difetti correlati alla condizione di acquisizione delle immagini e dei template, cioè è sostanzialmente molto sensibile alle variazioni di luce. Questo ostacolo viene superato:

- a) garantendo dall'esterno condizioni di luce omogenee (es camera oscura + luce artificiale);
- b) effettuando più acquisizioni con condizioni di luce varie, poi interpolate [12];
- c) effettuando correzioni di *postprocessing* sull'immagine acquisita.

Il problema della luce diventa particolarmente grave su materiali riflettenti o trasparenti, per i quali sono in corso di sviluppo tecnologie innovative.

In alcuni casi (soprattutto sulle bottiglie di vetro) si sono progettati sistemi di visione che sfruttano proprio le proprietà di trasmissione e riflessione della luce per individuare le imperfezioni [11]: la luce riflessa fa emergere i difetti superficiali mentre la luce trasmessa evidenzia i difetti interni al materiale. Il principale difetto di questo metodo consiste nella difficoltà di fronteggiare delle imprecisioni sullo spessore, dovute anche solo ad un'inclinazione sbagliata dell'oggetto, che rendono illeggibile l'immagine; correlato a ciò segue un lavoro di post processing sulle immagini piuttosto lento e oneroso.

Per i materiali trasparenti colorati una soluzione adottata è l'analisi multispettrale [12], [13], che consente di realizzare immagini ad alto contrasto andando ad illuminare da dietro con una luce del colore complementare (Figura 2-1).

Continuando a lavorare sulla variazione della lunghezza d'onda, importanti risultati si possono

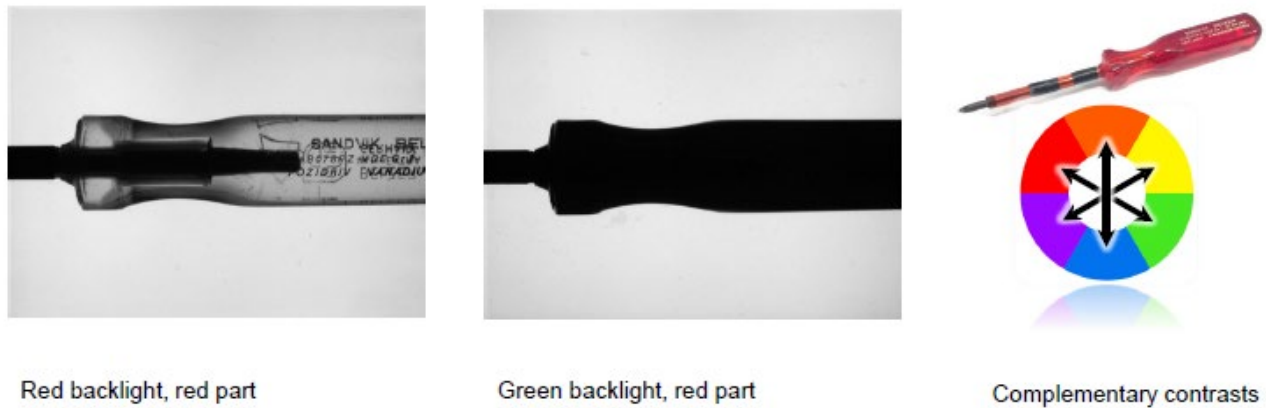


Figura 2-1: Variazione contrasto con lunghezza d'onda

ottenere uscendo dallo spettro del visibile e passando alle immagini ad infrarossi [14]. Esse presentano il grande vantaggio di essere pressoché insensibili alle condizioni di illuminazione, ma d'altro canto non sono in grado di fornire risultati ottimali in termini di risoluzione e contrasto. Per queste ragioni, recenti studi si stanno concentrando sulla possibilità di acquisire ed elaborare entrambe le immagini contemporaneamente, mediante l'utilizzo per esempio di un prisma divisore (Figura 2-2, Figura 2-3).

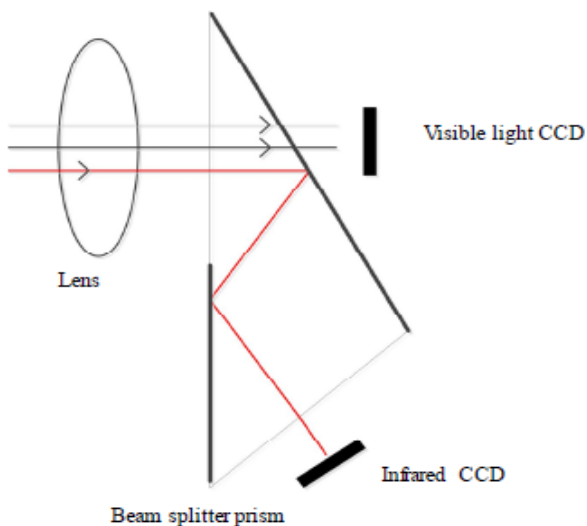


Figura 2-2: Prisma divisore

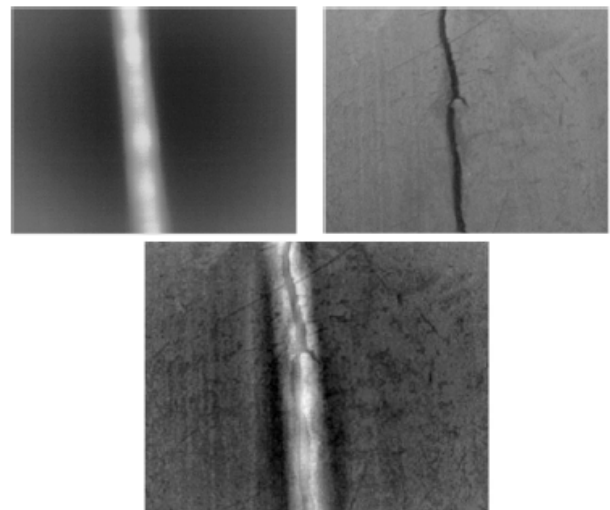


Figura 2-3: Immagine combinata visibile-infrarossi

Altre tecniche di ispezione [13] sono:

- ❖ Ispezione con fasci coassiali di luce trasmessa o riflessa, che attraversano il materiale ed impattano sul ricettore nelle zone buone, mentre vengono deviati creando aree d'ombra quando impattano su zone difettose (Figura 2-4).

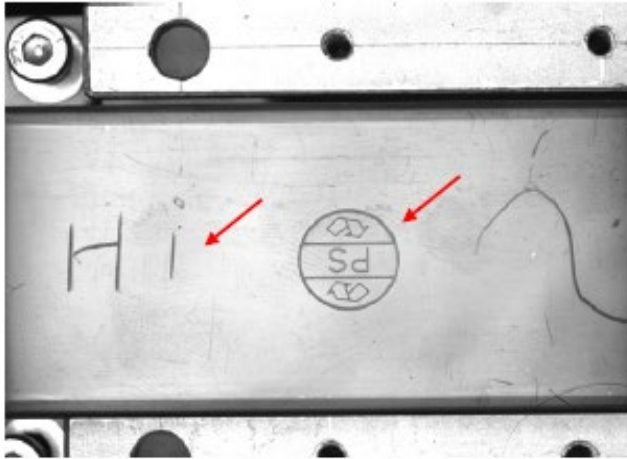
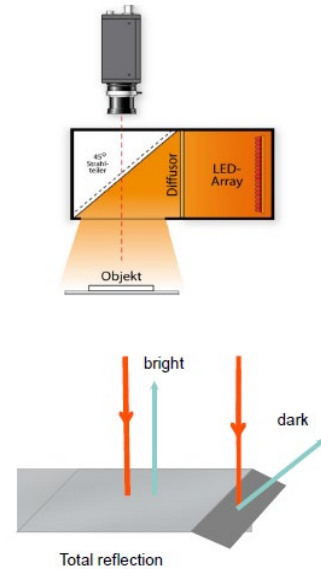


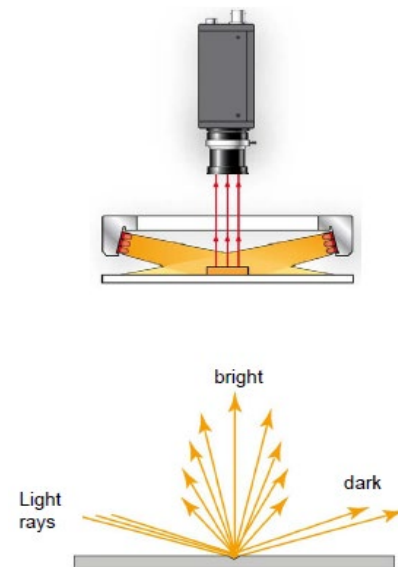
Figura 2-4: Illuminazione coassiale



- ❖ Illuminazione con basso angolo di incidenza: vengono illuminati solo i difetti in campo scuro (Figura 2-5).



Figura 2-5: Illuminazione in campo nero



- ❖ Deflettometria con luce trasmessa, evidenza per esempio bolle d'aria nel materiale (Figura 2-6).
- ❖ Illuminazione polarizzata, permette di vedere residui trasparenti come nastro adesivo (Figura 2-7).

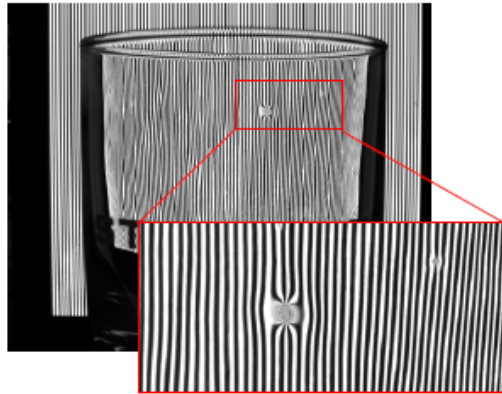


Figura 2-6: Ispezione deflettometrica

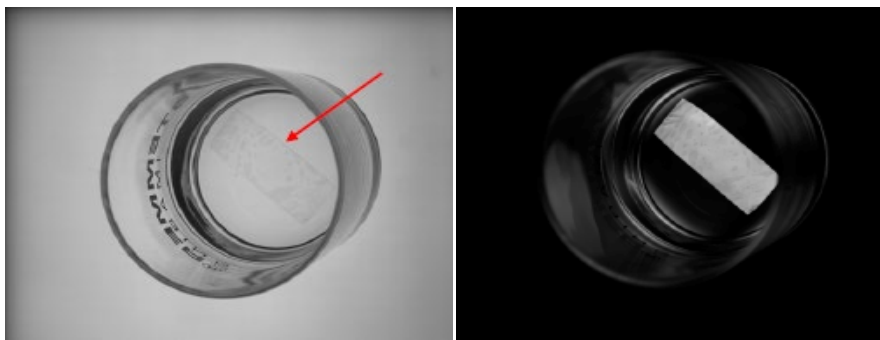


Figura 2-7: Illuminazione polarizzata

L'ultima tecnica presentata [15] consiste nella *coherence tomography*, una metodologia che consente di fare una fotografia tridimensionale dell'oggetto con i relativi difetti andando a sommare più fotografie di sezioni dell'oggetto stesso, ottenute sia nel dominio del tempo che in quello delle frequenze, con una procedura importata dal mondo dell'ingegneria biomedica (Figura 2-8).

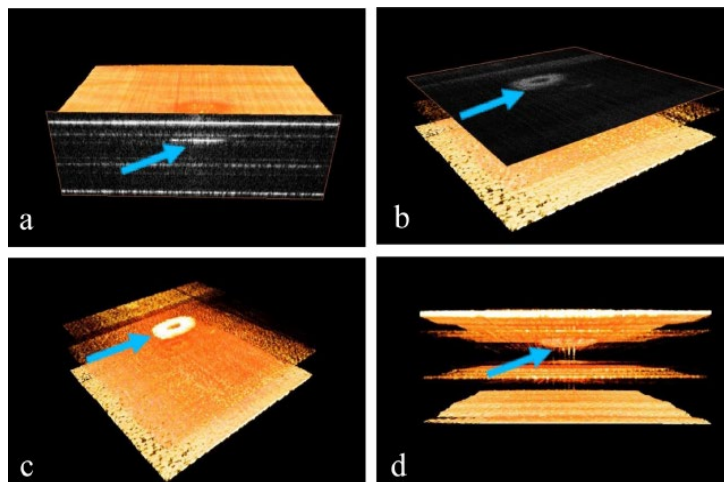


Figura 2-8: Risultati di un'analisi tomografica. A e B mostrano il difetto visto di fronte e in sezione, C mostra il difetto tridimensionale visto sulla superficie e D mostra la ricostruzione volumetrica del difetto.

Nonostante le numerose tecnologie oggi disponibili, alcune forti problematiche permangono rispetto ad un controllo qualità automatico da effettuarsi sulla produzione Roboplast:

- La numerosità dei codici prodotti richiederebbe grande potenza di calcolo;
- I prodotti differiscono fortemente tra di loro, andando da caratteristiche più opache a più trasparenti, passando per materiali metallizzati completamente riflettenti; questo comporterebbe l'uso di più tecnologie combinate;
- Il controllo qualità necessiterebbe anche di tastatori per verificare le proprietà morfologiche dei pezzi, la sola *vision machine* sarebbe insufficiente;
- Poiché non esiste un sistema di visione in grado di controllare pezzi all'interno di pilotti, i pezzi dovrebbero uscire singolarmente dalla macchina, con velocità che metterebbero in difficoltà qualsiasi sistema di raccolta automatica.

Si ritiene pertanto molto rischioso l'utilizzo di un sistema di visione per effettuare il controllo qualità.

A questo aggiungiamo una ulteriore considerazione: in azienda sono presenti operatori che da circa vent'anni verificano la qualità del prodotto, conoscendolo a menadito. Tali operatori, che fino ad oggi spendono la maggior parte del loro tempo asserviti al ritmo della macchina, avranno, in caso della buona riuscita dell'intervento di automazione, molto tempo a disposizione da dedicare ad operazioni che generino valore aggiunto. Mentre la raccolta e l'inscatolamento manuale dei prodotti non aumentano in alcun modo il loro stesso valore (e pertanto è assolutamente consigliato automatizzare queste operazioni), un aumento del controllo qualità porta quasi sicuramente ad un aumento di produttività ed efficienza, e quindi alla crescita del valore della produzione [7]. Ha dunque assolutamente senso pensare di concentrare le energie degli operatori in tale operazione.

Per le precedenti considerazioni, si è deciso di escludere il controllo qualità dall'intervento di automazione e sono state riformulate le caratteristiche richieste all'impianto automatico.

2.2 Ricerca soluzioni per l'intervento sul reparto

Giunti a questo punto, la società Roboplast ha deciso di interpellare diversi soggetti operanti sul mercato dell'automazione (i cosiddetti *system integrators*, o integratori, cioè coloro che assemblando i diversi componenti progettano l'intero sistema automatico), sottoponendo loro le proprie necessità allo scopo di osservare un ventaglio di soluzioni differenti.

2.2.1 Dossier tecnico per l'integratore

È stato stilato un "Dossier tecnico per l'integratore", cioè una cartella con al suo interno:

- Un accordo sulla riservatezza dei dati condivisi da Roboplast;
- Il layout dello stabilimento;
- Un file Excel contenente: tutti gli articoli prodotti nell'ultimo anno con la rispettiva velocità di produzione e tutti i formati di scatola utilizzati;
- Un file Excel contenente tutte le informazioni su 26 codici identificati come campione rappresentativo di tutta la "popolazione" di prodotti Roboplast (per le informazioni disponibili in questo file vedere paragrafo 2.1.3 e Appendice A)
- Una cartella contenente dei file pdf integrativi delle informazioni sul campione: una fotografia dell'articolo, le dimensioni dei pezzi e dello stampo, le specifiche di raccolta e inscatolamento/imballaggio (Figura 2-9);
- Una relazione con le nuove richieste di Roboplast.

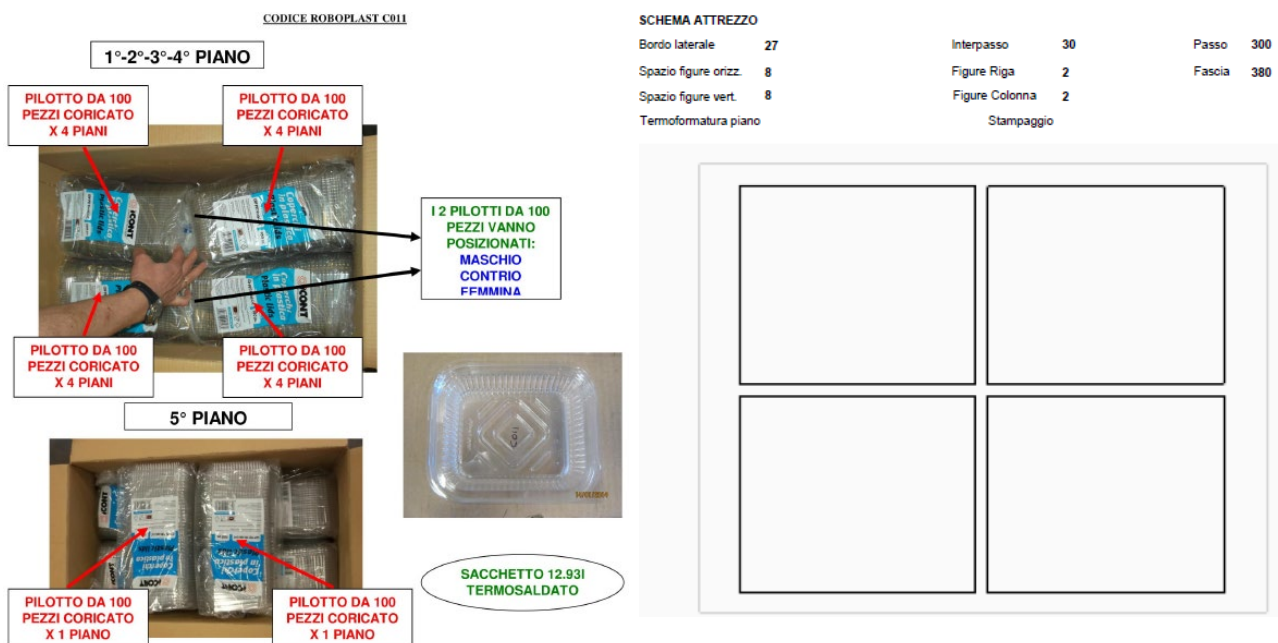


Figura 2-9: Esempio di informazioni aggiuntive, articolo C011

Riguardo alla relazione con le richieste Roboplast, si desidera riportarla testualmente poiché essa rappresenta lo strumento con cui l'azienda si è rapportata con il mercato:

“ _ Situazione attuale:

Il reparto di termoformatura della Roboplast consiste di 12 macchine lavoranti su 3 turni per 5 o 6 giorni su 7 a seconda dei periodi, ciascuna seguita da un operatore a fondo linea, totale circa 36 operatori complessivi. Desideriamo che la raccolta avvenga automaticamente.

_ Obiettivi:

- 1) Realizzazione della raccolta dei pilotti così come escono ora dalla macchina.
- 2) Creazione di un *bypass* tale per cui, in base ad un piano di campionamento predefinito e mirato per ciascun codice, il dispositivo di raccolta accantoni dei pilotti al fine della verifica, con la possibilità di reimmetterli successivamente in linea.
- 3) Allocazione dei pilotti nelle scatole predefinite (precedente preparazione automatica delle stesse); chiusura, nastratura ed applicazione dell'etichetta identificativa.
- 4) *Pallettizzazione* delle scatole secondo schemi predefiniti ed etichettatura della pedana formata; filmatura della stessa.
- 5) Messa a disposizione della pedana completa in magazzino.

Il controllo qualità verrà svolto da operatori preposti, così come il recupero degli sfridi e il rifornimento di pallet e scatole (ancora da costruire) a bordo linea.

_ Come si procederà

L'integratore prescelto produrrà e monterà ogni parte dell'impianto nella sua sede, lì avverrà il collaudo e lì verrà dato il benestare.

A seconda delle soluzioni trovate si avrà quindi il collaudo di ogni linea e un collaudo finale in Roboplast dopo l'installazione complessiva.

Sommariamente prevediamo che i mesi tra Gennaio 2019 e Ottobre 2019 siano dedicati a progettazione, montaggio e collaudo delle linee, mentre il tempo tra Dicembre 2019 e Marzo 2020 sarà dedicato all'installazione, al collaudo finale e al benestare.

Roboplast non ha partnership con alcun produttore, fabbricatore o montatore di robotica, automazione o dispositivi di comando/controllo, per cui lasceremo all'integratore la discrezionalità della scelta.

_ Cosa ci aspettiamo

Schematicamente il macro-progetto che Roboplast si aspetta di ricevere sarà costituito da:

- 1) Layout evidenziante ingombri e conseguenti eventuali fabbisogni di spazio esterno al reparto di termoformatura;
- 2) Elenco sommario dei macchinari utilizzati (es: numero e tipologia di robot, numero e tipologia di scatolatrici, catenarie, rulli, portali, plc, maniglie di presa, etc...);
- 3) Tempi e modi di realizzazione;
- 4) Costo indicativo, sulla base della documentazione e delle informazioni ricevute sui 26 campioni rappresentativi.

Al fine di facilitare la vostra analisi inviamo in allegato alla presente:

- Un elenco di dati su tutti gli articoli prodotti nell'ultimo esercizio e sulle scatole utilizzate.

- Un set di informazioni più approfondite e corredate da immagini e schemi su 26 campioni ritenuti rappresentativi della varietà dei prodotti realizzati/realizzabili da Roboplast
- Il layout del nostro stabilimento

L'insieme di questi dati rappresenta il dossier tecnico sulla base del quale l'offerta verrà redatta. All'integratore prescelto verrà poi fornita documentazione completa su tutti gli articoli.

Parte integrante dell'offerta dovrà essere una fase di training da parte dell'integratore (o di un soggetto da lui deputato) al personale Roboplast addetto alla gestione della raccolta robotizzata.

Roboplast gradirebbe conoscere fin da questa fase il soggetto giuridico nei confronti del quale verrà stipulato il contratto di fornitura.

„Tutti i file contenuti nella presente cartella sono da intendersi come strettamente riservati, invitiamo cortesemente chi ancora non l'avesse fatto ad inviarci l'accordo di riservatezza firmato.”

Di seguito riportiamo le foto dei campioni prescelti, che, per la loro varietà, ben rendono l'idea della difficoltà nel realizzare l'automazione (Figura 2-10).



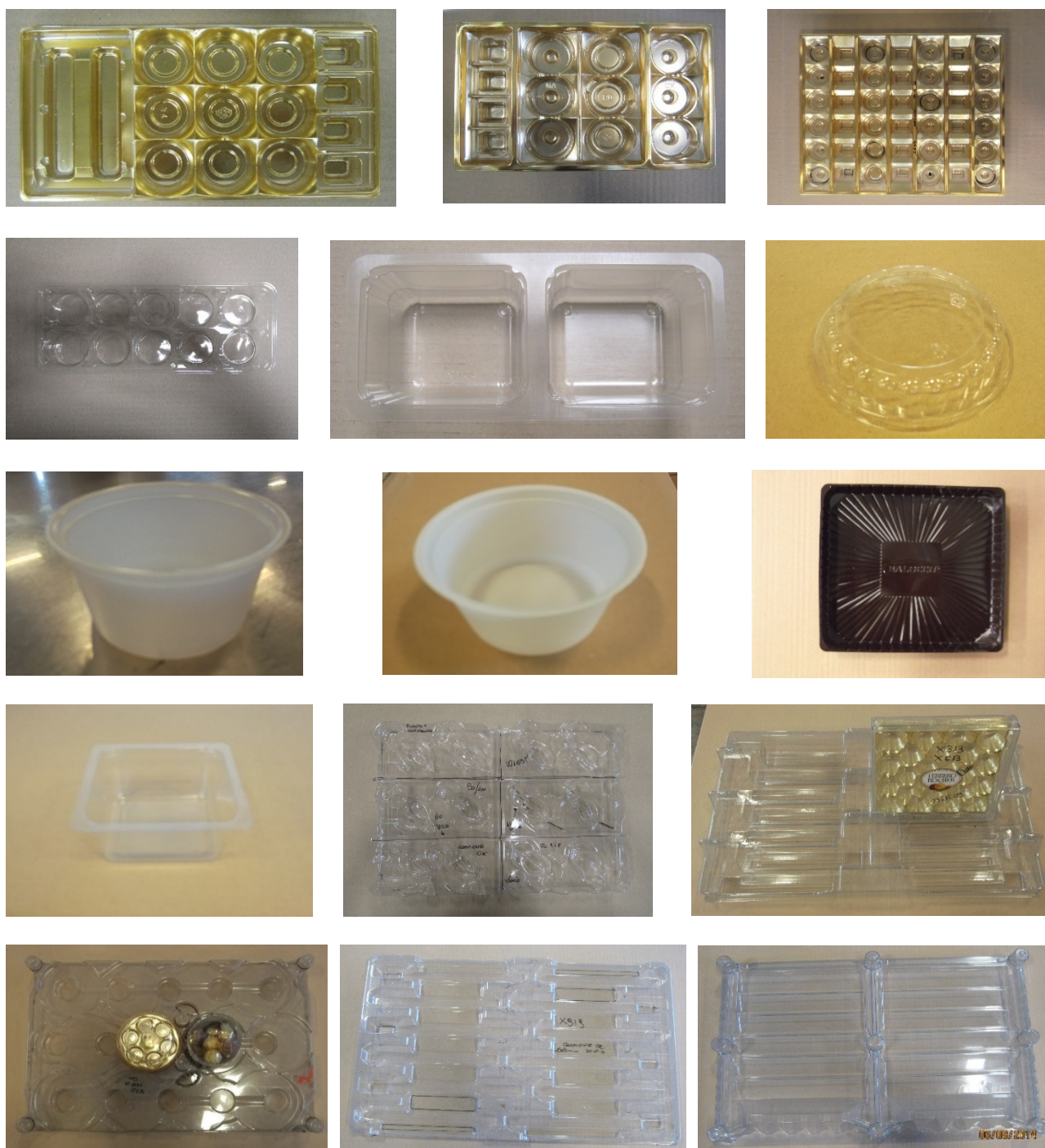


Figura 2-10: Immagini campione prodotto

Di fronte alle proposte inoltrate dalla Roboplast, i diversi integratori hanno reagito in modo molto variegato. Alcuni hanno deciso di non presentare alcuna proposta, ritenendo il problema troppo complesso e sfaccettato, altri hanno presentato delle proposte preliminari, non ancora dettagliate, ma già fortemente differenziate tra loro. Si è deciso di presentare di seguito le tre più rappresentative studiate da Roboplast in collaborazione con i diversi soggetti.

2.2.2 Prima Soluzione

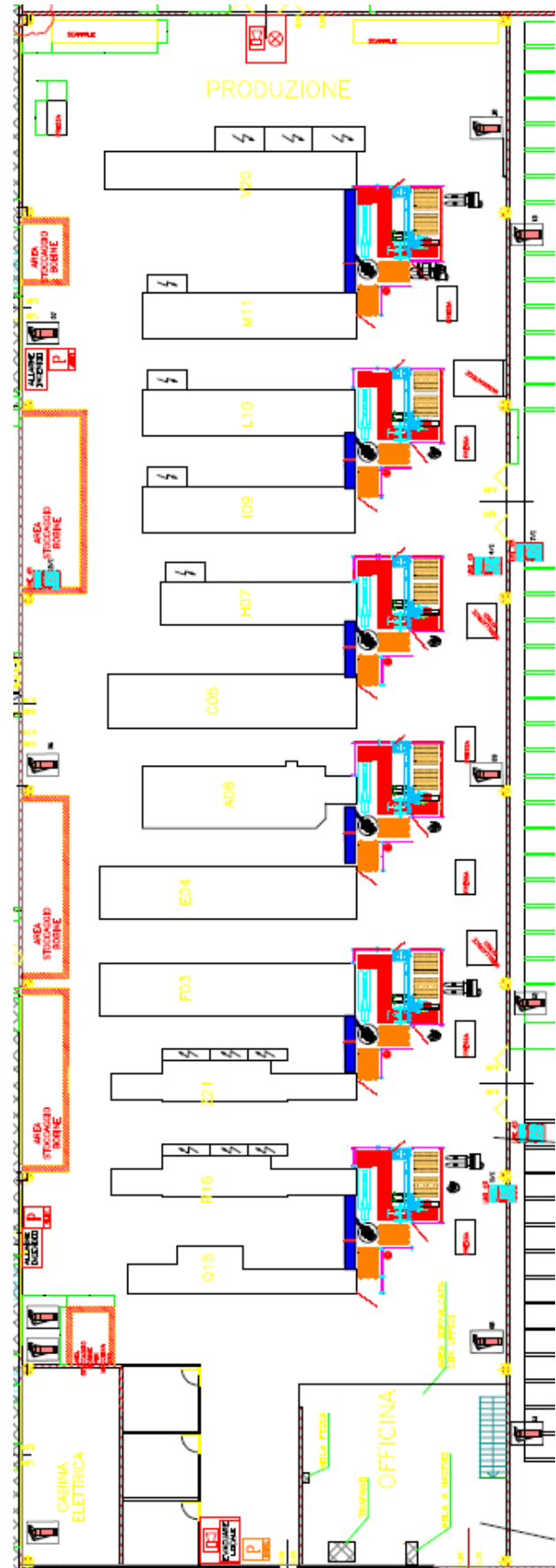


Figura 2-11: Layout 1

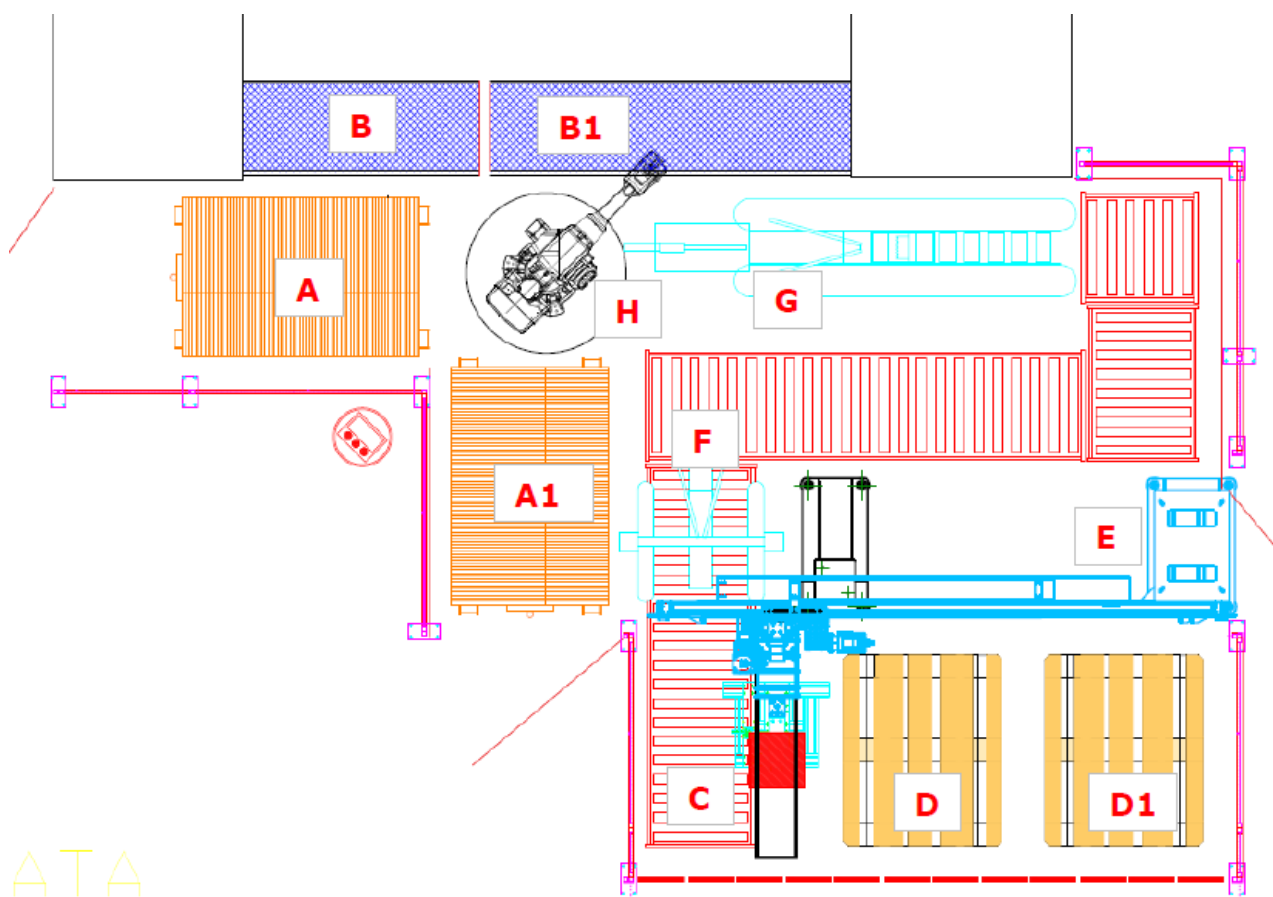


Figura 2-12: Dettaglio 1

- A/A1: modulo incartonatrice
- B/B1: nastri trasportatori
- C: rulliere avanzamento collo
- D/D1: postazioni pallet
- E: pallettizzatore
- F: modulo autodimensionante chiudifalde e con nastratura superiore
- G: modulo autodimensionante chiudifalde e con nastratura inferiore
- H: robot antropomorfo

DESCRIZIONE:

L'impianto è dotato di 2 magazzini di tipo orizzontale ove possono essere adagiati cartoni di tipo americano di 2 dimensioni diverse. Un robot di tipo antropomorfo a 6 assi provvede, mediante un tool specifico montato sul suo polso, all'estrazione di un cartone da uno specifico magazzino e alla squadratura, indipendentemente dalla dimensione del cartone e alla chiusura delle falde inferiori con nastratura, che avviene posizionando i cartoni squadrati su un modulo di chiusura falde inferiori autoadattante. Una serie di rulliere e di spintori riportano la scatola vuota nella zona di riempimento. Il robot provvede a prelevare i pilotti dai nastri di alimentazione provenienti da 2 termoformatrici ed inserirli nei cartoni secondo schemi predefiniti. Una volta completato l'incartonnamento, il cartone verrà chiuso con un modulo di chiusura falde e nastratura superiore.

Il cartone chiuso è messo a disposizione di un robot a portale che provvederà alla sua pallettizzazione. Le lunghe rulliere svolgono il ruolo di buffer.

CONSIDERAZIONI:

Questa configurazione ha il pregio della compattezza, probabilmente persino ulteriormente migliorabile.

In via preliminare non sono stati approfonditi tre aspetti, rimandati ad analisi successive:

Dove è possibile effettuare un controllo qualità senza interferire con il raggio di azione del robot?

Come vengono manipolate le uscite per ottenere i pilotti?

Come funziona l'impianto (anche a livello di flussi) nella condizione di raccolta manuale (isola automatica off)?

Va detto che anche sulla capacità effettiva del robot di prelevare sia le scatole che i prodotti dalle due linee permangono forti dubbi.

2.2.3 Seconda soluzione

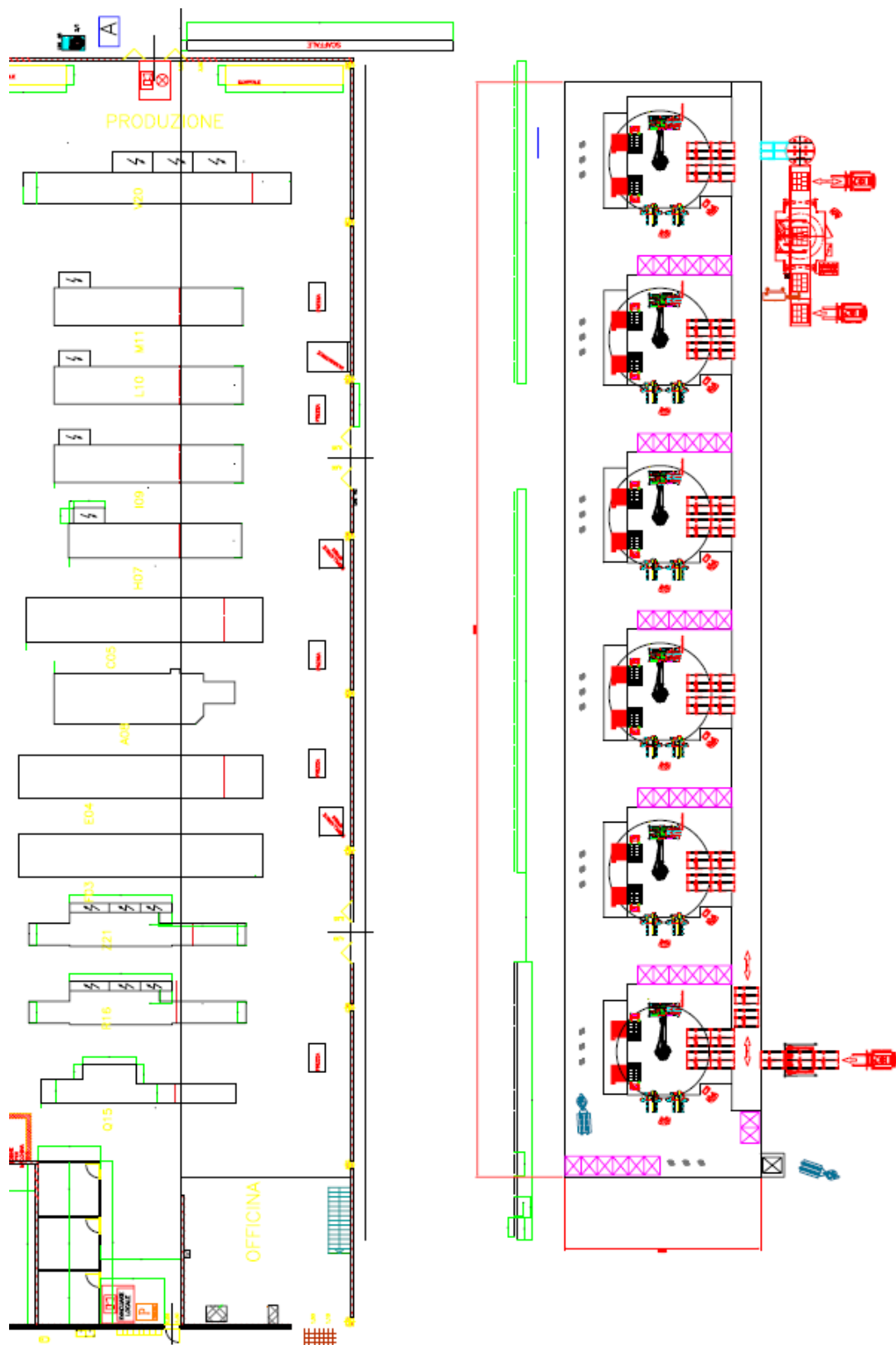


Figura 2-13: Layout 2

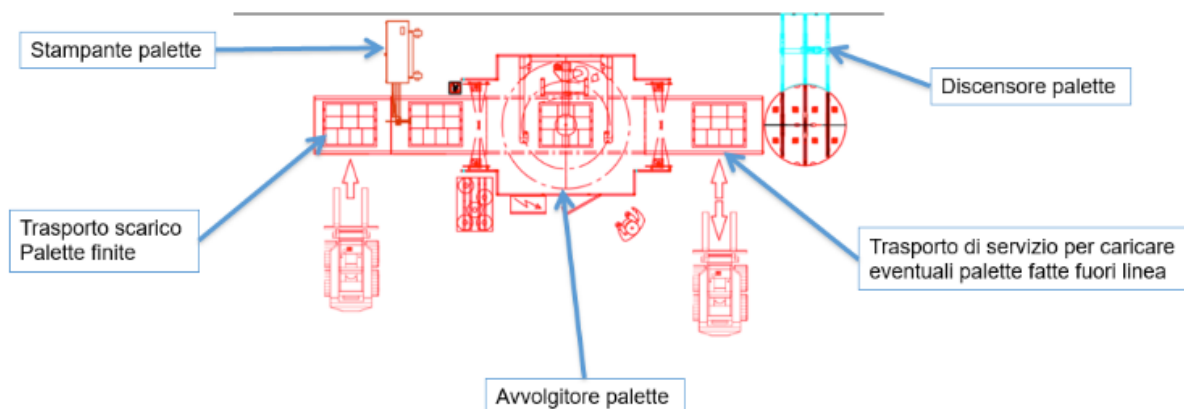
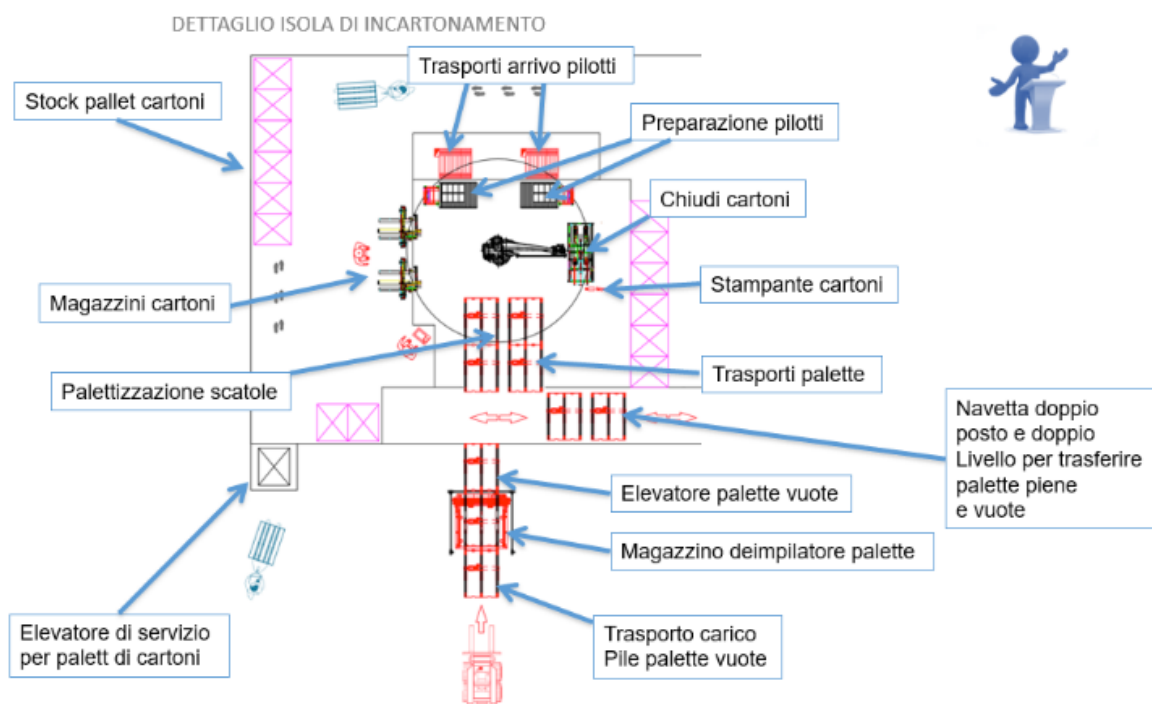
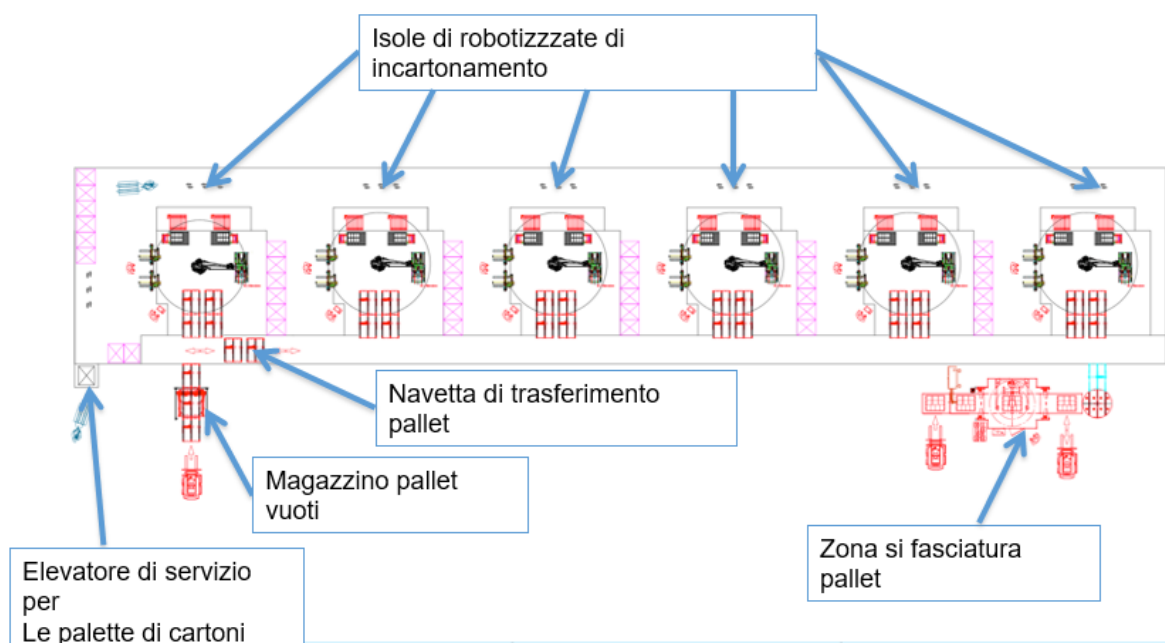


Figura 2-14: Dettaglio 2

DESCRIZIONE:

La soluzione consiste in un impianto per il confezionamento dei termoformati, da posizionare all'interno di cartoni tipo americano. Le isole di raccolta automatica sono posizionate su una pedana sopraelevata dell'altezza di 3 m (da edificare).

Il sistema riceve dalle termoformatrici i prodotti impilati a lotti. All'uscita delle termoformatrici, i pilotti vengono presi in carico da trasporti, che portano i pilotti al livello superiore.

Una volta arrivati al primo livello i pilotti vengono trasferiti sulla zona di preparazione, dove un apposito manipolatore prende in carico i pilotti e li solleva sino a preparare il numero corretto da inserire nel cartone.

Il robot nel frattempo ha prelevato un cartone da uno dei due magazzini (riempiti manualmente), e dopo averlo formato con apposita testata lo posiziona sotto al chiudi cartoni dove viene applicato il nastro sulla parte inferiore del cartone.

Una volta formato e chiuso il cartone viene posizionato sopra ai pilotti precedentemente preparati, dopodiché si procede alla chiusura del lato superiore del cartone e alla relativa codifica mediante apposita stampante.

L'ultima fase è il posizionamento del cartone sulla paletta, il ciclo si ripete poi in egual modo sino alla composizione della paletta finita.

La paletta finita è poi trasferita sulla navetta e portata nella zona di fasciatura.

Il sistema può gestire due misure diverse di cartone contemporaneamente mediante guide automatiche poste sulla nastratrice.

Il controllo qualità svolto da parte degli operatori viene effettuato in una zona di buffer al pian terreno, prima degli ascensori per i pilotti. Volendo passare ad una raccolta manuale, è sufficiente escludere il piano rialzato.

CONSIDERAZIONI:

È una soluzione ben pensata, che risponde ottimamente alle richieste formulate.

Il suo limite è la grossa struttura necessaria alla sua realizzazione, che comporta una zavorra in termini di costo, di ingombro e di flessibilità in vista di possibili future riorganizzazioni dello stabilimento.

2.2.4 Terza soluzione

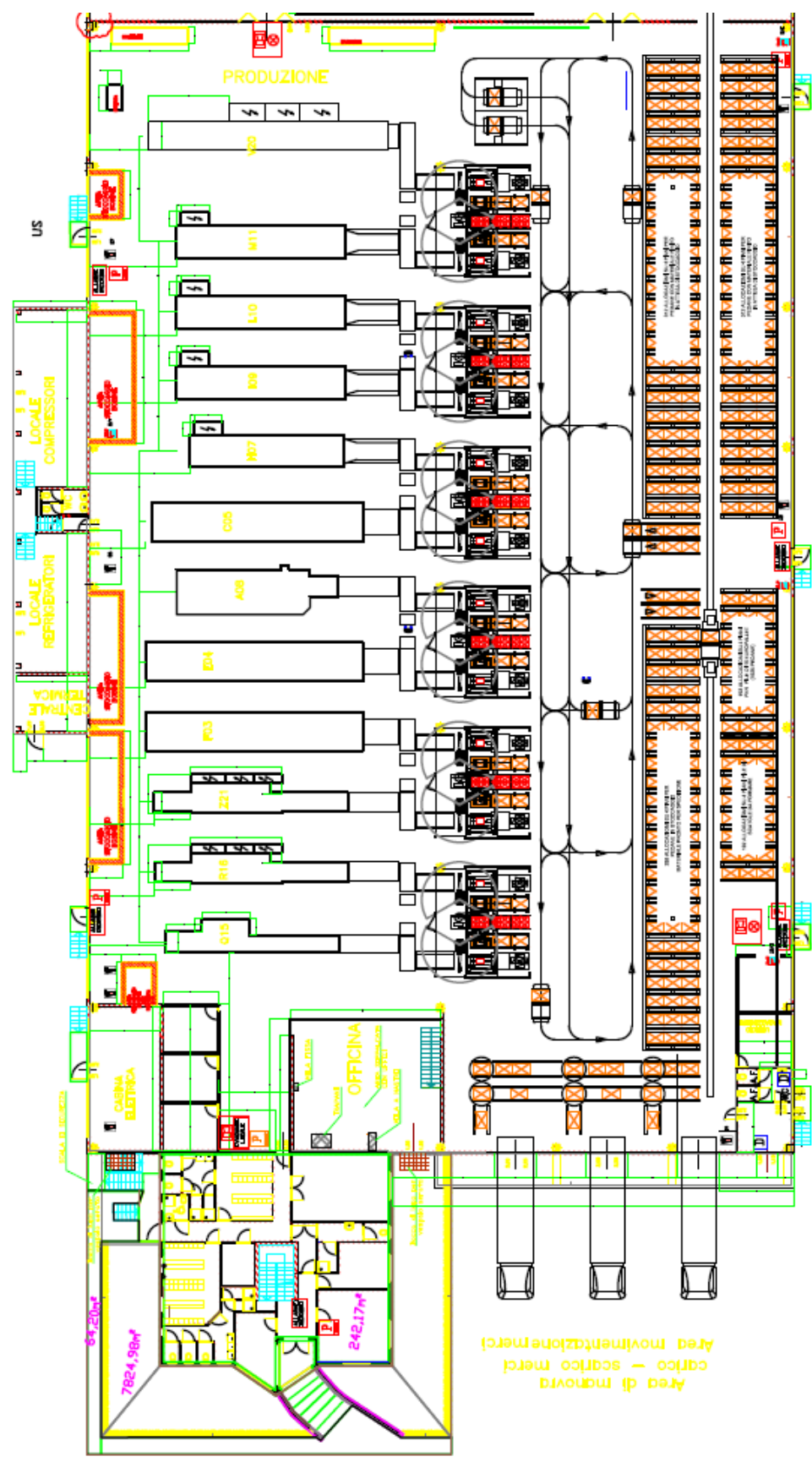


Figura 2-15: Layout 3

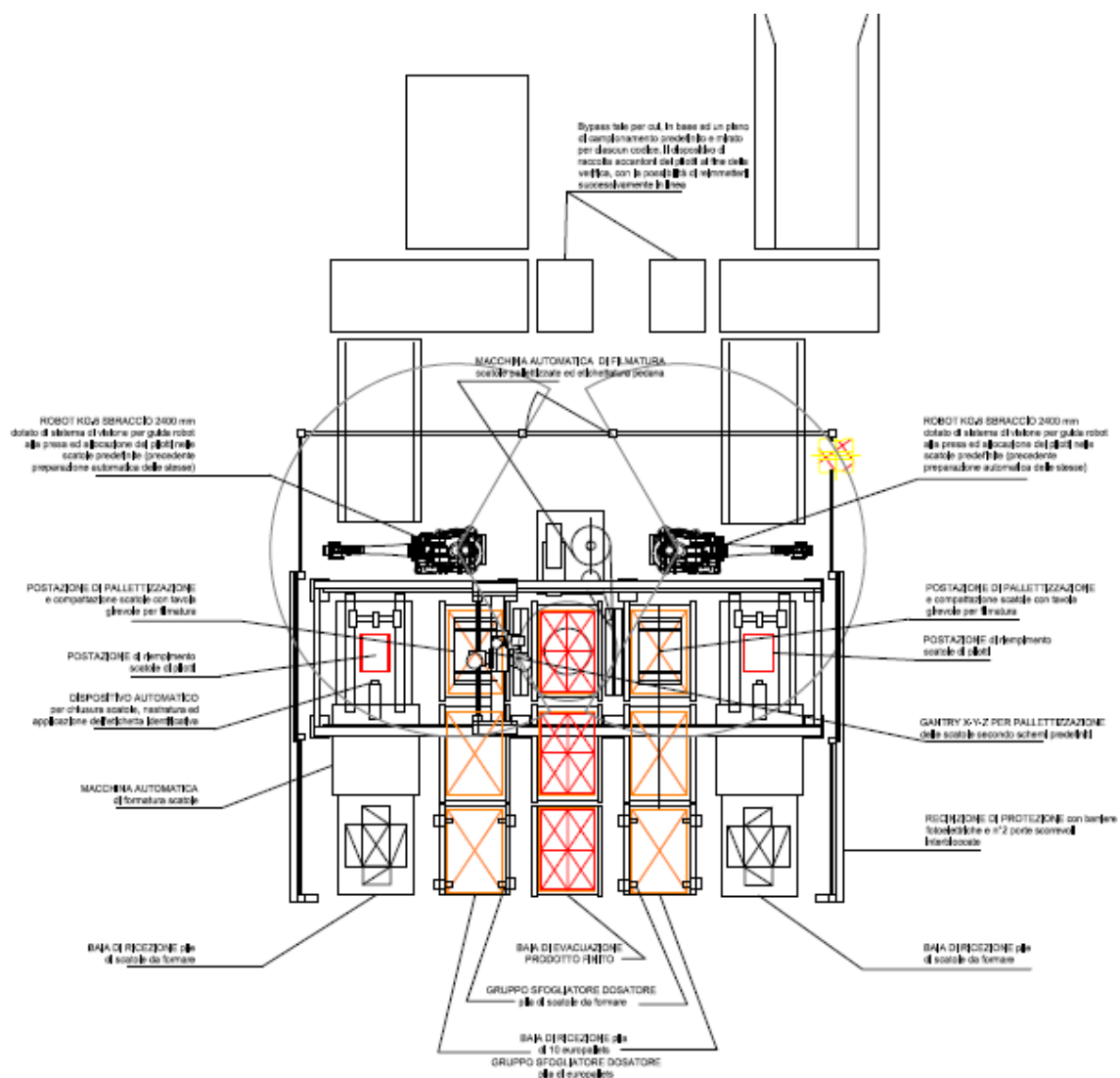


Figura 2-16: Dettaglio 3

DESCRIZIONE:

Le linee consegnano i vassoi in un buffer, in cui è possibile effettuare il controllo qualità o la raccolta in caso di blocco dell'isola automatica.

A valle del buffer un robot antropomorfo per linea raccoglie i pilotti e li pone in una scatola precedentemente formata (una scatolatrice per linea, regolata manualmente), la scatola viene poi chiusa e posta sul pallet da un robot a portale Gantry (uno ogni due linee).

Il pallet finito viene filmato (una mummiatrice ogni due linee) e consegnato nel magazzino temporaneo da un AGV (5 in totale)

CONSIDERAZIONI:

Questa configurazione ha il suo punto di forza nella sua robustezza ed affidabilità: vi è un ingente dispiegamento di mezzi per raggiungere con sicurezza l'obiettivo. Oltre a ciò è già pensata per poter interagire facilmente con un ipotetico magazzino automatico.

Anche in questa soluzione tuttavia non sono stati approfonditi due aspetti, rimandati ad analisi successive:

Come vengono manipolate le uscite per ottenere i pilotti?

Come funziona l'impianto (anche a livello di flussi) nella condizione di raccolta manuale (isola automatica off)?

Inoltre, al fine di garantire una riuscita ottimale, questa proposta risulta veramente onerosa a livello di macchine utilizzate e spazi occupati, tanto da dover eliminare il muro che attualmente divide la produzione dal magazzino.

2.2.5 Analisi di pay-back

SINTESI DELLE STIME DI COSTO:

Prima soluzione	da 1.500.000 € a 1.700.000 €
Seconda soluzione	da 3.000.000 € a 3.500.000 €
Terza soluzione	da 4.000.000 € a 4.500.000 €

CENNI SUI COSTI DI GESTIONE (ESCLUSO INVESTIMENTO):

Efficienza stimata su produttività TMF (5% di 40 mila ore a 50 euro/ora)	+100.000 €
Costo cessante interinali (dato 2017-2018)	+500.000 €
Costo emergente due tecnici di processo	-100.000 €
Costo emergente manutenzioni esterne	-40.000 €
Costo emergente energia elettrica (100kw x 24 ore giorno per 150 giorni)	-20.000 €
Saldo efficienza costi di gestione /anno	+440.000 €

SINTESI DEI TEMPI DI RIENTRO DELL'INVESTIMENTO:

Prima soluzione	3-4 anni
Seconda soluzione	7-8 anni
Terza soluzione	9-10 anni

2.3 In che direzione va l'innovazione?

Di pari passo con il vaglio delle proposte ricevute dai diversi integratori, si è proceduto a ricercare quali fossero le frontiere di sviluppo nel mondo dell'automazione, secondo questo criterio: a fronte di un intervento così cruciale per l'azienda e anche così oneroso, è necessario tenere un occhio sul presente e uno sul futuro, per ricercare la soluzione ottimale. Vengono di seguito presentate le informazioni raccolte su due macro argomenti ritenuti fondamentali: l'avvento dell'industria 4.0 e lo sviluppo degli strumenti di presa.

2.3.1 L'industria 4.0

L'industria 4.0 è quel tipo di sistema produttivo verso cui attualmente si sta orientando il mondo industriale più avanzato. Con essa avverrà una trasformazione della produzione: da cellule isolate e ottimizzate ad un unico flusso produttivo ottimizzato, automatizzato e completamente integrato, orientato a cambiare i rapporti tradizionali tra clienti e fornitori tanto quanto quelli tra uomo e macchina [16] (Figura 2-17). La rivoluzione del 4.0 è definita da più caratteristiche, si riportano le 9 identificate dal Boston Consulting Group [16] (Figura 2-18):

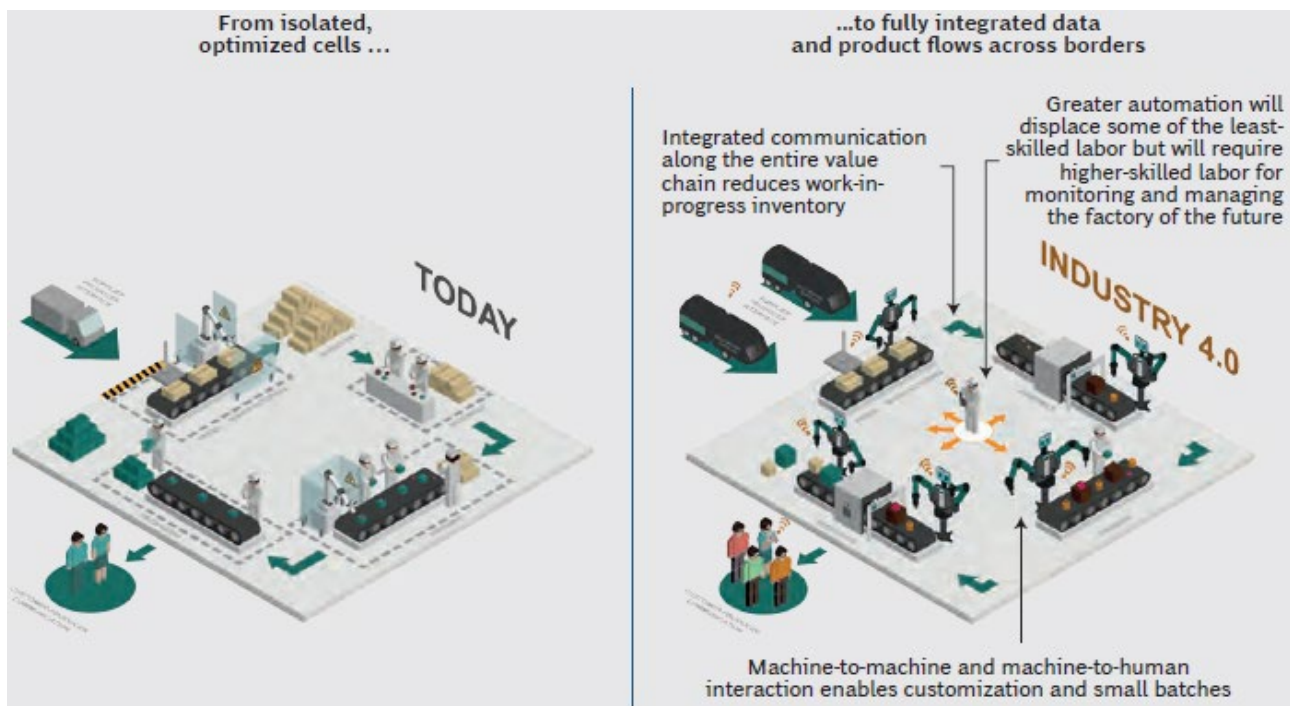


Figura 2-17: Trasformazione in 4.0



Figura 2-18: I nove pilastri del 4.0

- **AUGMENTED REALITY**

Con la realtà virtuale è possibile istruire gli operatori, far selezionare un pezzo dal cliente direttamente nel magazzino, visualizzare il manuale di una procedura difficile, interagire a distanza con un oggetto, ecc...

- **BIG DATA AND ANALYTICS**

In un contesto 4.0 la raccolta e valutazione di dati provenienti da diverse fonti diviene lo strumento standard per le decisioni in tempo reale.

- **AUTONOMUS ROBOTS**

I robot sono usati da lungo tempo nell'industria anche per svolgere compiti complessi, ma essi si stanno evolvendo per essere sempre più autonomi, flessibili e cooperativi. All'occorrenza possono interagire tra loro e lavorare in sicurezza fianco a fianco con gli uomini imparando da loro. Questi robot sono in grado di aggiustare il proprio lavoro in base alle necessità manifestate dalla linea produttiva, sopperendo anche all'assenza di una figura umana; proprio per questo si stanno sviluppando robot dual-arms con sistema di visione incorporato (Figura 2-19).

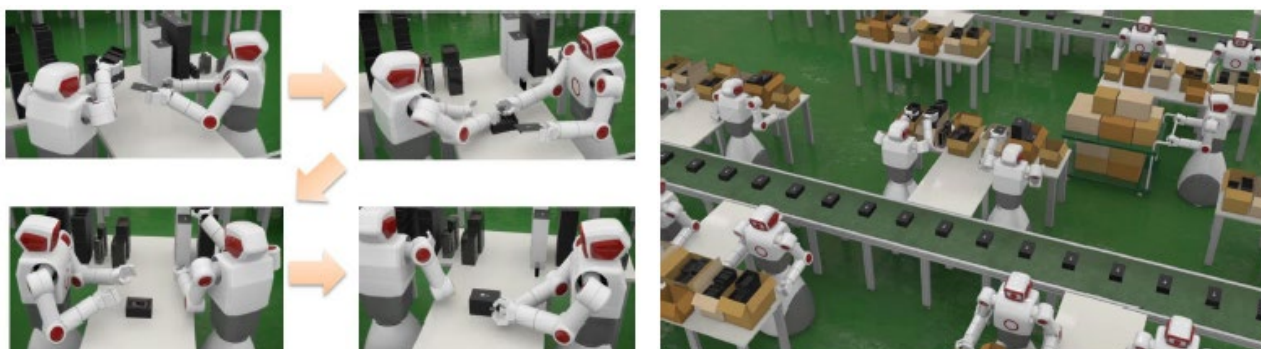


Figura 2-19: Robot autonomi

- **SIMULATION**

Le simulazioni virtuali create dai dati raccolti in tempo reale permettono di ipotizzare diversi scenari, predirne le rispettive conseguenze e scegliere la strategia migliore, alzando la qualità e abbattendo il tempo effettivo di setup.

- **HORIZONTAL AND VERTICAL SYSTEM INTEGRATION**

I sistemi logistici e informatici non sono ancora completamente integrati, ma si sta andando in quella direzione. È necessario che la catena fornitore-azienda-cliente sia in grado di comunicare agevolmente, così come devono poter fare tra di loro i diversi comparti di una stesa azienda.

- **THE INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS**

Tutte le componenti della fabbrica sono messe in rete, dando loro la possibilità di comunicare. I calcolatori incorporati nelle macchine permettono loro di svolgere autonomamente operazioni di basso livello e di rispondere in tempo reale (magari chiedendo l'intervento di un altro robot, es. Figura 2-20) e, allo stesso tempo, in caso di necessità è possibile un intervento di comando centrale dall'alto.



Figura 2-20: Robot per rifornimento "a chiamata"

- CYBERSECURITY

La potente condivisione di dati sensibili nelle reti aziendali rende assolutamente necessaria un'adeguata protezione.

- THE CLOUD

L'utilizzo di risorse informatiche dislocate fuori dall'azienda e pagate a consumo permette alle piccole e medie imprese di avere a disposizione strumenti potenti e all'avanguardia che sarebbero altrimenti fuori dalla loro portata.

- ADDITIVE MANUFACTURING

Nell'industria 4.0, i metodi di additive-manufacturing sono ampiamente usati per produrre piccoli lotti di pezzi altamente personalizzati con vantaggi di costruzione, come complessità e leggerezza.

2.3.2 Gli strumenti di presa versatili

Oggi il mercato, in particolare quello del cibo e dei suoi imballaggi, è alla continua ricerca di strumenti di presa automatica efficaci e versatili. Le soluzioni adottate sono le più svariate, di seguito ne vengono presentate alcune tra le più interessanti o innovative [17].

➤ GRIPPER REGOLABILI

I classici gripper a pinza si sono notevolmente evoluti negli ultimi anni e presentano oggi la capacità di adattarsi all'oggetto da prendere grazie sia alla loro apertura variabile che ai sensori di forza, che consentono di afferrare il bersaglio delicatamente e senza deformarlo. Esempi in Figura 2-21: Gripper regolabile a doppio quadrilatero [18], Figura 2-22: Gripper con misuratore di forza nel giunto elastico [19], Figura 2-23: Gripper regolabile con controllo forza [20].

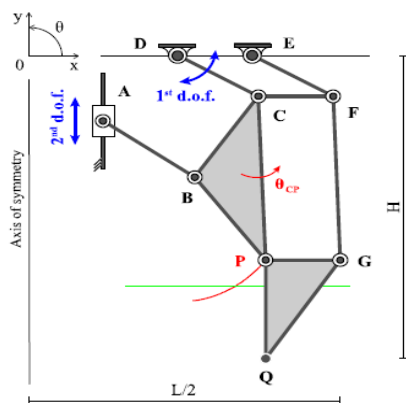


Figura 2-21: Gripper regolabile a doppio quadrilatero



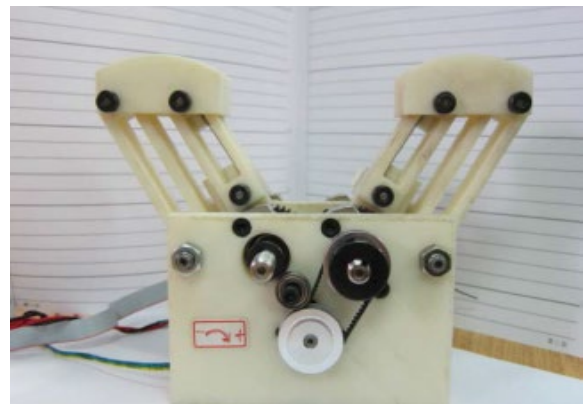
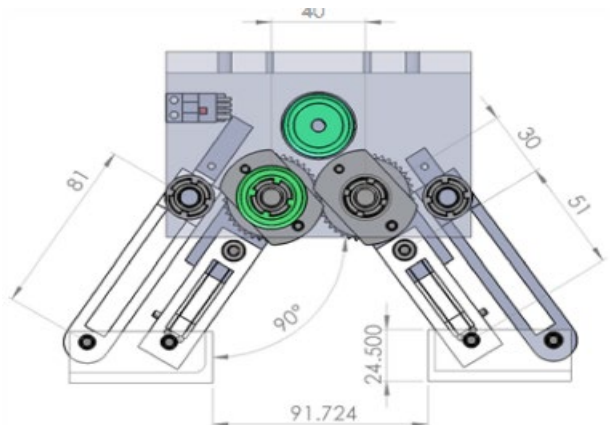


Figura 2-22: Gripper con misuratore di forza nel giunto elastico

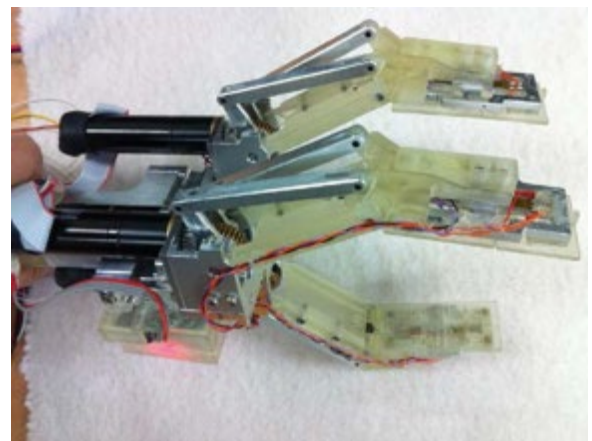
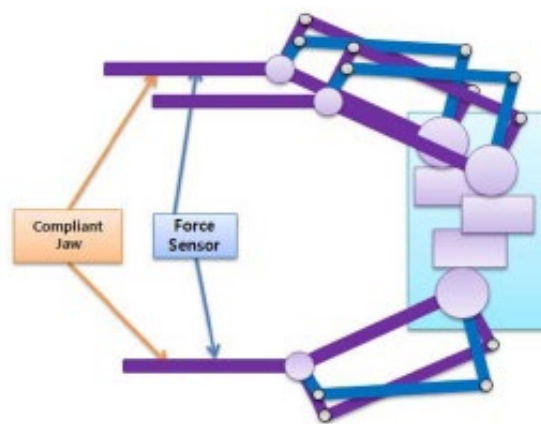


Figura 2-23: Gripper regolabile con controllo forza

➤ GRIPPER ELETTROSTATICI

Esistono dei gripper elettrostatici in grado di maneggiare molto bene film plastici lisci, interessanti per qualche eventuale futura automazione nel reparto di estrusione di Roboplast.

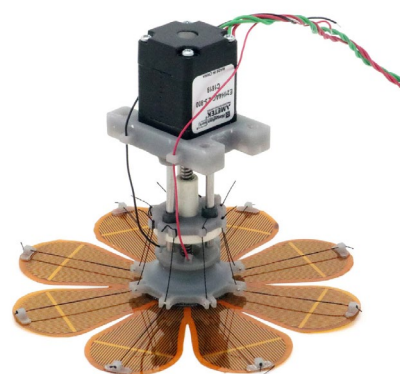
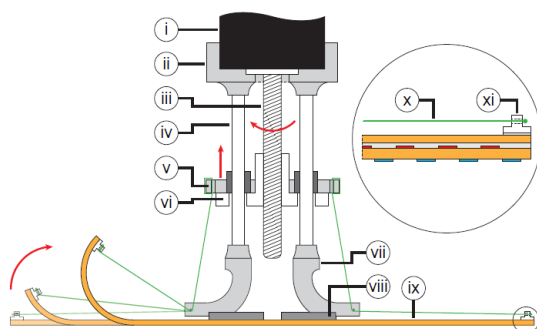


Figura 2-24: Gripper elettrostatico

➤ GRIPPER SOTTOATTUATI

Gli *underactuated gripper* sono una particolare famiglia di strumenti di presa che vede il suo punto di forza nella fortissima adattabilità: i gradi di libertà sono maggiori di quelli controllati, perciò, se ben progettato, un meccanismo sottoattuato tende a prendere spontaneamente la forma di ciò che deve afferrare.

Ne esistono diverse tipologie, per esempio con dita mosse da tiranti in Figura 2-25 [21], tentacoli riempiti di liquido in Figura 2-26 [22], pinze meccaniche con un singolo attuatore lineare in Figura 2-27 [23].

Spesso questo tipo di meccanismo è dotato di sensori di forza lungo “le dita”, utilizzati per dedurre la forma e di conseguenza comandare la forza da dare al grado attuato, come in Figura 2-28 [24].

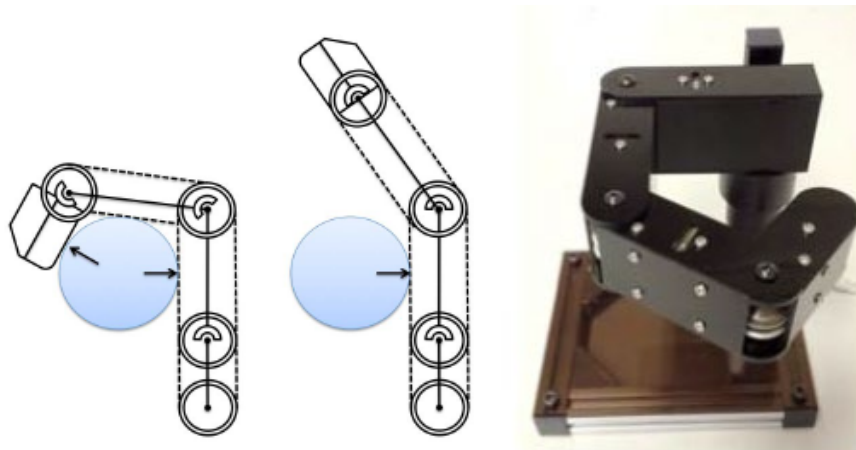


Figura 2-25: Dito sottoattuato

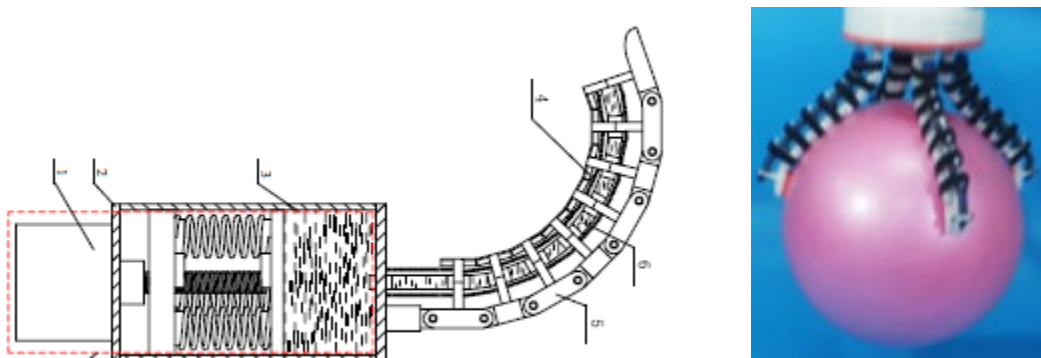


Figura 2-26: Tentacolo sottoattuato

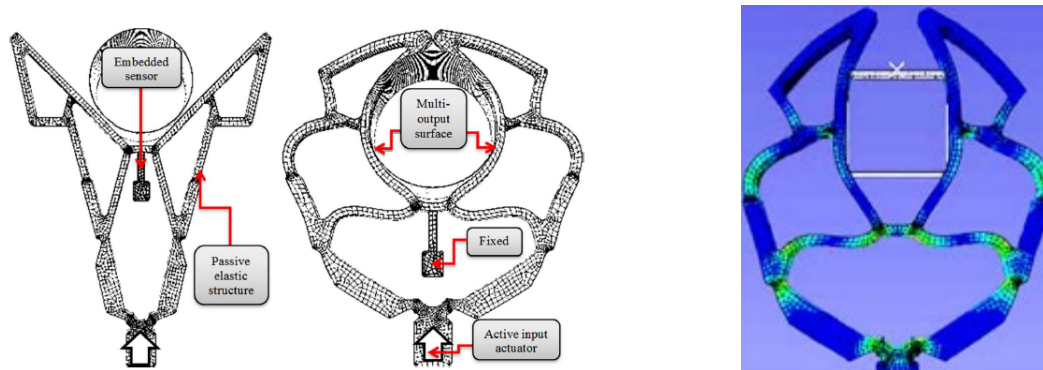


Figura 2-27: Pinza sottoattuata

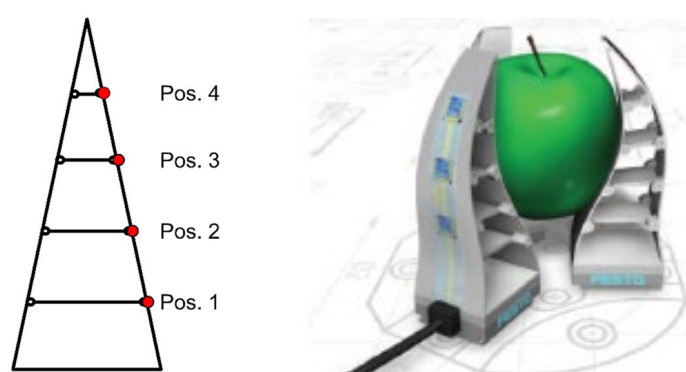


Figura 2-28: Sensori di forza su artiglio sottoattuato

➤ JAMMING GRIPPER

Questa classe di dispositivi è costruita sfruttando la proprietà di una miscela granulare, contenuta in una membrana flessibile, di essere prossima alla fase di transizione fluido-solido. Quando il gripper si avvicina all'oggetto, la sua estremità si comporta ancora come un fluido; una volta ottenuta la forma desiderata, viene imposta la transizione a solido mediante l'applicazione del vuoto e il gripper è in grado di reggere saldamente oggetti di qualsiasi forma, come mostrato in Figura 2-29 [17].

Una variante a questo processo è l'uso di un fluido magneto-reologico, il quale diventa rigido se sottoposto al passaggio di un campo magnetico, come può essere quello generato dal gripper di Figura 2-30. Figura 2-30: Jamming gripper magneto-reologico [25].

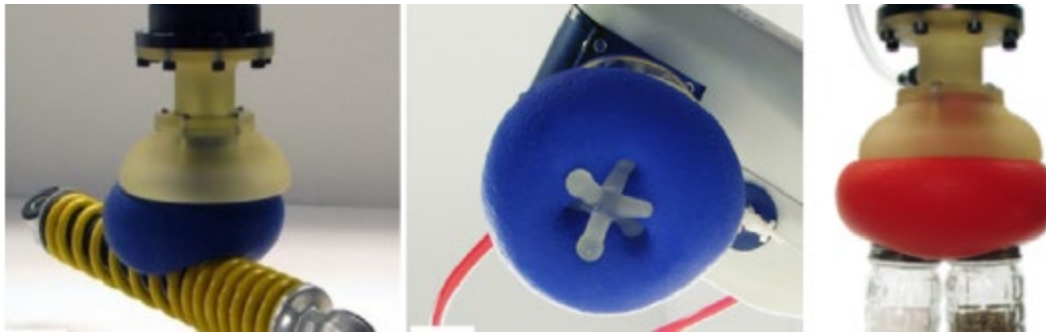


Figura 2-29: Jamming gripper in stato solido

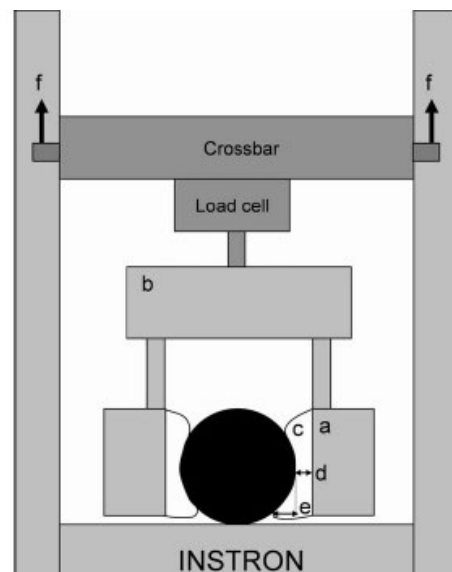


Figura 2-30: Jamming gripper magneto-reologico

➤ GRIPPER ATTIVI

In quest'ultimo gruppo confluiscono i vari gripper che utilizzano componenti in movimento per effettuare la presa, ad esempio nastri o rulli, come si può vedere in Figura 2-31 [17].

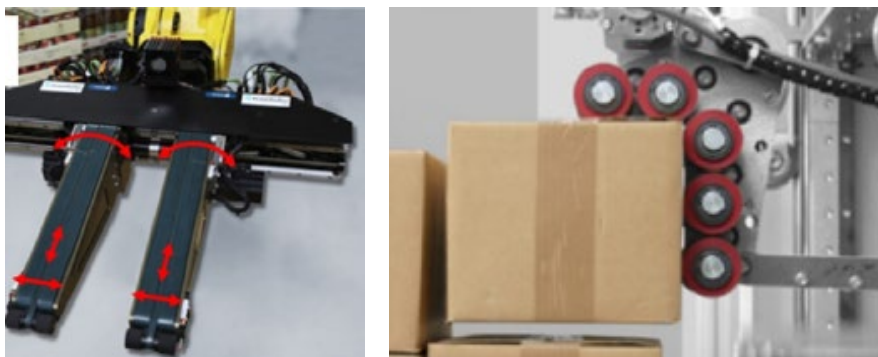


Figura 2-31: Esempi di active gripper

2.4 Risultati dello studio

Dopo aver vagliato le proposte pervenute con i rispettivi payback e considerato attentamente le tendenze che dal mondo della ricerca che si suppone stiano per sbarcare a breve nel mercato dell'automazione, si è giunti alla conclusione che il modo migliore di operare non sia attraverso una soluzione “chiavi in mano” realizzata su tutto il reparto da un'azienda esterna. Si è deciso piuttosto di procedere alla realizzazione di una linea prototipo fatta internamente (benché con l'aiuto di un integratore) allo scopo di:

- Tenere conto delle numerose esigenze e specificità della realtà Roboplast, a cominciare dalla difficoltà nella manipolazione dei pilotti;
- Portare cultura e know-how all'interno dell'azienda;
- Affrontare gli errori sul prototipo e poter progettare delle repliche più pronte ad affrontare le sfide proprie del mondo Roboplast
- Cercare una soluzione che possa recepire prontamente le novità in arrivo, per poter essere sempre sulla frontiera dell'innovazione;

In particolare si vuole lavorare tenendo conto di tre capisaldi dell'industria 4.0:

- la flessibilità
- la connessione
- la collaborazione.

In termini pratici, quando il mercato presenterà soluzioni soddisfacenti, il prototipo deve essere in grado di recepire con facilità:

- l'innesto di un gripper “universale”
- la possibilità che sia la macchina a chiamare dei robot mobili per essere scaricata
- la presenza di uomini e robot che lavorano fianco a fianco

senza che l'introduzione di questi elementi renda necessario stravolgere la linea progettata.

Nell'attesa che queste soluzioni passino dall'essere sperimentali a commerciali, si procederà alla progettazione di un gripper fatto *ad hoc* per poter raccogliere le uscite delle macchine, e alla realizzazione dell'isola ad esso asservita, in modo da poterla riconfigurare a tempo debito secondo lo schema mostrato in Figura 2-32Figura 2-32: , identificato come obiettivo ideale a lungo raggio.

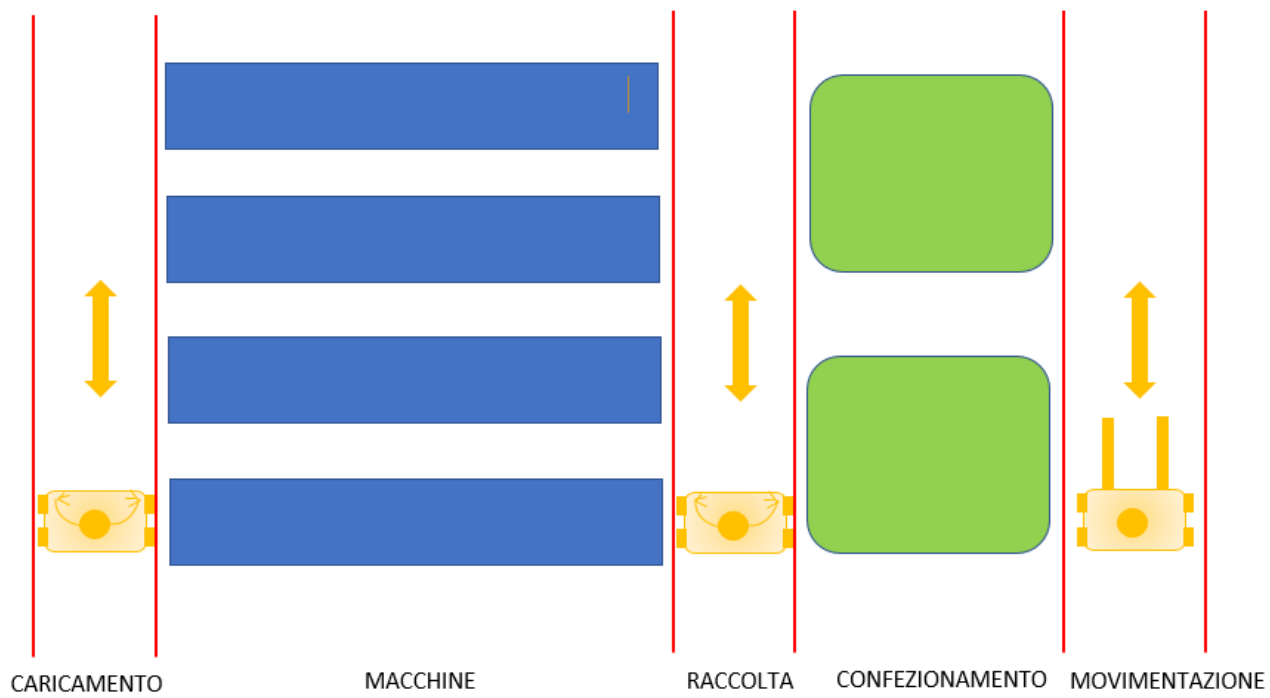


Figura 2-32: Soluzione ideale a cui tendere

3 PROGETTAZIONE STRUMENTO DI PRESA

3.1 Informazioni preliminari

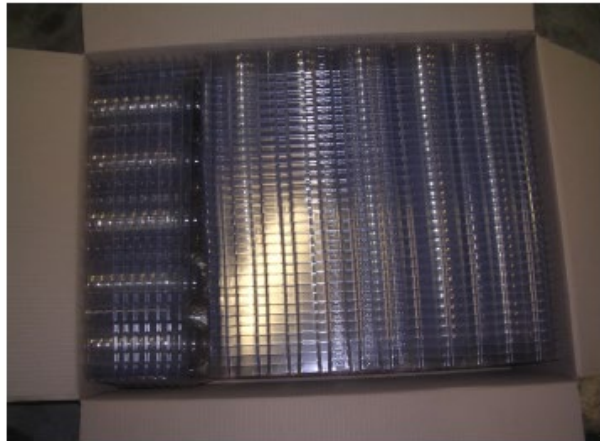
Per poter inquadrare bene l'operazione della presa e le problematiche ad essa annessa, occorre prima di tutto definire alcuni termini legati al processo produttivo:

- I pezzi escono dalla macchina accumulati in pile, che sono formate sempre dallo stesso numero di pezzi e sono denominate USCITE
- Una volta che le uscite arrivano tra le mani dell'operatore, vengono controllate e assemblate in pile di dimensione maggiore, che vengono poi posizionate nella scatola e sono appunto dette PILOTTI.

I PILOTTI sono dunque sempre dei multipli delle USCITE o, nel caso limite, essi coincidono. Le uscite sono già formate dal massimo numero possibile di pezzi che può essere emesso contemporaneamente dalla macchina, dunque non è possibile pensare di eliminare il passaggio di assemblaggio necessario ad ottenere dei pilotti adatti al confezionamento. Un esempio di assemblaggio è fornito in Figura 3-1, mentre in Figura 3-2 è mostrato il foglio con le istruzioni per l'operatore riguardanti la composizione di uscite e pilotti e il loro confezionamento all'interno della scatola; tale foglio è appeso a bordo macchina durante qualsiasi produzione..



Figura 3-1: Assemblaggio uscita-pilotta



DISPOSIZIONE PEZZI NELLA SCATOLA n° 22:

- N° 8 PEZZI A USCITA
- N° 4 USCITE X PILOTTO
- N° 32 PEZZI X PILOTTO
- N° 40 PEZZI X SCATOLA
- N° 10 SCATOLA X PEDANA
- N° 400 PEZZI X PEDANA

N° 2 PILOTTI A SCATOLA: 1) 1 PILOTTO A DA 32 PEZZI (4 USCITE) PARALLELO
AL LATO CORTO

2) 1 PILOTTINO DA 8 PEZZI (1 USCITA) PARALLELO
AL LATO LUNGO

Figura 3-2: Note confezionamento per operatore

Dalle precedenti considerazioni si può dedurre che l'impianto di presa dovrà svolgere molteplici operazioni:

- Ricevere le uscite dalla macchina
- Assemblare le uscite in pilotti
- Muovere i pilotti (rotazione e traslazione)
- Rilasciarli nella scatola secondo configurazioni predeterminate.

Queste operazioni sono indubbiamente fattibili nei più svariati modi, vi sono però dei vincoli da tenere in considerazione:

- Vanno rispettati alcuni requisiti di qualità, quali l'uso di scatole di cartone completamente chiuse, sigillate con nastro e non con colla;
- Non è possibile effettuare modifiche, se non in casi limitati, alle dimensioni delle scatole e alla configurazione dei pilotti dentro la scatola: le scatole sono sottomultipli dell'EPAL

800X1200mm e i pilotti sono studiati per saturare il più possibile lo spazio nella scatola, oltre ad essere frutto di accordi con i clienti;

- Per ovvie ragioni di costo e di spazio, il numero dei robot/macchinari deputati a tutte le operazioni tra la fine della macchina e la formazione della paletta deve essere limitato;
- Per necessità dei clienti, per costo e per ecosostenibilità, non è consentito aggiungere sacchetti di plastica attorno ai pilotti per movimentarli;
- Per motivi di costo, di ingombro, di continuo ricambio dei prodotti, lo strumento di presa deve essere il più flessibile possibile, non è tollerabile pensare di avere un gripper diverso per ogni formato.

Ciò considerato, Roboplast è comunque consapevole che l'inserimento di un'automazione può comportare irrigidimenti e interventi sul sistema produttivo: occorrerà cercare il compromesso ottimale. Un esempio di questo sarà la probabile divisione dei prodotti sulle diverse macchine a seconda della loro forma o taglia, rinunciando ad avere la flessibilità produttiva di oggi (ogni articolo può essere prodotto su ogni termoformatrice), ma risparmiando su attrezzature.

Per iniziare a progettare questo prototipo, si è deciso di partire da due soli articoli, uno tondo e uno quadrato, entrambi con importanti volumi prodotti. Tali articoli presentano già molte delle criticità che andranno affrontate, ma, per esempio, non sono confezionati in sacchetti: particolarità di questo tipo andranno affrontate in studi successivi.

I due pezzi scelti sono i cosiddetti R342D "Diamante Rocher Germania" presentato in Figura 3-4 e R373 "Campana Rocher Italia" presentato in Figura 3-3.

In estrema sintesi, il prototipo deve essere in grado di gestire automaticamente la raccolta e il confezionamento del diamante Rocher ed avere la possibilità di manipolare forme circolari come quella della campana Rocher; questi sono i requisiti minimi, ovviamente quanto più il prototipo avrà già tenuto in considerazione vari aspetti della totalità della produzione, tanto più sarà semplice sviluppare le versioni successive.

DISPOSIZIONE PEZZI NELLA SCATOLA n° 28A (scatola spessa):

- N° 30 PEZZI X USCITA
- N° 3 USCITE X PILOTTO
- N° 90 PEZZI X PILOTTO
- N° 2 PILOTTO DA 90 PEZZI +
1 PILOTTINO DA 30 PEZZI IN MEZZO X PIANO
- N° 2 PIANI X SCATOLA + **PIANETTO INTERMEDIO 12.07**
- N° 420 PEZZI X SCATOLA
- N° 8 SCATOLA X PEDANA
- N° 3360 PEZZI X PEDANA

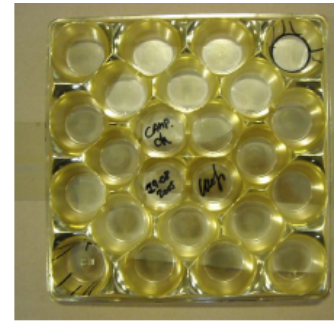


Figura 3-4: Articolo R342D. Il "PIANETTO INTERMEDIO 12.07" è un' interfalda in cartone posta tra due piani di pilotto.



DISPOSIZIONE PEZZI NELLE SCATOLE n° 28A (SCATOLA SPESSA):

- N° 180 PEZZI X PILOTTO
- N° 6 PILOTTO X PIANO
- N° 5 PIANI X SCATOLA
- N° 5400 PEZZI X SCATOLA
- N° 16 SCATOLA X PEDANA
- N° 86400 PEZZI X PEDANA

Figura 3-3: Articolo R373

3.2 Varie ipotesi

Le ipotesi vagliate, considerate e poi scartate sono svariate, in certi casi molto simili tra di loro e in certi casi molto differenti. È difficile ripercorrere tutti i passaggi logici e le correzioni che hanno portato alla scelta, ci limiteremo a presentare le tre idee principali.

La prima idea è stata di assemblare esternamente alla scatola un intero piano così da movimentarlo tutto insieme e adagiarlo poi nella scatola. Il vantaggio maggiore consistere nel non avere interferenze tra pilotti mentre si posizionano i pezzi nella scatola, dato che i pilotti sono fermi l'uno rispetto all'altro. Purtroppo questa soluzione presenta due forti svantaggi: 1) la varietà dei pezzi imporrebbe una varietà di “cornici di assemblaggio” in cui costruire il piano da assemblare; 2) i diversi orientamenti dei pezzi in un piano e il fatto che i pilotti da posizionare siano costituiti da diverse uscite preassemblate rendono difficoltoso l'inserimento dei pezzi in uscita dalla macchina nella cornice-gripper che poi li inserirebbe nella scatola. Questi due ostacoli non rendono impossibile l'uso della presente soluzione, ma occorrerebbe studiare delle cornici modulari piuttosto complicate ed inserire un ulteriore gripper intermedio che prenda le uscite e le collochi nella cornice: due elementi che ledono la convenienza di tale soluzione.

La seconda idea esaminata è illustrata in Figura 3-5.

Viene fatto uso di filo armonico, cioè di un filo di acciaio caratterizzato da una alta elasticità: esso può venire plasmato con una forma curva, poi contenuto in un tubo rettilineo; quando verrà espulso dal tubo tenderà naturalmente a ritornare al suo profilo arcuato, formando una sorta d'artiglio.

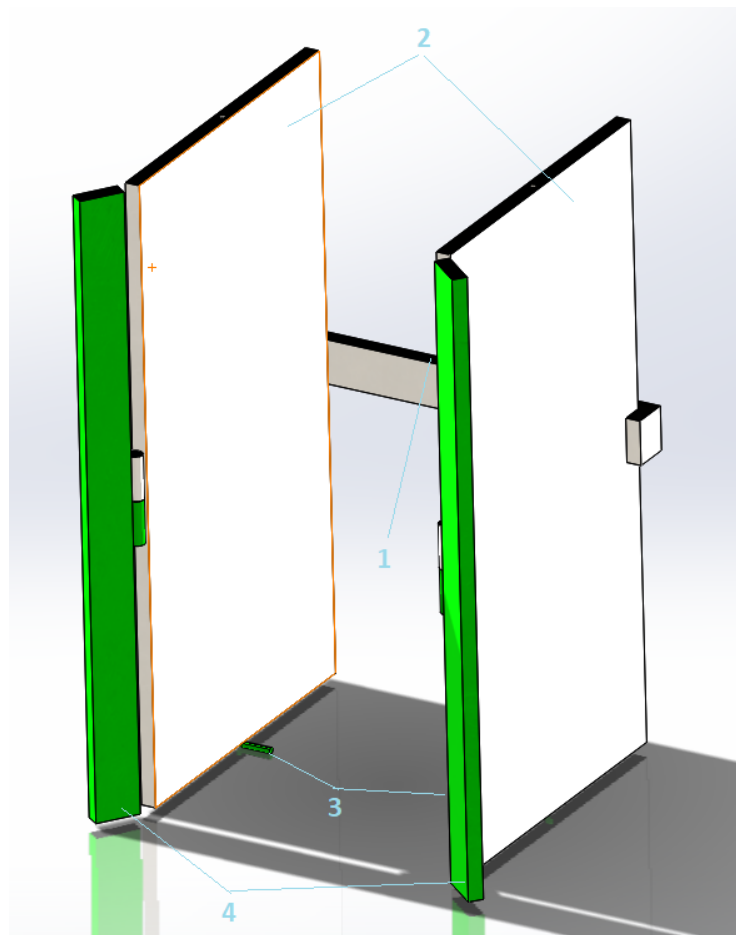


Figura 3-5: Gripper a palette. 1) Aggancio robot 2) Pareti laterali 3) Filo armonico 4) Alette mobili

Il gripper va a posizionarsi verticalmente sulla prima uscita, con le palette (4) chiuse e i ganci di filo armonico (3) ritratti; dopo aver racchiuso i pezzi tra le sue pareti, (1) li aggancia con il filo armonico, li solleva e va a posizionarsi sulla seconda uscita, ritira il filo armonico, scende fino al livello 0 e con i ganci solleva 2 uscite, e così via fino alla formazione del pilotto. A questo punto il gripper ruota di 90° per andare ad inserire il pilotto “sdraiato” nella scatola, mediante l’apertura delle alette mobili come visibile in Figura 3-6.

Per stabilire a che altezza è possibile aprire le palette per lasciare cadere il pilotto nella scatola occorrerà effettuare delle prove sperimentali.

Le pareti potrebbero essere formate da più placche rimovibili, per rendere il gripper modulare e adattarlo a diverse dimensioni oppure, in caso di prodotti rotondi, potrebbero essere curve con un rilascio “a pinza” al posto delle alette mobili.

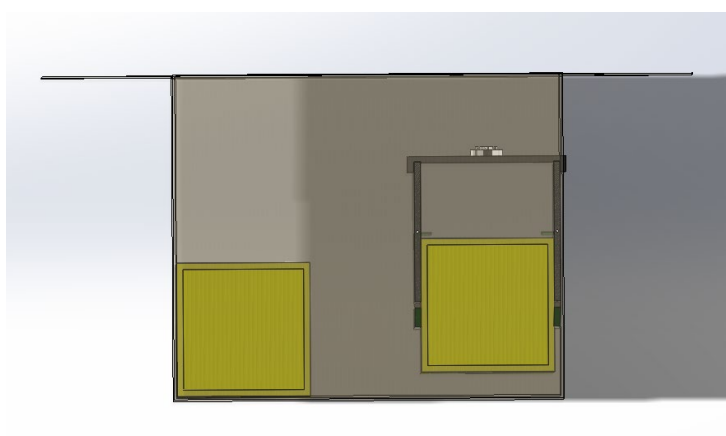
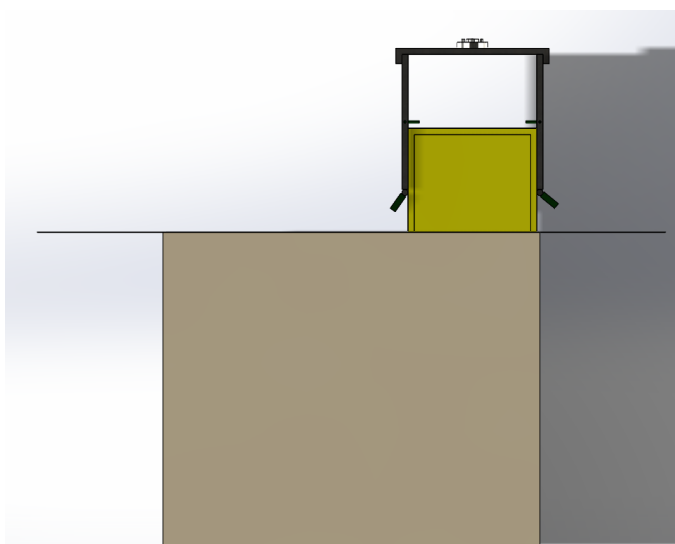
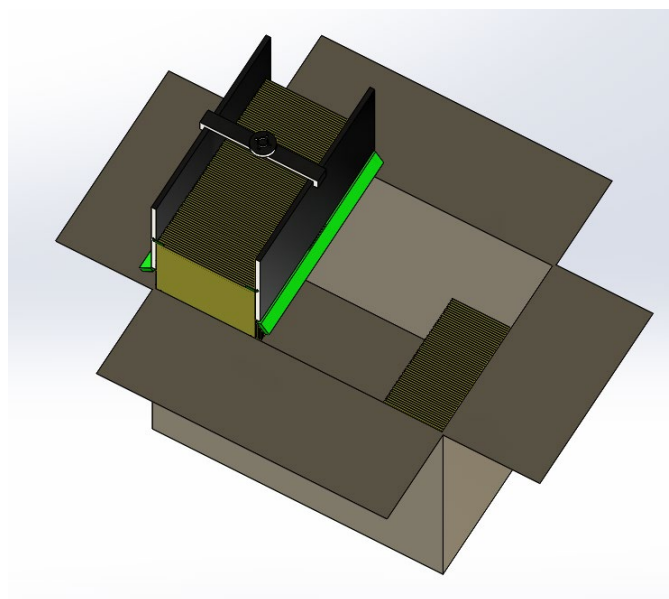


Figura 3-6: Inscatolamento. Le prime due figure mostrano un rilascio dei pezzi non appena essi sono incanalati nella scatola, la terza figura presenta un rilascio solo in prossimità del fondo.

Il vero problema si incontra nell'andare a completare il piano della scatola con il pilottino trasversale, come mostrato in Figura 3-7, poiché le pareti e le alette urtano i pilotti già confezionati prima di poter rilasciare correttamente il pilotto di completamento.

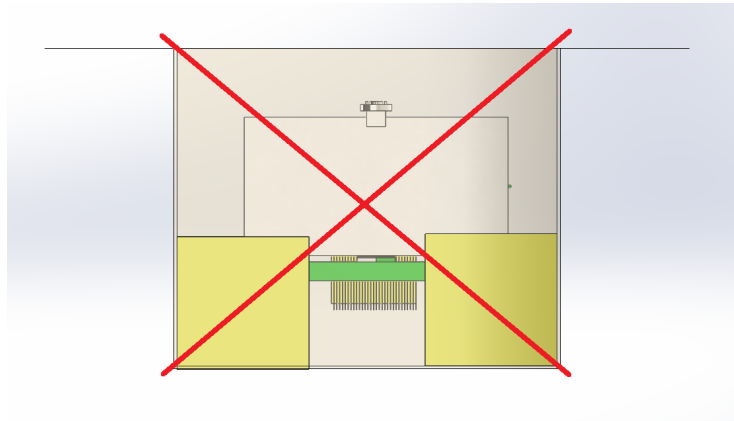
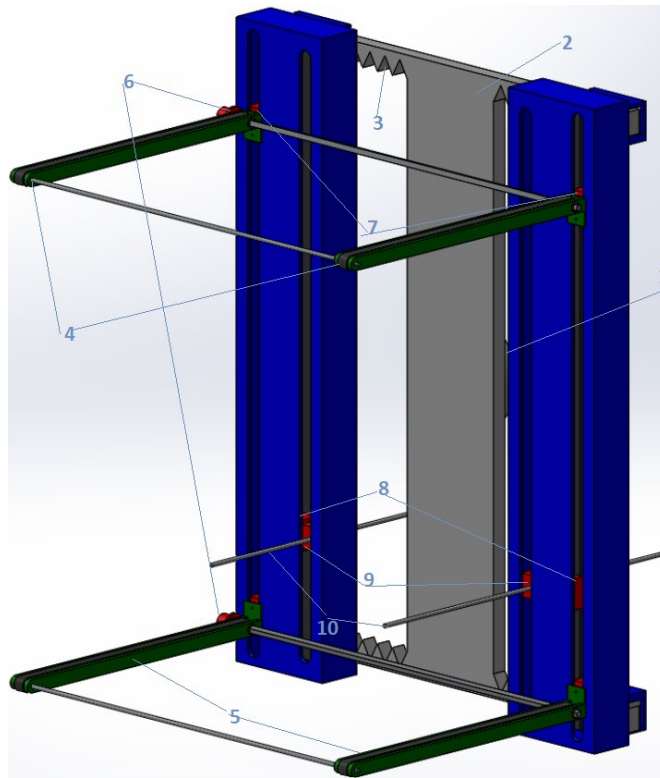


Figura 3-7: Configurazione irrealizzabile

Ci si è resi conto che il limite principale delle due soluzioni precedenti è che in nessuno dei due casi si andrebbe a manipolare il pilotto “impugnandolo” così come oggi fanno le persone, quindi con un *modus operandi* ottimizzato in 40 anni di lavoro. Gli operatori muovono il pilotto stringendolo “a fisarmonica”, impugnando il primo e l'ultimo pezzo ed esercitando una pressione tale da mantenere i pezzi incastrati l'uno nell'altro, al contempo senza eccedere nella forza applicata, di modo da evitare deformazioni e impaccamenti.

Lo strumento di presa identificato come ottimale è dunque quello presentato con il disegno schematico di Figura 3-8, denominato “gripper a forche”.



*Figura 3-8: Gripper a forche.
 1) aggancio rapido al robot 2) struttura portante 3) denti per la regolazione orizzontale 4) forche superiori 5) forche inferiori 6) motori per la rotazione dei cinghiali 7) motori per la traslazione verticale delle forche 8) motori per la traslazione verticale delle aste 9) motori per la traslazione orizzontale delle aste 10) aste*

La pinza è collegata ad un robot mediante un attacco rapido (1) dotato di collegamenti elettrici e pneumatici e fissato sul corpo principale (2); la larghezza è regolata manualmente grazie ai denti metallici (3) a cui vengono vincolate le “torrette”, ossia le carcasse colorate in blu in figura. Le forche inferiori (5) accolgono le uscite della macchina grazie al movimento di piccoli tappeti/cinghie gommate, denominati “cinghiali”, azionati da due motorini (6) di piccole dimensioni. Le forche possono essere posizionate automaticamente a diverse altezze per effetto di slitte a ricircolo di sfere per la traslazione verticale (7). Analogamente altre slitte (8) muoveranno verticalmente delle aste retrattili (10) azionate da due motori vite-madrevite (9): queste aste permetteranno il sollevamento dei pezzi accolti sulle forche inferiori e il loro successivo impilamento sui nuovi pezzi successivamente raccolti, fino a formare il pilotto completo.

Per conoscere con precisione la posizione dei pezzi e per poter raccogliere qualsiasi tipo di formato è sufficiente avvitare una dima della forma adatta al fondo della forca: per effetto del moto dei cinghiali, i pezzi raccolti andranno a combaciare con i bordi della dima.

Una volta formato il pilota, le due forche superiori scendono, chiudendosi sul pilota ed esercitando la forza necessaria a garantire la sua immobilità rispetto alla pinza; il pilota a questo punto può essere movimentato in qualsiasi modo, e il suo rilascio avviene all'interno della scatola, facendo muovere i tappeti in senso inverso per espellere i pezzi dalla pinza contemporaneamente all'estrazione della pinza dal cartone, così che il pilota resti fermo rispetto alla scatola durante l'operazione di espulsione.

L'altezza della pinza dipende dall'altezza del pilota che sta impugnando (quindi può regolarsi per contenere anche i pilotini trasversali), mentre la sua larghezza è variabile e viene manualmente configurata solo all'inizio della produzione, di modo da corrispondere alla larghezza dell'articolo. Si può considerare indicativamente che, nella sua massima estensione, il gripper sia circa contenibile in un cubo di 1 metro di lato.

Con l'utilizzo di tale pinza, eventualmente riprodotta in due o tre scale diverse, si ritiene di poter raccogliere automaticamente la quasi totalità dei modelli Roboplast che non necessitano insacchettamento.

3.3 Progettazione meccanica

Per progettare la pinza individuata i passaggi sono stati di seguenti:

- Prove di forza sperimentali
- Scelta motori di riferimento
- Scelta ulteriori componenti
- Dimensionamento

3.3.1 Prove di forza sperimentali

Per dimensionare i motori, anche solo in via preliminare, è necessario conoscere l'ordine di grandezza della forza da esercitare. Il diagramma di corpo libero è mostrato in Figura 3-9 che rappresenta la situazione più critica da affrontare.

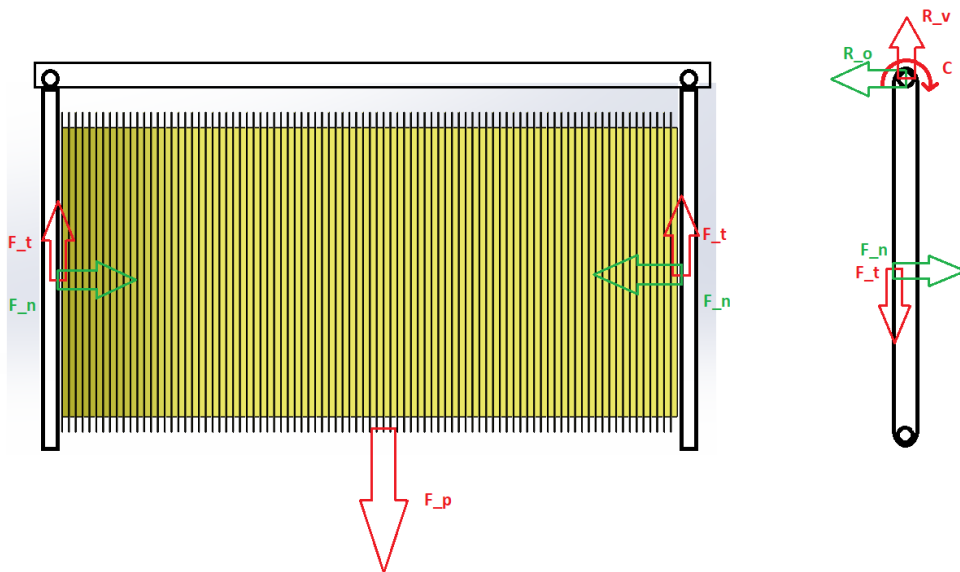


Figura 3-9: Forze e coppie

La forza normale è il risultato della compressione effettuata dai motori lineari delle forche; genera l'attrito tra i cinghioli e i pezzi e soprattutto mantiene l'impaccamento dei pezzi ed evitare lo spanciamento del pilotto con conseguente disintegrazione.

La forza tangenziale è una forza d'attrito e genera sui cinghioli una coppia che viene bilanciata dalla coppia dei motori.

Per quanto riguarda il calcolo della coppia la procedura è la seguente: assumendo il braccio pari a circa 0,02 m e utilizzando per il prototipo la massa del pilota di vassoi “diamante Rocher” che è di 1,710 kg, si ottiene:

$$C = F_t * g * b$$

$$C = \frac{F_p}{2} * g * b$$

$$C = \frac{1,710}{2} * 9,81 * 0,02$$

$$C = 0,17 Nm$$

Per quanto riguarda le forze di compressione, invece, la valutazione si è rivelata più complessa. Il ragionamento è: occorre innanzitutto trovare uno spostamento (chiamato Δx) da generare in compressione tale per cui i vassoi formanti un pilota non si separino l'uno dall'altro, dopodiché si vorrebbe correlare a tale Δx la forza di compressione corrispondente. La difficoltà in questo tipo di approccio è stabilire il punto 0 da cui partire a misurare il Δx , poiché il pilota “sdraiato” in orizzontale non assume una posizione rigida. Si è stabilito di prendere come punto 0 l'altezza del pilota messo in piedi e di registrare il Δx come scostamento da tale valore. Il procedimento di misura è dunque così strutturato:

- Misurazione altezza pilota in piedi
- Posizionamento pilota sdraiato, compressione dello stesso fino a trovare il punto limite per il quale è possibile sollevarlo senza che si scomponga
- Misurazione della nuova altezza del pilota e calcolo del Δx
- Posizionamento del pilota in verticale sulla bilancia e applicazione del Δx , lettura del valore di massa e sua conversione ad un valore di forza

Queste prove hanno dato un esito inaspettato e fortemente positivo: è risultato infatti dall'analisi sperimentale su molteplici articoli che la compressione data dal peso proprio del pilota (quella osservabile quando il pilota è messo in piedi) è superiore alla minima compressione necessaria a sollevare il pilota sdraiato senza che si scomponga (Figura 3-10). Da questo si deduce che la minima forza da esercitare è minore del peso proprio del pilota; tale conclusione ha una forte rilevanza

poiché ogni pezzo prodotto è già progettato per essere in grado di reggere alla compressione data dal peso del pilota senza subire deformazioni permanenti.



Figura 3-10: pilota in piedi e pilota sdraiato sollevato

In conclusione, salvo smentite date da ulteriori future analisi sperimentali, si può affermare che per movimentare i piloti occorrono dei motori in grado di applicare una forza pari a metà del peso del pilota stesso (poiché il pilota poggia su due forche ed entrambe sono motorizzate): in questo modo i piloti non si scomporranno e non subiranno deformazioni; la lunghezza del pilota sotto l'effetto di tale forza sarà uguale all'altezza del pilota posto in piedi senza l'applicazione di alcuna forza oltre al suo peso proprio.

La forza necessaria sarà dunque:

$$F = F_p/2$$

$$F = mg/2$$

$$F = 1,710 * \frac{9,81}{2} N$$

$$F = 8,4 N$$

3.3.2 Scelta motori di riferimento

Per effettuare la progettazione della pinza si sono cercati dei motori verosimilmente compatibili con le specifiche richieste e si sono utilizzate le loro dimensioni. Di seguito i motori presi come riferimento:

MOTORE CINGHIOLI:

Viene proposto un motore DC a spazzole, a bassi rpm ed alta coppia, di marca Servotecnica, modello SVTM D 01-0,33-18-000, mostrato in Figura 3-11. In Figura 3-12 è invece proposta un'alternativa più potente, utilizzabile qualora si volesse creare un prototipo da testare con articoli più pesanti.

Values	Unit	SVTM D		
		01-0,39-22-000	01-0,35-22-000	01-0,33-18-000
Frame	Ø mm	38,1	38,1	38,1
Motor length	mm	27,94	27,94	26
Peak torque, stalled @Vp	mNm	395	353	333

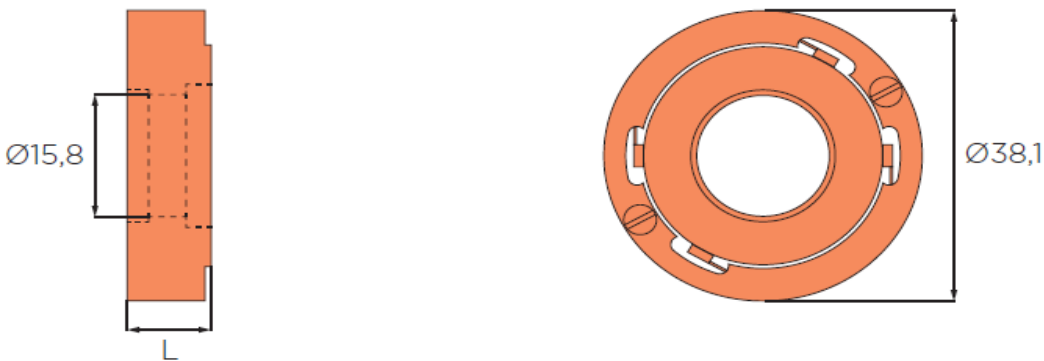


Figura 3-11: Motore prototipo

Values	Unit	SVTM A			
		02-1.74-12-x-x-000	02-1.85-36-x-x-000	02-3.00-25-x-x-000	02-3.18-57-x-x-000
Size	□ mm	80	80	80	80
Motor length	mm	125	125	155	155
Motor length with brake	mm	166	166	203	203
Nominal voltage	VDC	80	325/560	150	325/560
Continuous stall torque	Nm	1,74	1,85	3	3,18

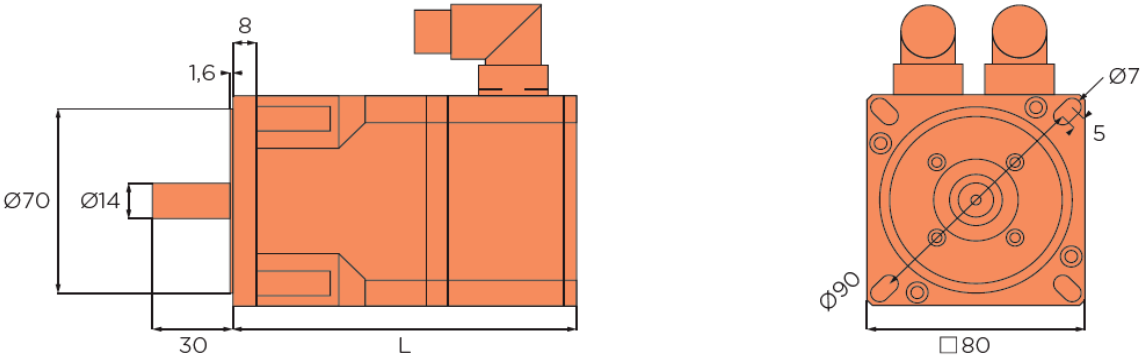


Figura 3-12: Motore alternativo

Le caratteristiche complete del motore prototipale sono riportate in Figura 3-13.

Values	Unit	SVTM D		
		01-0,07-18-000	01-0,12-23-000	01-0,14-17-000
Frame	Ø mm	38,1	38,1	38,1
Motor length	mm	9,78	12,95	12,95
Peak torque, stalled @Vp	mNm	77,7	127	141
Power Input @Tp	W	56,7	83,3	78
Motor constant	mNm/vW	10,3	13,9	16
Electrical time constant	ms	0,11	0,15	0,207
No load speed @Vp	rpm	6962	6961	5280
Break away torque	mNm	4,24	2,2	4,94
Ripple torque	% avg to peak	7	5	7
Max allowable temperate/Insulation class		F, 155 °C	F, 155 °C	F, 155 °C
Thermal resitance	°C/W	25	19	19
Mass	g	46,8	62	65,2
Rotor Inertia	kgm²x10 ⁻⁶	2,97	4,24	4,24
Resistance (1)(2)	Ohm	5,9	6,8	4,1
Inductance (1)	mH	0,65	1,3	0,85
Torque constant	mNm/A	25,1	36,3	32,4
BEMF constant (1)(2)	V/rad/s	0,0251	0,0363	0,0324
Peak voltage @ Tp	V	18,3	23,8	17,9
Peak current @ Tp	A	3,1	3,5	4,36
Wires length	mm	300	300	300
Ambient temperature (3)	°C	-40 +70	-40 +70	-40 +70
Values	Unit	SVTM D		
		01-0,39-22-000	01-0,35-22-000	01-0,33-18-000
Frame	Ø mm	38,1	38,1	38,1
Motor length	mm	27,94	27,94	26
Peak torque, stalled @Vp	mNm	395	353	333
Power Input @Tp	W	156	156	72
Motor constant	mNm/vW	31,3	28,3	39,2
Electrical time constant	ms	0,41	0,41	-
No load speed @Vp	rpm	3776	4226	2066
Break away torque	mNm	5,4	5,4	18,5
Ripple torque	% avg to peak	5	5	5
Max allowable temperate/Insulation class		F, 155 °C	F, 155 °C	F, 155 °C
Thermal resitance	°C/W	14	14	-
Mass	g	142	142	140
Rotor Inertia	kgm²x10 ⁻⁶	9,86	9,86	8,7
Resistance (1)(2)	Ohm	3,18	3,18	4,5
Inductance (1)	mH	1,3	1,3	1,1
Torque constant	mNm/A	56,4	50,4	83,2
BEMF constant (1)(2)	V/rad/s	0,0564	0,0504	0,0832
Peak voltage @ Tp	V	22,3	22,3	18
Peak current @ Tp	A	7	7	4
Wires length	mm	300	300	300
Ambient temperature (3)	°C	— -40 +70	-40 +70	-40 +70

Figura 3-13: Caratteristiche motore

SLITTE PER TRASLAZIONE VERTICALE:

Per la traslazione verticale si è scelto di usare degli assi da mandrino a ricircolo di sfere della Festo, modello ELGC-BS-KF-45-800-10P.

Questi componenti permettono la trasformazione di una coppia rotativa in una forza lineare. L'azionamento utilizzato per generare la coppia è lo stesso utilizzato per movimentare i cinghiali: il motore SVTM D 01-0,33-18-000 (vedi Figura 3-14)

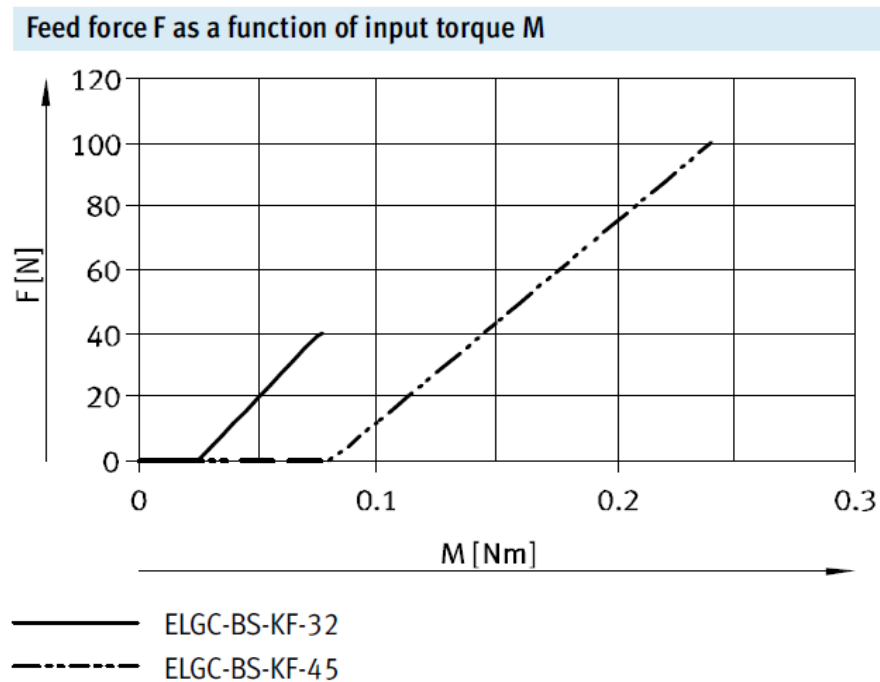
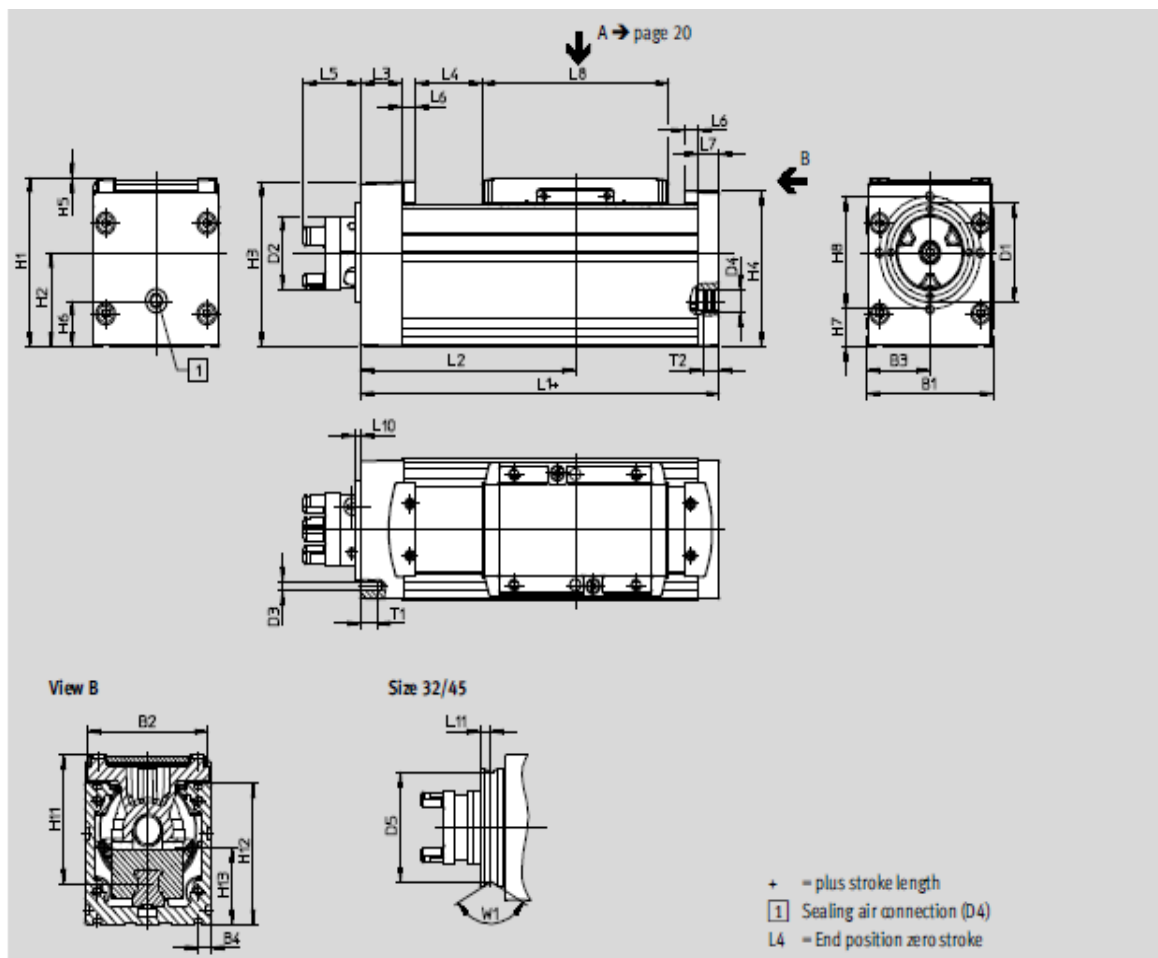


Figura 3-14: Curva di trasmissione forza

Questa slitta è stata sovradimensionata in termini di forza trasmissibile (può arrivare a 100 N), perché la condizione più restrittiva è che essa possa poter garantire una sufficiente resistenza al momento flettente che il peso dei vassoi genera sulle forche che li sostengono e quindi anche sulle slitte (sopporta un momento flettente $M_{y_max} = 4,7$ Nm).

La corsa massima è di 800 mm che dà luogo ad una lunghezza totale di 935 mm. Le sue dimensioni sono riportate in Figura 3-15, le caratteristiche tecniche complete in Figura 3-16.



Size	B1	B2	B3	B4	D1 Ø	D2 Ø	D3	D4	D5 Ø	H1	H2
32	32	29.6	16	4.9	25	16.5	–	M5	23	38.5	20
45	45	42.6	22.5	6.1	32	16.5	–	G1/8	29.6	54	27.9
60	60	57.1	30	6.1	42	31	M4	G1/8	–	72	40
80	80	77.1	40	6.1	46	31	M6	G1/8	–	96	50

Size	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H11	H12	H13	L1	L2 Min.
32	36.3	35.6	0.3	8	–	–	31.4	32	13.7	104.5	57.9
45	50.8	49.6	0.5	12.5	–	–	42.8	45	18.5	134.3	79.7
60	70.1	66.1	0.5	19.5	16	48	54.6	60	32.5	170.5	102.1
80	90.6	88.1	0.5	20	17.5	65	72.5	80	41.5	198.5	119.6

Size	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L10	L11	T1	T2	W1
32	10.5	13.4	19.9	4.5	5	59	6	2.6	–	5.5	120°
45	14.8	24.6	19.9	6.5	7	67.5	6	2.9	–	8	90°
60	20	31.4	26.9	6.5	10	88.5	2.5	–	8	8	–
80	21	39.1	25.9	6.5	12	106	2.5	–	15	8	–

Figura 3-15: Slitta verticale

Foglio dati

Caratteristica	Valore
Corsa di lavoro	800 mm
Taglia	45
Extra-corsa	0 mm
Diametro vite senza fine	10 mm
Passo vite senza fine	10 mm/U
Posizione di montaggio	Qualsiasi
Guida	Guida a ricircolo di sfere
Costruzione	Asse lineare elettromeccanico Con vite a ricircolo di sfere
Tipo motore	Motore passo-passo Servomotore
Tipo di vite senza fine	Vite a ricircolo di sfere
Accelerazione max.	15 m/s ²
Numero di giri max.	3.600 1/min
Velocità max.	0,6 m/s
Precisione di ripetizione	±0,015 mm
Grado di protezione	IP40
Temperatura ambiente	0 ... 50 °C
Momento di superficie di secondo grado Iy	140E+03 mm ⁴
Momento di superficie di secondo grado Iz	170E+03 mm ⁴
Coppia al minimo a velocità di processo massima	0,12 Nm
Coppia al minimo a velocità di processo minima	0,032 Nm
Forza Fy max.	300 N
Forza Fz max.	600 N
Fy con durata di vita teorica di 100 km (considerazione puramente indicativa)	1.104 N
Fz con durata di vita teorica di 100 km (considerazione puramente indicativa)	2.208 N
Momento Mx max.	5,5 Nm
Momento My max.	4,7 Nm
Momento Mz max.	4,7 Nm
Mx con durata di vita teorica di 100 km (considerazione puramente indicativa)	20 Nm
My con durata di vita teorica di 100 km (considerazione puramente indicativa)	17 Nm
Mz con durata di vita teorica di 100 km (considerazione puramente indicativa)	17 Nm
Forza di spinta Fx max.	100 N
Momento di inerzia torsionale It	8,5E+03 mm ⁴
Momento di inerzia di massa JH per metro di corsa	0,05056 kgcm ²
Momento di inerzia di massa JL per kg di carico utile	0,02533 kgcm ²
Momento d'inerzia di massa JO	0,0082 kgcm ²
Costante di avanzamento	10 mm/U
Massa movimentata	220 g
Peso per ogni 10 mm di corsa aggiuntiva	36 g
Flessione dinamica (carico in movimento)	0,05% della lunghezza dell'asse, massimo 0,5 mm

Figura 3-16: Caratteristiche slitta

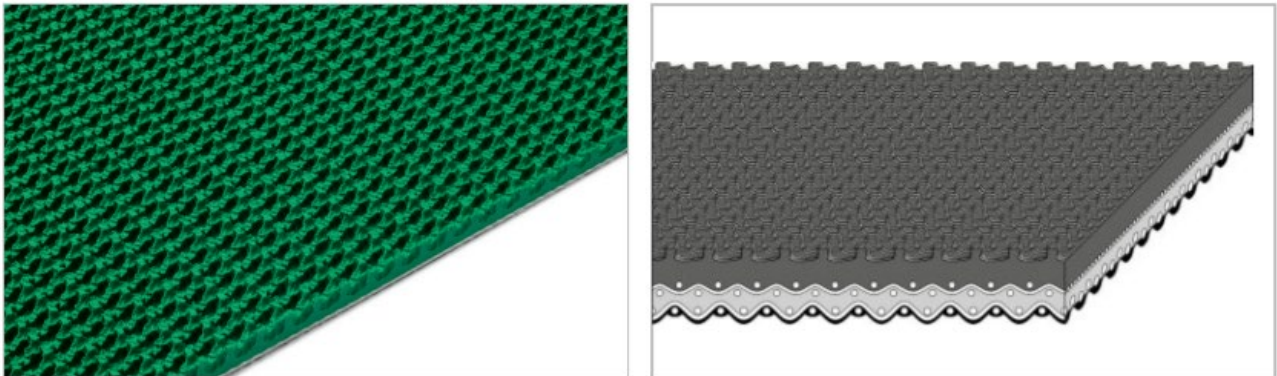
Per movimentare le due aste retraibili si è ipotizzato di utilizzare un attuatore lineare a vite-madrevite della Dima Motion, modello DAVSF 1 con motore Dc con spazzole in carbonio. Le sue dimensioni sono riportati in Figura 3-17.



3.3.3 Scelta altri componenti

Oltre agli elementi necessari per fornire il moto, sono stati selezionati altri componenti commerciali necessari per la progettazione della pinza.

Per la realizzazione dei cinghioli si può utilizzare un nastro ad alto coefficiente d'attrito, le cui dimensioni possono essere completamente personalizzate.



Proprietà nastro

Schema/disegno del prodotto	
Superficie di trasporto (materiale)	Gomma Acrilonitrile Butadiene (NBR)
Superficie di trasporto (superficie)	Struttura aggrappante
Superficie di trasporto (proprietà)	Adesivo
Superficie di trasporto (colore)	Verde
Elemento di trazione (materiale)	Poliestere (PET)
Numero di tessuti	2
Superficie di scorrimento (materiale)	Poliuretano reticolare (PUR)
Superficie di scorrimento (superficie)	Tessuto impregnato
Superficie di scorrimento (proprietà)	Non adesivo
Superficie di scorrimento (colore)	Nero

Figura 3-18: Materiale cinghiolo

I due cinghioli inizialmente sono progettati secondo uno schema molto semplice, simile al seguente:

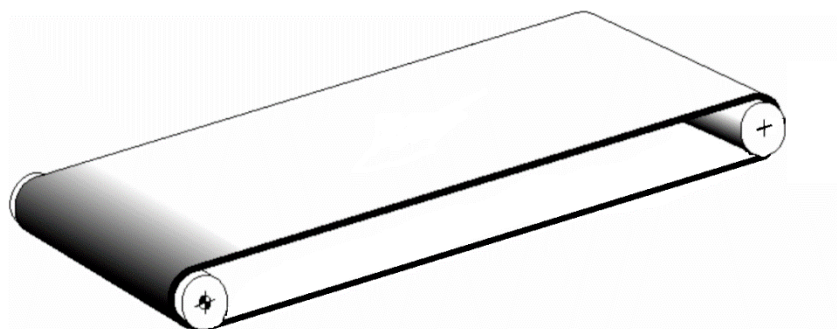


Figura 3-19: Schema nastro

Si è scelto nel primo prototipo di puntare sulla semplicità, dunque la regolazione della tensione verrà fatta manualmente posizionando il perno del cilindro di rinvio in scassi predefiniti. Eventualmente in futuro si potrà aggiungere un sistema di tensionamento più accurato e anche una penna che faciliti la consegna degli articoli dal tappeto della macchina alle forche del gripper (esempi mostrati in Figura 3-20 e Figura 3-21)

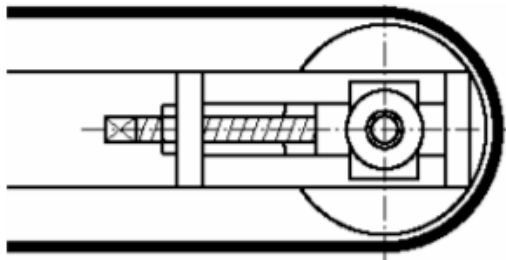


Figura 3-20: Tendicinghia

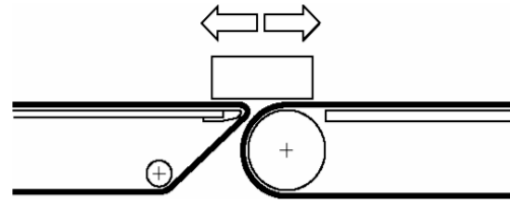


Figura 3-21: Penna per ricezione

I cilindri di rinvio e le pulegge di trazione sono componenti standard forniti solitamente dagli stessi produttori di nastri; vi sono svariate opzioni tra cui scegliere come cinghie lisce, dentate o a gole trapezoidali, in prima battuta vista la poca coppia messa in gioco si è deciso di optare per dei nastri lisci tensionati mossi da un semplice cilindro di trazione (primo componente mostrato in Figura 3-22).

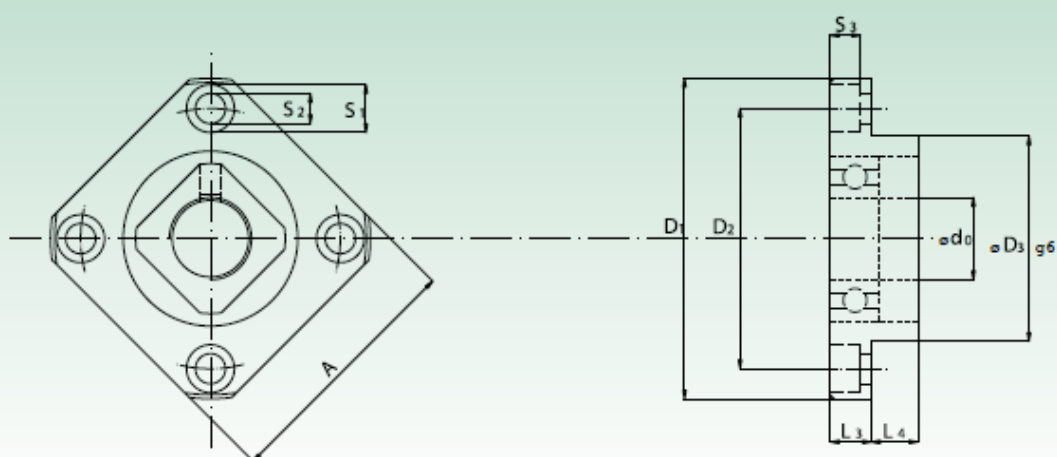
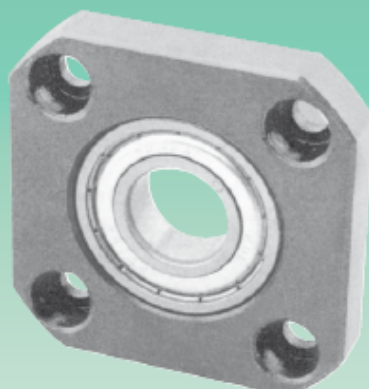


Figura 3-22: Puleggia liscia, dentata, con gole

La puleggia verrà preassemblata su un albero con il motore, un calettatore, una boccolina e un supporto a cuscinetto, di modo da avere un componente facile da montare sulle forche del gripper.

Questi componenti sono mostrati in Figura 3-23, Figura 3-24, Figura 3-25, Figura 3-26.

Supporti di tipologia ad appoggio FF, BF e EF
Floated-side support unit types FF, BF and EF



Tipo Type	Dimensioni - Dimensions									
	d ₀	D ₁	D ₂	D ₃	L ₃	L ₄	A	S ₁	S ₂	S ₃
	mm									
FF 10	8	43	35	28	7	5	35	6,5	3,4	4
FF 12	10	52	42	34	7	8	42	8	4,5	4
FF 15	15	63	50	40	9	8	52	9,5	5,5	6
FF 20	20	85	70	57	11	9	68	11	6,6	6,5
FF 25	25	98	80	63	14	10	79	14	9	9
FF 30	30	117	95	75	18	17	93	17,5	11	11

Figura 3-23: Supporti

CALETTATORI DI BLOCCAGGIO TIPO CK 80

Esecuzione calettatore AUTOCENTRANTE

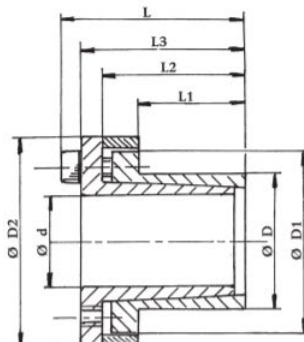
N.B. Le tolleranze di lavorazione consigliate per le superfici di pressione sono:

Albero h8
Mozzo H8

Esempio di ordinazione

Albero con Ød 95 con un valore di coppia minore o uguale a 11000 Nm si chiederà: **CK 80 - 95x120**.

* = a richiesta



DIMENSIONI								Coppia Mt Nm	PRESSIONI		Viti di bloccaggio DIN 912 MAT. 12.9			Filetto di Estrazione	
Ød	ØD	ØD1	ØD2	L1	L2	L3	L		Albero N/mm	Mozzo N/mm²	N.	Tipo	Coppia	Tipo	N.
6	14	22	25	10	18.5	22.5	25.5	12	190	80	3	M3 x 10	2.2	M3	2
8	15	24	27	12	21.5	25.5	29.5	29	205	110	3	M4 x 12	5	M4	2
9	16	25	28	14	23.5	27.5	31.5	31	150	85	3	M4 x 12	5	M4	2
10	16	25	28	14	23.5	27.5	31.5	35	140	85	3	M4 x 12	5	M4	2
11	18	28	32	14	23.5	27.5	31.5	52	170	105	4	M4 x 12	5	M4	2
12	18	28	32	14	23.5	27.5	31.5	58	150	100	4	M4 x 12	5	M4	2
14	23	35	39	14	23.5	27.5	31.5	69	140	80	4	M4 x 12	5	M4	2
15	24	40	45	16	29.5	36.5	42.5	170	158	98	4	M6 x 18	17	M6	2
16	24	40	45	16	29.5	36.5	42.5	180	148	98	4	M6 x 18	17	M6	2
17	26	42	47	19	32.5	39.5	45.5	200	180	125	4	M6 x 18	17	M6	2

Figura 3-24: Calettatori



Figura 3-25: Chiavetta



Figura 3-26: Boccola in ottone 15X7 mm,

3.3.4 Dimensionamento

PULEGGIA DI TRAZIONE

Il sottoassieme risultante è il seguente, in cui la puleggia è bloccata con una chiavetta, il motore con il calettatore e il supporto a cuscinetto con una ghiera (Figura 3-27).

Le forze assiali sono pressoché nulle.

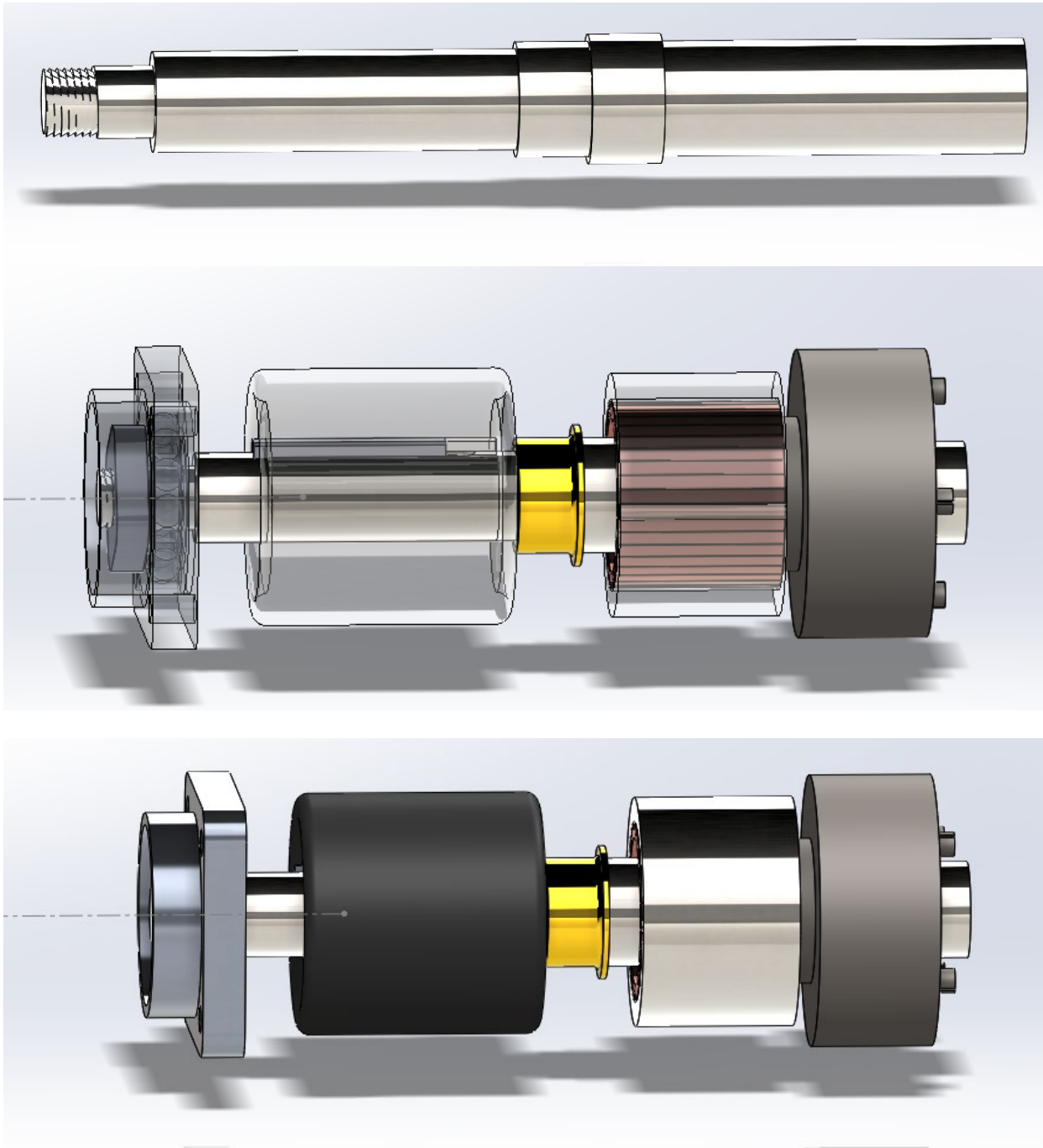


Figura 3-27: Albero di trazione

PULEGGIA DI RINVIO:

La puleggia di è sorretta da un perno fisso, con boccia interposta. Tale perno è usato anche per regolare la tensione del nastro (Figura 3-28Figura 3-28: Albero di rinvio).

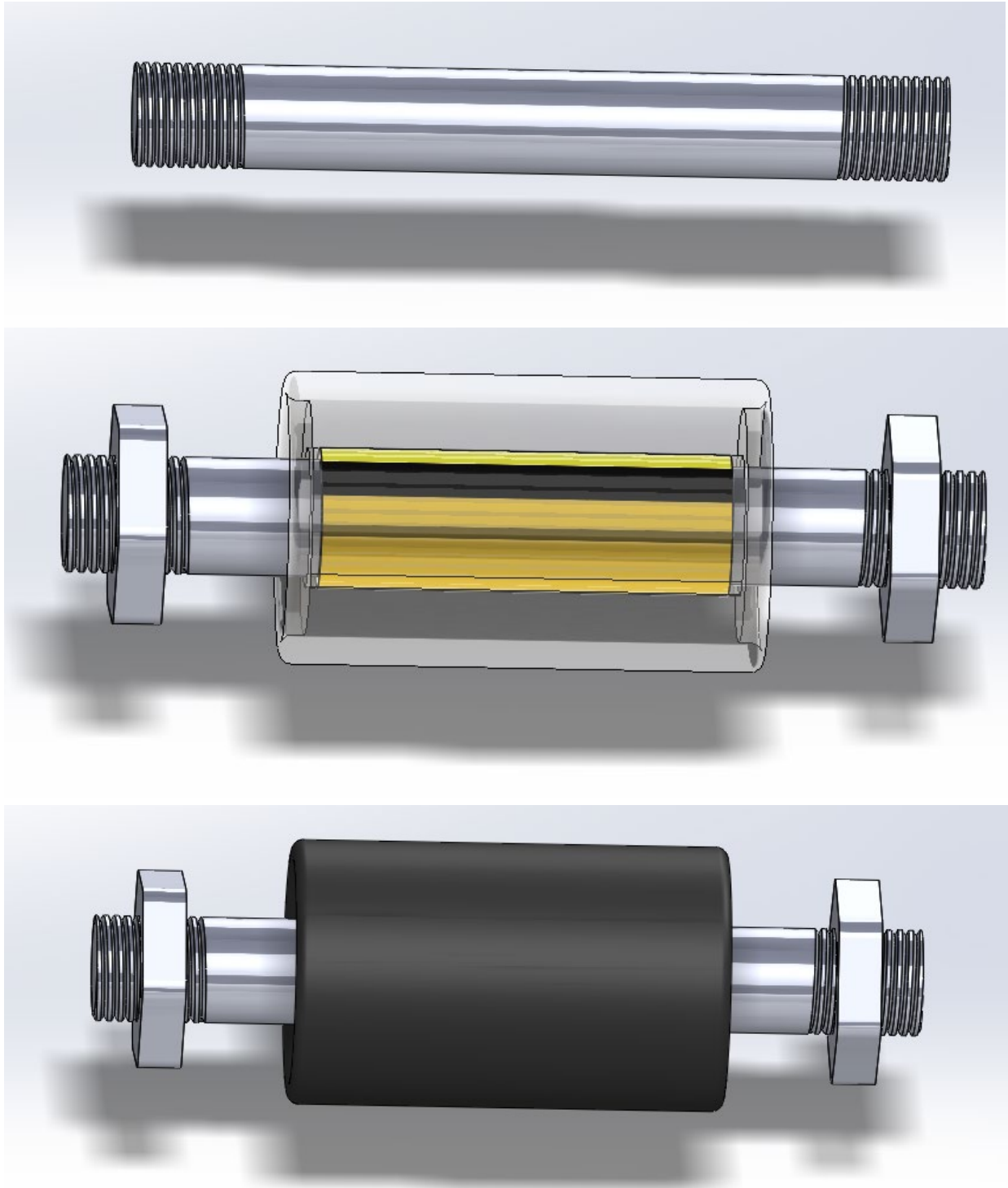


Figura 3-28: Albero di rinvio

FORCHE:

Le forche in acciaio sono state pensate per favorire un semplice montaggio e smontaggio dei rulli, anche se questo va ad indebolire la struttura per via delle sedi a U. Gli alloggiamenti dei perni delle pulegge di rinvio sono sagomati in modo tale da permettere il tensionamento della cinghia (Figura 3-39).

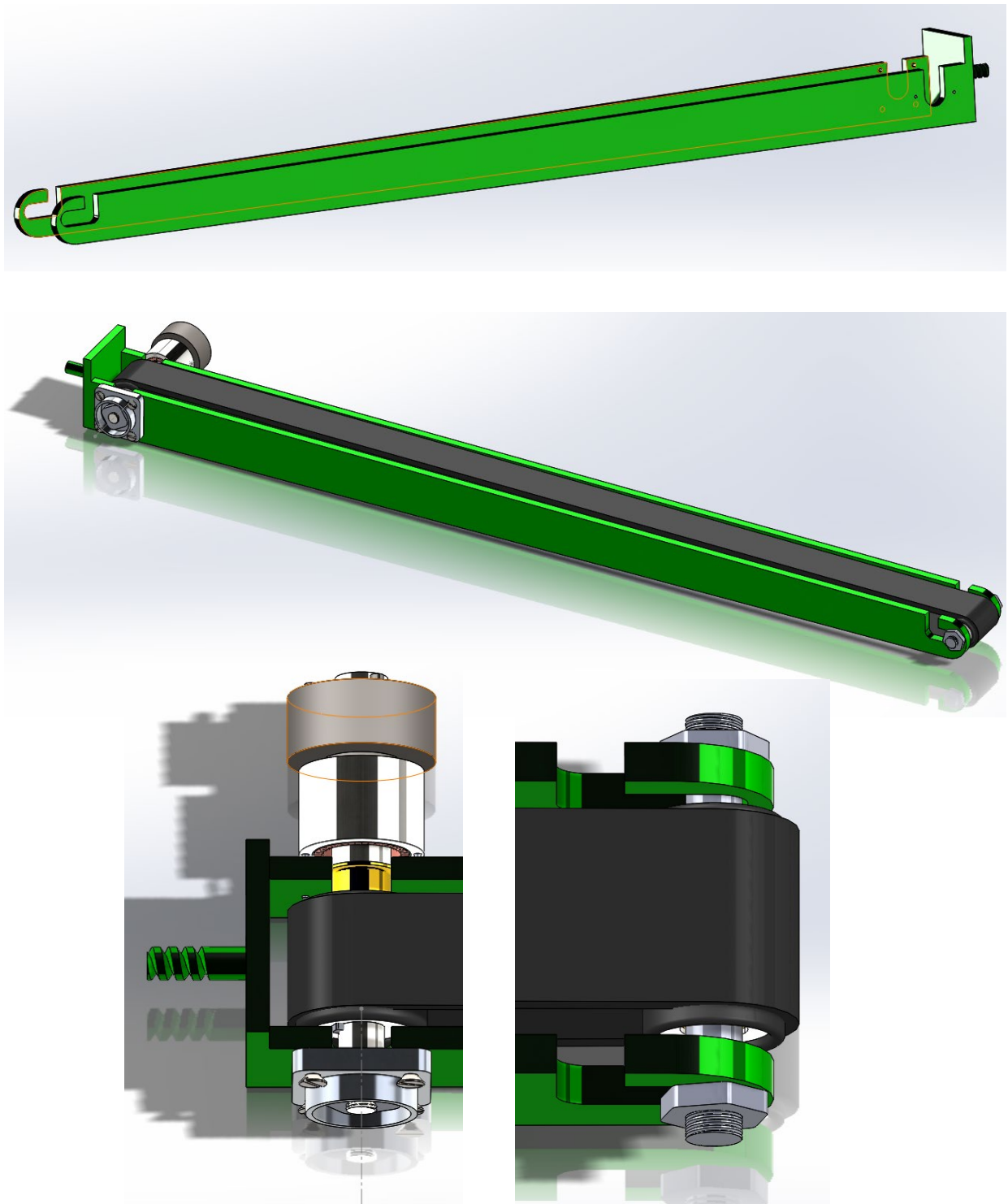


Figura 3-29: Forca

ADATTATORE MOTORI-FORCHE:

Sulla base del motore lineare che verrà effettivamente scelto, sarà necessario costruire un componente di adattamento per permettere un rapido fissaggio delle forche ai motori. Per le slitte scelte per il prototipo si è disegnato l'adattatore mostrato in Figura 3-30.

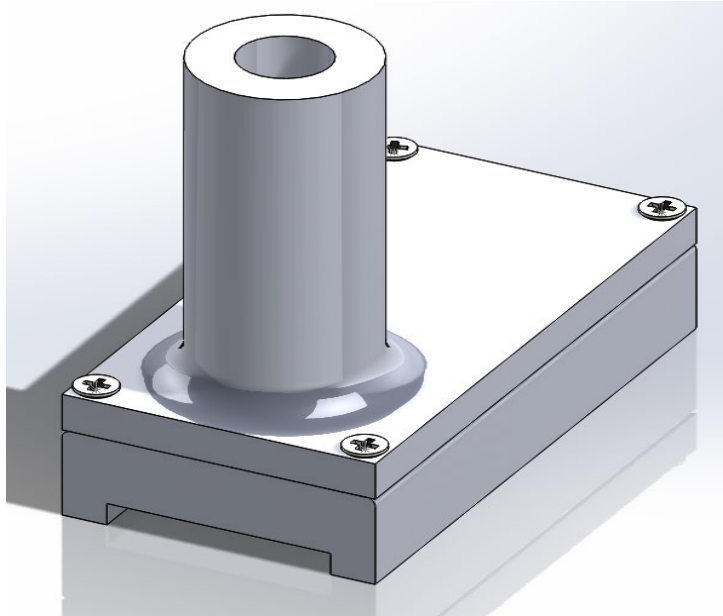


Figura 3-30: Adattatore

CARCASSA TORRETTE:

La carcassa è stata mantenuta simile al disegno schematico di Figura 3-8, ad eccezione di due modifiche: è stata divisa in due parti fissate da viti per consentire di inserire al suo interno i motori e si è deciso sul prototipo di dotare di motore lineare solo le due forche superiori e le aste retraibili, escludendo dunque le due forche inferiori. La carcassa presenterà dunque una sede per accogliere la forca inferiore (Figura 3-31).

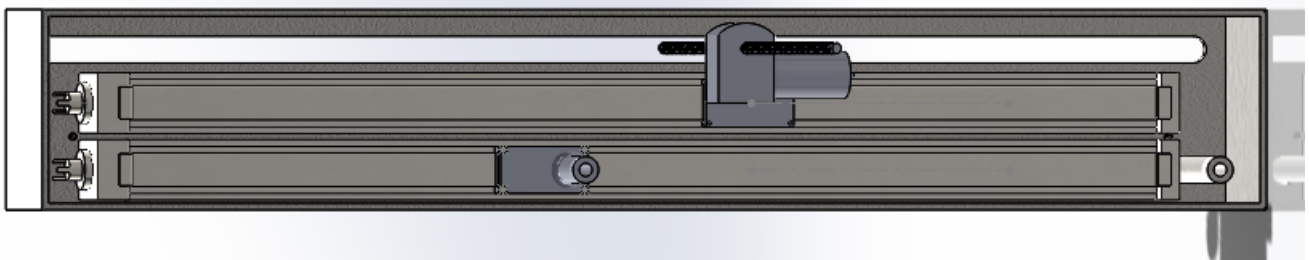


Figura 3-31: Carcassa torretta

STRUTTURA PORTANTE:

La struttura portante (Figura 3-32) presenta una forma ad “H” ruotata ed è dotata di denti per la regolazione orizzontale che sono stati aumentati rispetto a quanto pensato in un primo momento per consentire di regolare con passo 1 cm. Sul retro è posizionato un componente per l’aggancio rapido al robot. Delle viti con farfalla permettono di fissare le torrette alla struttura portante, vincolandole in tutti i gradi di libertà.

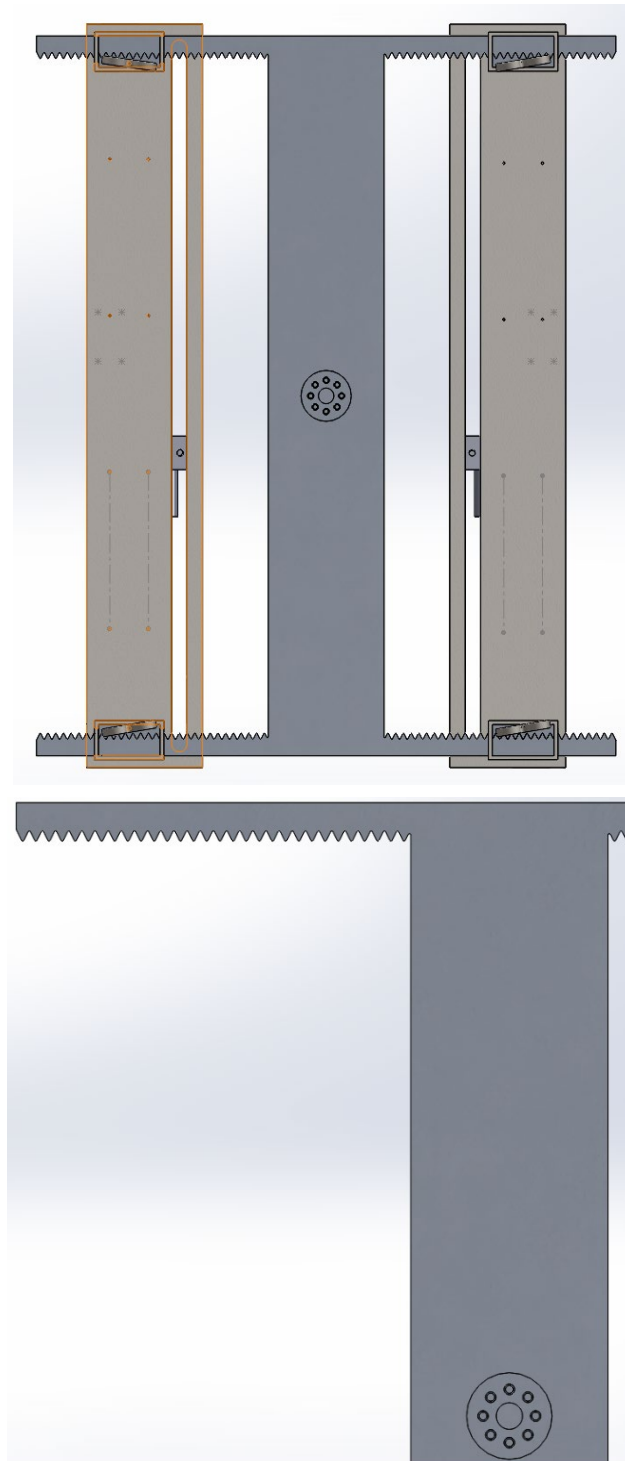


Figura 3-32: Struttura portante

La sequenza di montaggio dell'intero gripper a forche è:

1. Assemblaggio puleggia di trazione:
 - Motore su albero
 - Calettatore a bloccarlo
 - Boccola su albero (con gioco)
 - Puleggia su albero
 - Chiavetta a bloccarla
 - Supporto con cuscinetto su albero
 - Ghiera a bloccarlo
2. Inserimento sottoassieme puleggia di trazione nel nastro e fissaggio su forca con viti, sia dal lato motore che dal lato supporto
3. Inserimento albero con puleggia di rinvio (blocco unico acquistato già assemblato) in nastro e fissaggio su forca con bulloni; necessario opportuno tensionamento
4. Ripetizione azioni precedenti su tutte e 4 le forche
5. Fissaggio corse dei motori lineari su fondo carcassa con viti
6. Fissaggio adattatore su motore lineare forca superiore
7. Fissaggio motore asta retrattile sul motore lineare dedicato
8. Collegamento cavi
9. Chiusura carcassa con viti (ne risulta una "torretta")
10. Ripetizione azioni 5-9 per la seconda torretta
11. Inserimento torrette su struttura portante
12. Regolazione orizzontale torrette; inserimento blocchetto e fissaggio con vite a farfalla
13. Avvitamento forche superiori su adattatori e forche inferiori in opportuna sede
14. Fissaggio dispositivo di aggancio rapido su struttura portante con viti
15. Collegamento cavi motori a dispositivo aggancio rapido robot

Il risultato finale è rappresentato dall'assieme in Figura 3-33: Gripper.



Figura 3-33: Gripper

Il suo funzionamento è mostrato dalla sequenza di Figura 3-34.

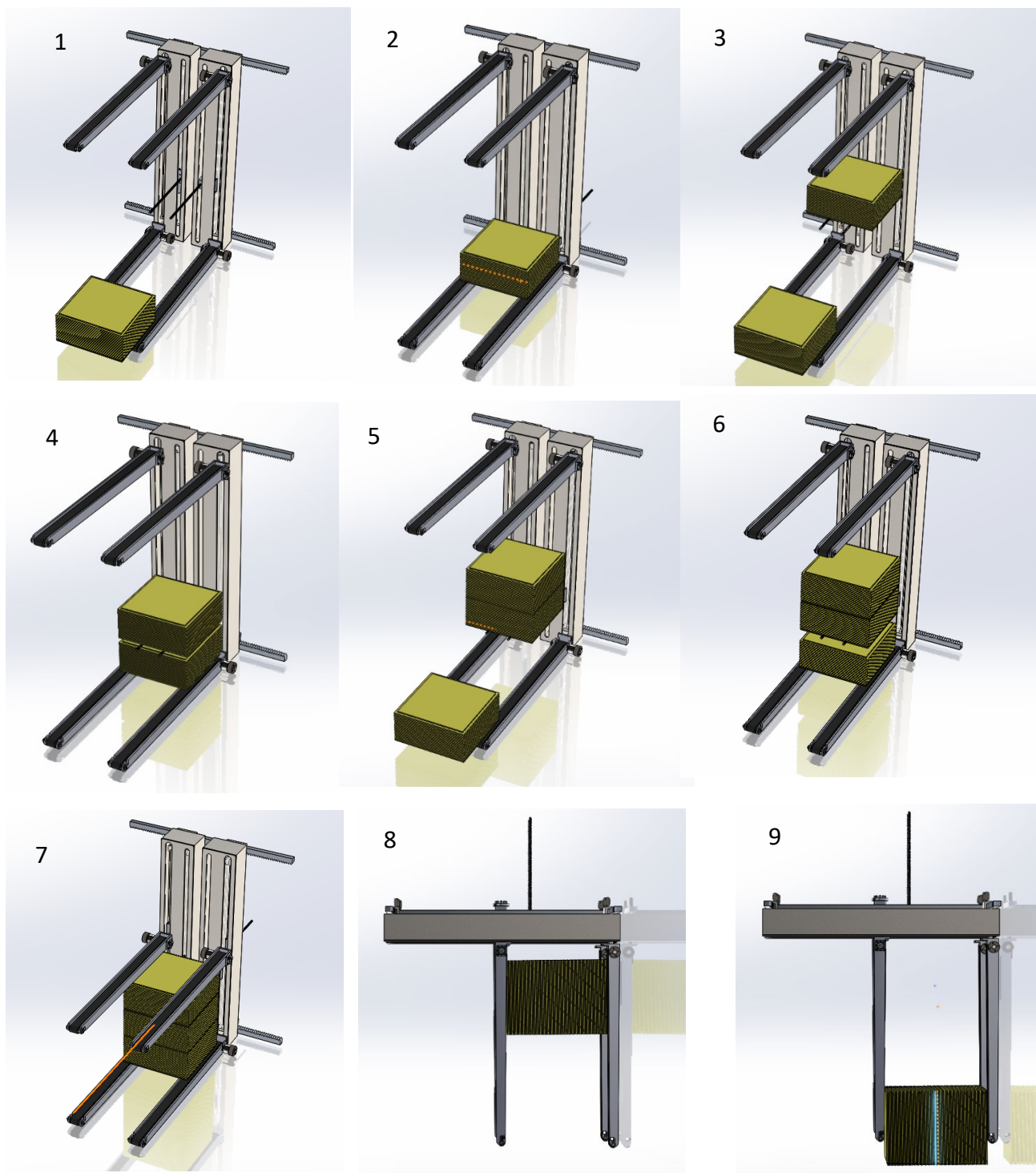


Figura 3-34: Funzionamento gripper

Le forche accolgono la prima uscita (1), i cinghioli la trascinano finché arriva in battuta (2), le aste la sollevano (3), la seconda uscita viene spostata sotto alla prima (4), le aste adagiano la prima uscita sulla seconda e le sollevano entrambe (5), la terza uscita viene raccolta e assemblata alle prime due (6), le aste si ritraggono e le forche bloccano il pilotto comprimendolo (7), il gripper ruota e si posiziona nella scatola (8) e, infine, espelle il pilotto posizionandolo nella scatola (9).

3.4 Analisi strutturale

Si è ritenuto opportuno svolgere un'analisi strutturale sulle forche, elementi di dimensioni contenute per ragioni di ingombro e che allo stesso tempo sopportano continuamente e ripetutamente il carico dato dal peso dei pezzi. Tale analisi è stata effettuata mediante tre strumenti: con il software Ansys si è studiato il comportamento di un primo modello semplificato bidimensionale; successivamente con il software Solidworks si è passati allo studio del modello tridimensionale; in ultimo si è effettuata una verifica dei risultati ottenuti paragonandoli con il modello semplificato di trave di De Saint-Venant.

Il materiale scelto per realizzare la forca è un acciaio inossidabile al cromo (resistenza allo snervamento = circa 170 MPa).

La prima verifica è stata realizzata su Ansys sfruttando la simmetria della forca: essa è modellata bidimensionalmente e caricata del peso del pilota, successivamente raddoppiato per tenere in conto anche il peso proprio della forca stessa. I risultati indicano uno sforzo massimo di circa 20 Mpa nell'intaglio che è la sede dell'albero di trazione; il risultato è ampiamente in sicurezza.

In Appendice B il listato per il calcolo, in Figura 3-35 la distribuzione degli sforzi sul modello.

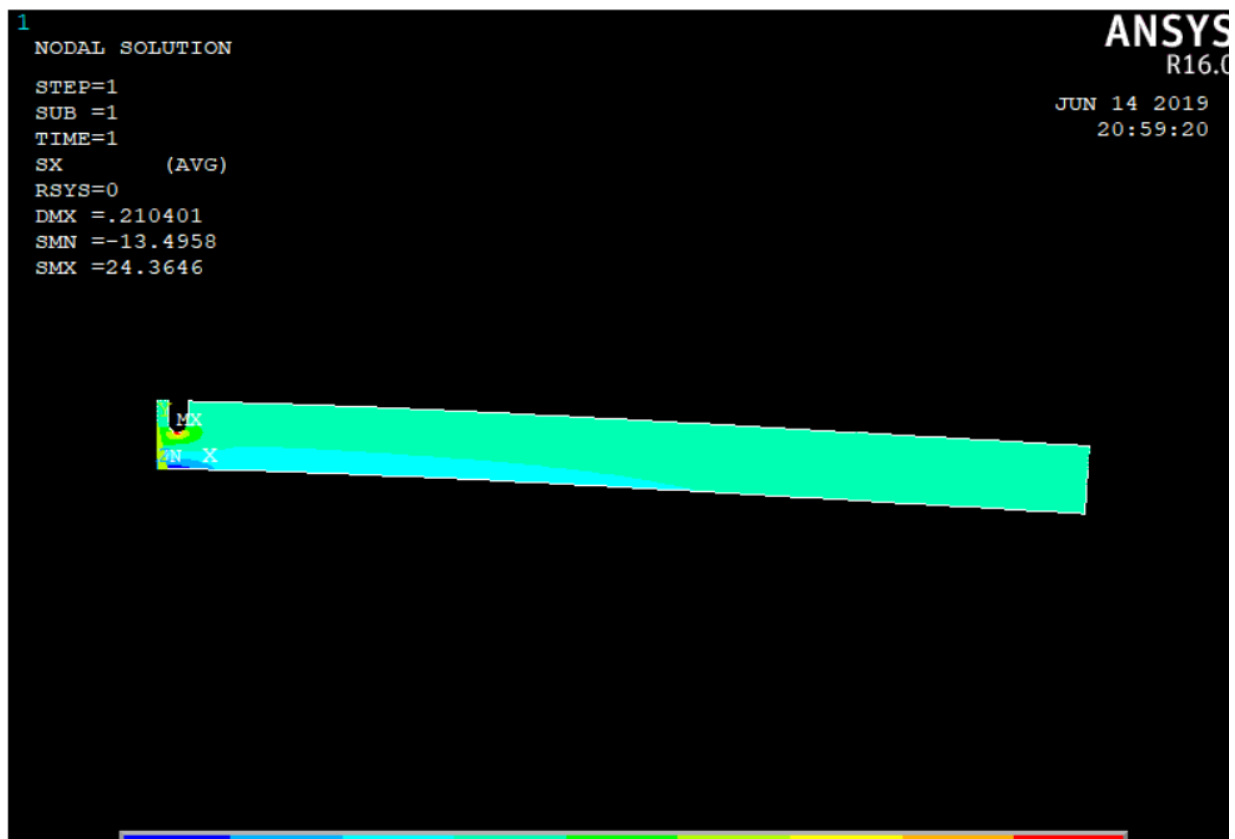


Figura 3-35: Ansys - sforzi

La seconda verifica ha un livello di accuratezza molto più elevato poiché si basa su un modello tridimensionale il più simile possibile all'oggetto effettivo; l'analisi FEM, così come il modello già presentato, è realizzata su Solidworks.

Per prima cosa si è realizzata la mesh (cioè la suddivisione in piccole parti) della forza, indicando le forze e i vincoli agenti su di essa. Come vincolo è stato imposto un incastro nella parte della forza che verrà innestata sulla slitta verticale; come forze agenti sono stati considerati il peso proprio della forza, agente sul suo baricentro, e il peso del pilota appena ricevuto sui tappeti, ossia nel momento più gravoso a livello di flessione. La mesh risultante è visibile in Figura 3-36.

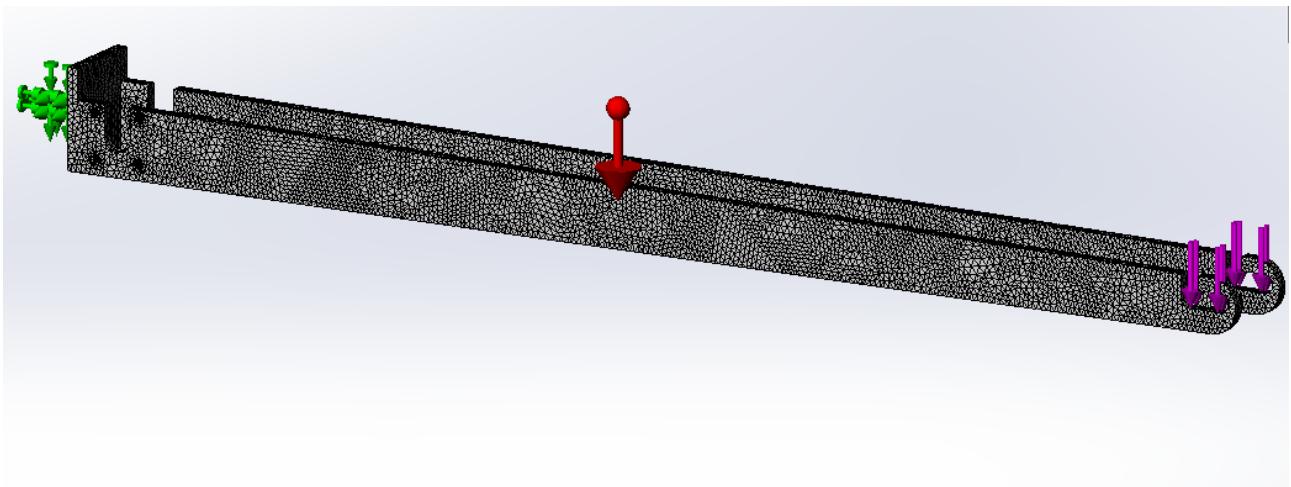


Figura 3-36: Mesh forza

Per ogni elemento finito costituente la mesh, il software calcola la sollecitazione a cui è sottoposto, evidenziandola con un colore, come mostrato in Figura 3-37.

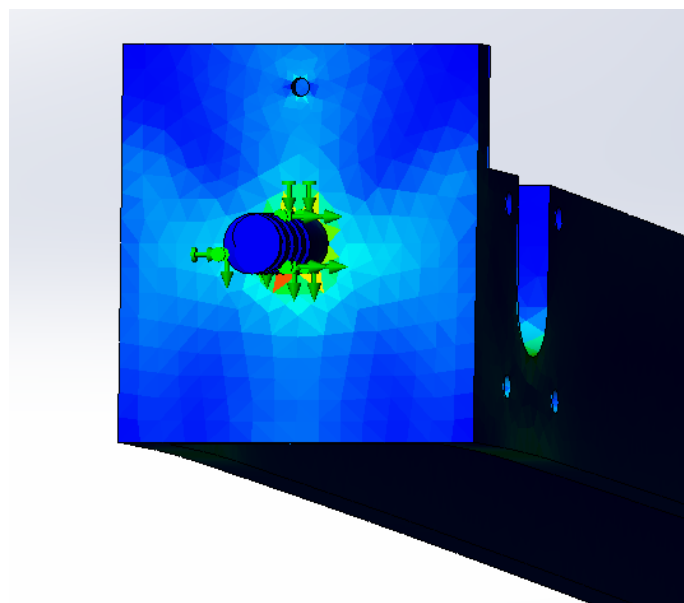


Figura 3-37: Mesh sollecitata

È stato utilizzato il modello suggerito di default dal software per il tipo di materiale scelto, ovvero il modello costitutivo lineare elastico.

Il risultato finale è mostrato in Figura 3-38.

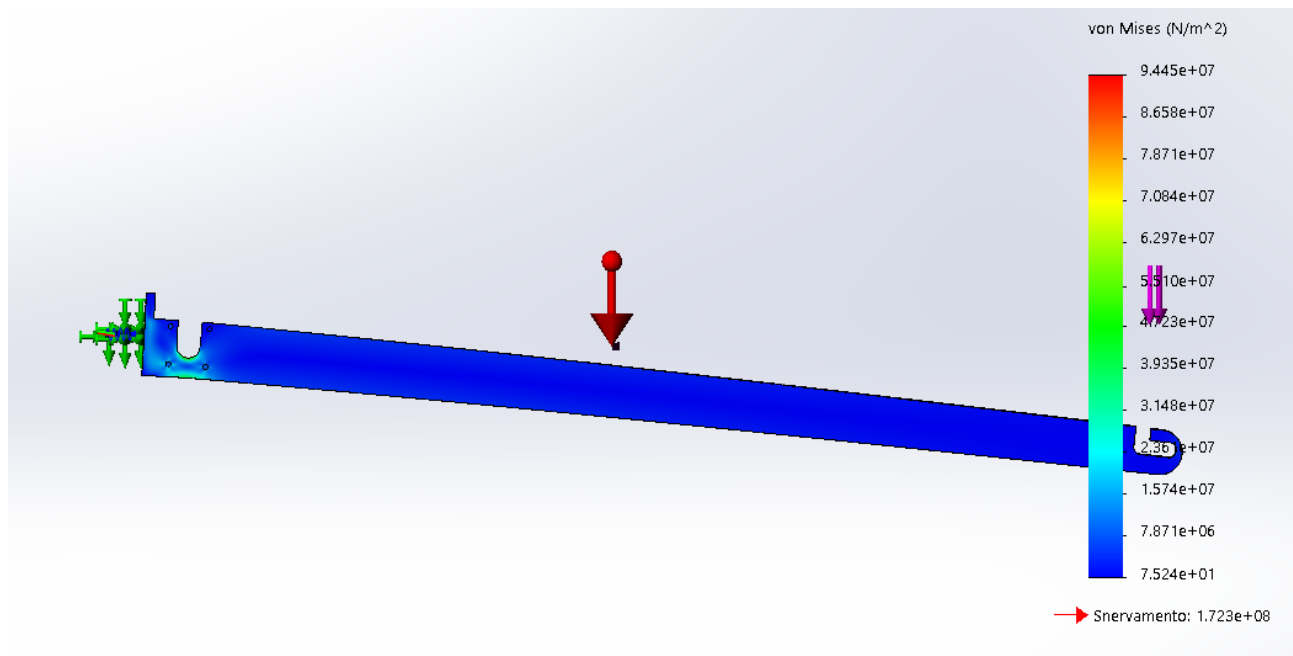


Figura 3-38: Forza sotto sforzo

Il valore massimo delle tensioni equivalenti di Von Mises raggiunge i 94 MPa. Nelle immagini di Figura 3-40 e Figura 3-39 sono presentati degli ingrandimenti sui punti più sollecitati.

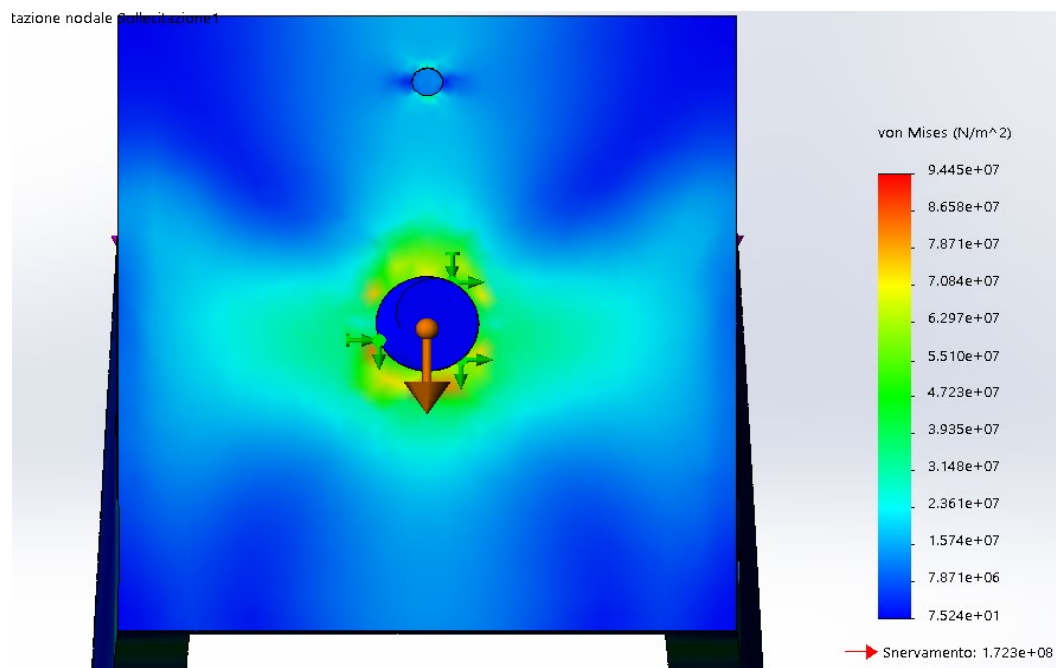


Figura 3-39: Tensioni incastro

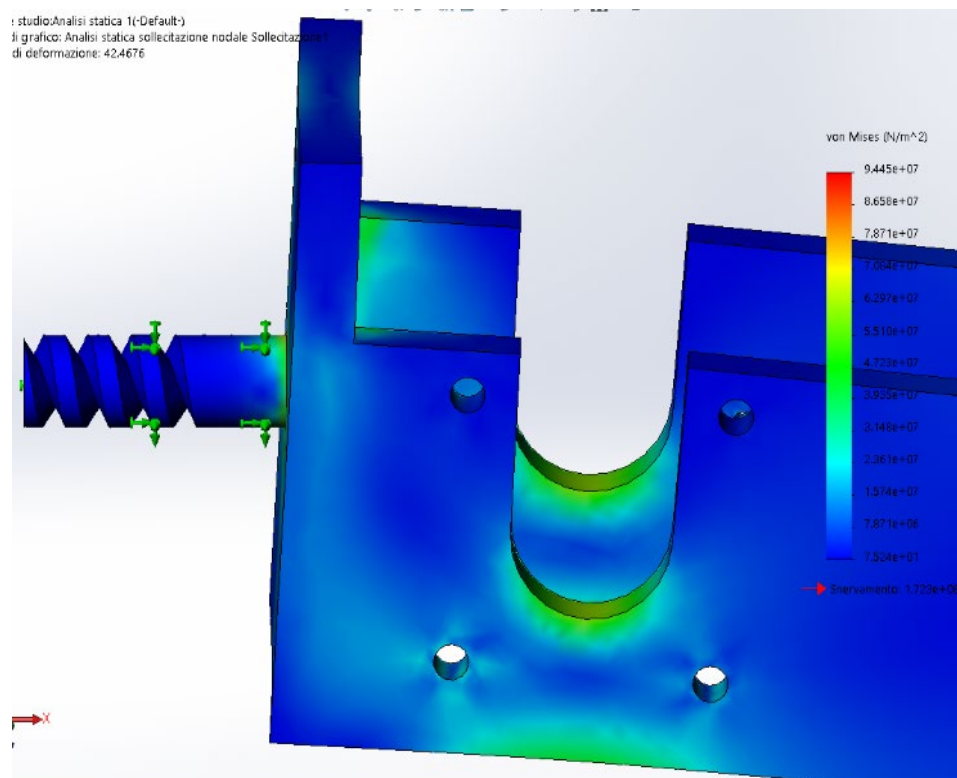


Figura 3-40: Tensioni intaglio

Lo spostamento lungo y causato da questo stato di tensioni, utilizzando il suddetto acciaio, è rappresentato in Figura 3-41, dove la sigla “URES” sta ad indicare lo spostamento risultante.

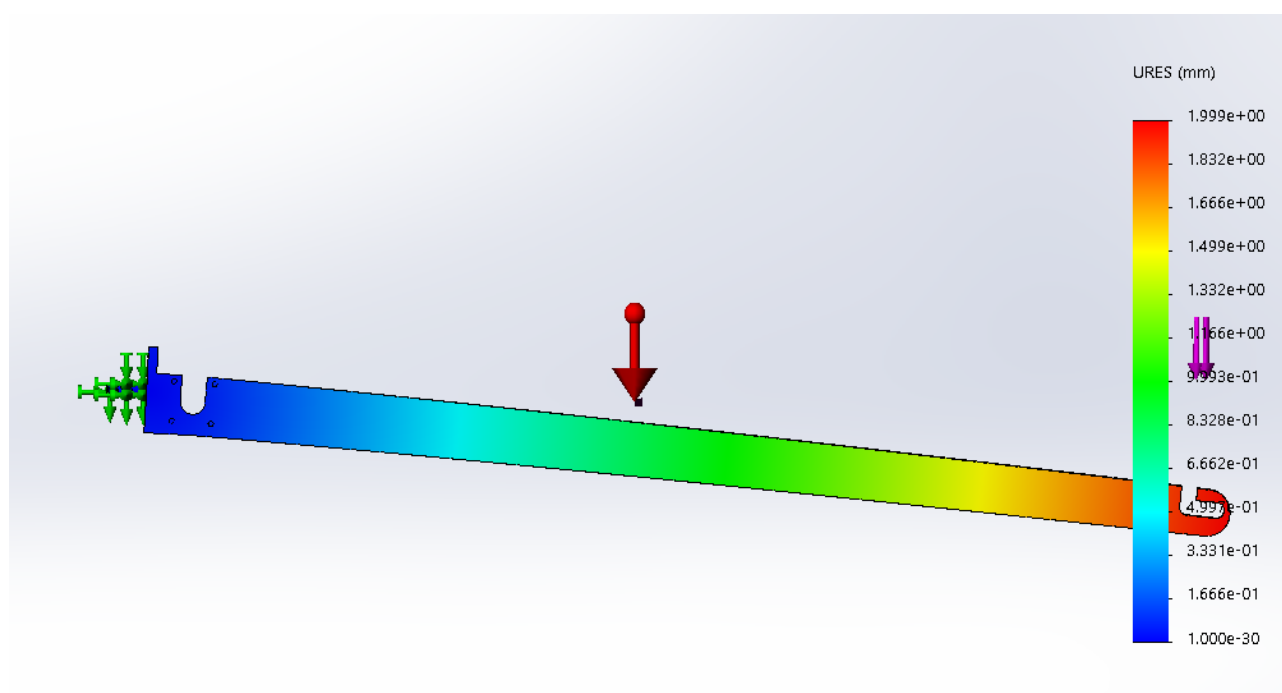


Figura 3-41: Spostamento risultante

Si sono voluti porre in evidenza (colorati di rosso) quei punti in cui, con questo stato di tensioni, il fattore di sicurezza scende al di sotto di 3, pur non calando mai oltre 1,8 (Figura 3-42).

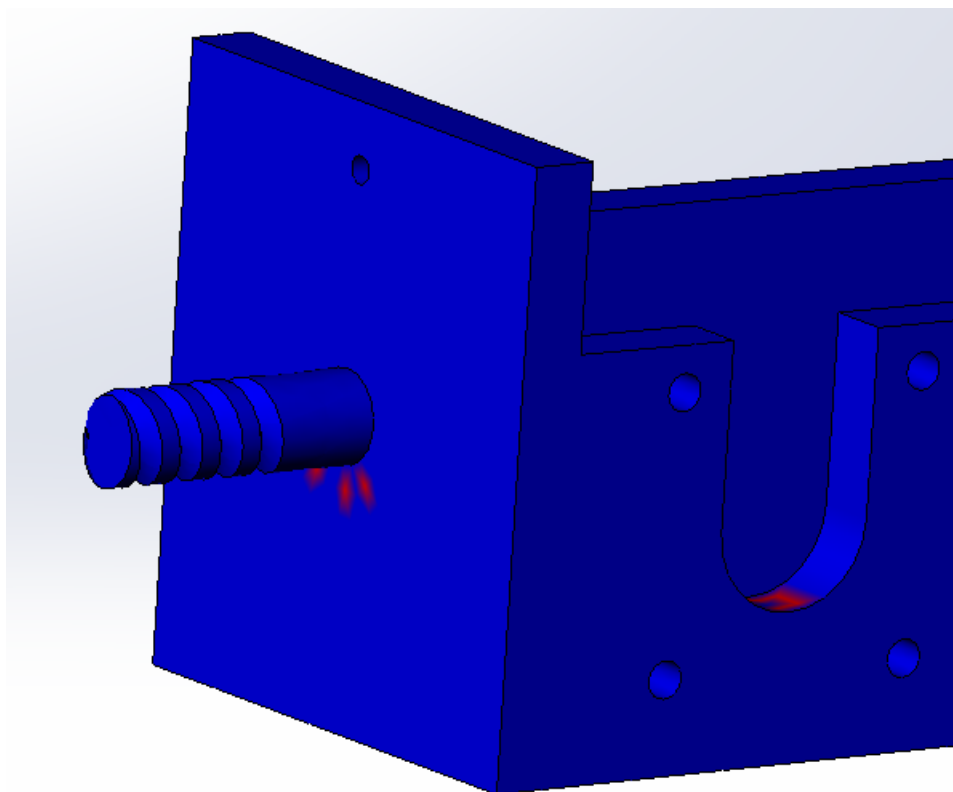


Figura 3-42: FOS < 3

Come ultimo passaggio di questa analisi su Solidworks, si è analizzato quali zone di materiale potrebbero essere alleggerite senza ledere la resistenza della struttura. Tale analisi è stata realizzata secondo la routine automatica propria del software, che ha rimosso del materiale in zone poco sollecitate per andare a studiare le conseguenze sulle zone adiacenti.

Il risultato è espresso in Figura 3-43.

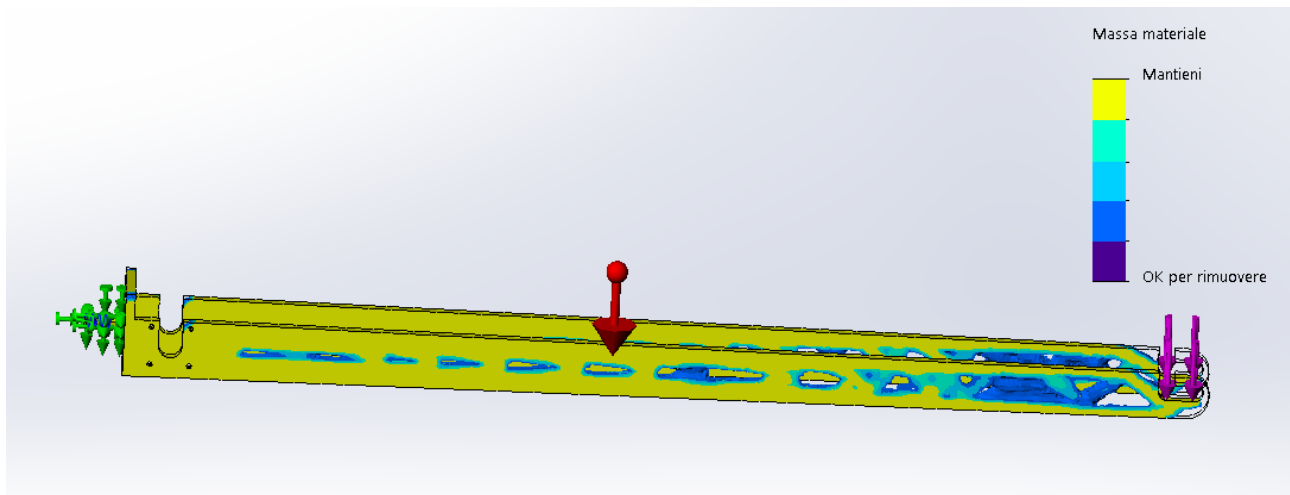


Figura 3-43: Alleggerimento

La terza procedura di analisi strutturale è una verifica dei risultati ottenuti dall'analisi FEM confrontandoli con una modellazione semplificata secondo la teoria di De Saint-Venant. Va detto che il modello di De Saint-Venant si riferisce ad una trave sottile di sezione costante, quindi ad un oggetto piuttosto differente dalla forza in questione. Per ricondursi al solido di De Saint-Venant, si sono scelte due sezioni su cui effettuare la verifica strutturale.

Rifacendosi a Figura 3-44, la sezione A è quella prossima all'incastro, è una sezione circolare di diametro 10 mm e l'asta conseguente sarà caricata di tutto il peso della forza stessa e dei vassoi ricevuti; la sezione B è rettangolare con $h = 13$ mm e $b = 7$ mm e la trave corrispondente ad essa sarà considerata incastrata all'inizio dell'intaglio e sarà caricata di metà del peso della forza + metà del peso del prodotto.

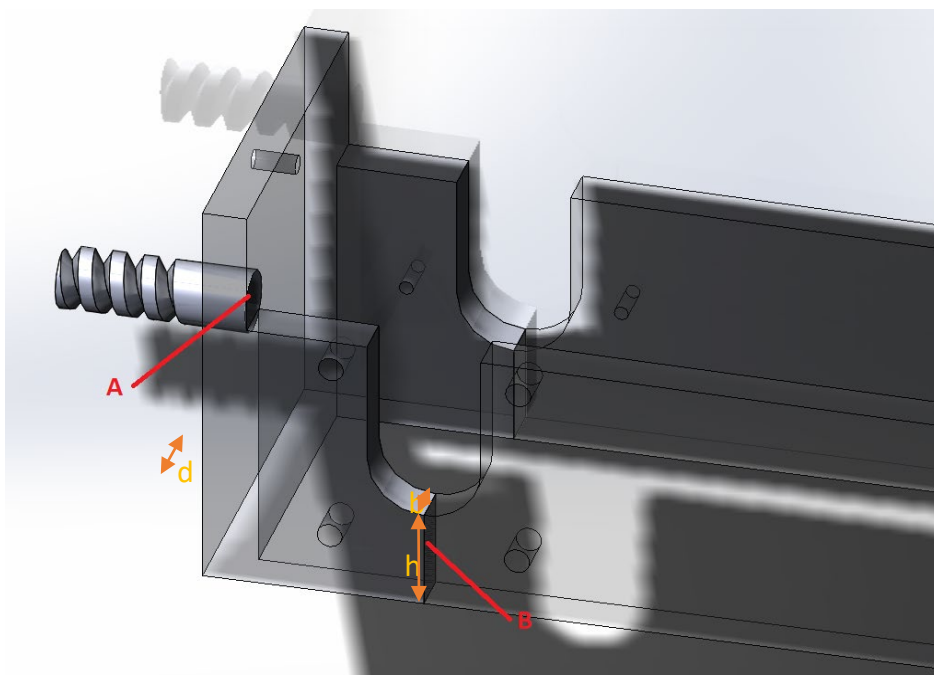


Figura 3-44: Sezioni

La forza intera con le relative quote espresse in mm è riportata in Figura 3-47.

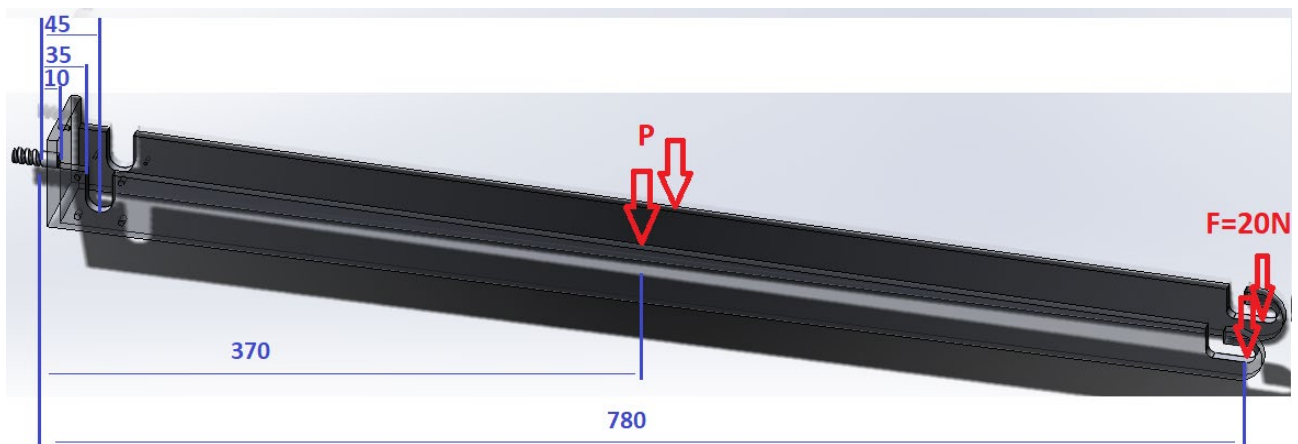


Figura 3-47: Quote

Per il calcolo delle sollecitazioni sono utilizzati il procedimento e le convenzioni dei segni riportati sul libro Fondamenti di Meccanica strutturale (Curti & Curà, 2006)

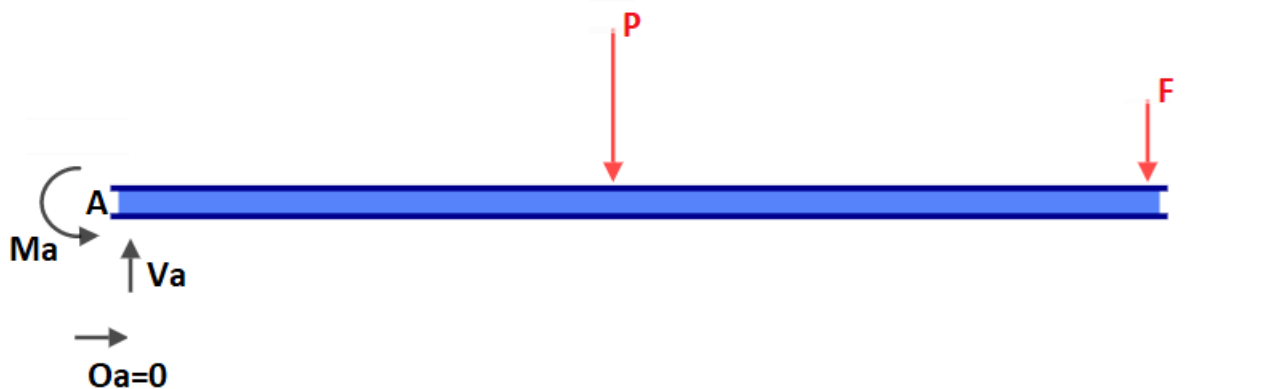


Figura 3-46: Diagramma di corpo libero

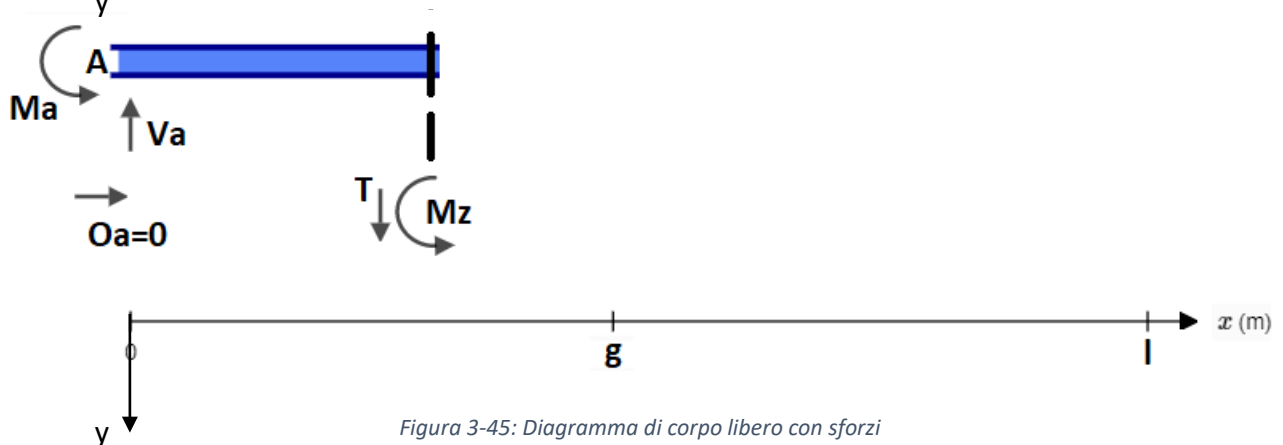


Figura 3-45: Diagramma di corpo libero con sforzi

- Sezione A: asta

$$P = 36 \text{ N}$$

$$F = 20 \text{ N}$$

$$l = 0,78 \text{ m}$$

$$g = 0,37 \text{ m}$$

$$d = 0,01 \text{ m}$$

$$x = 0,01 \text{ m}$$



$$Oa = 0$$

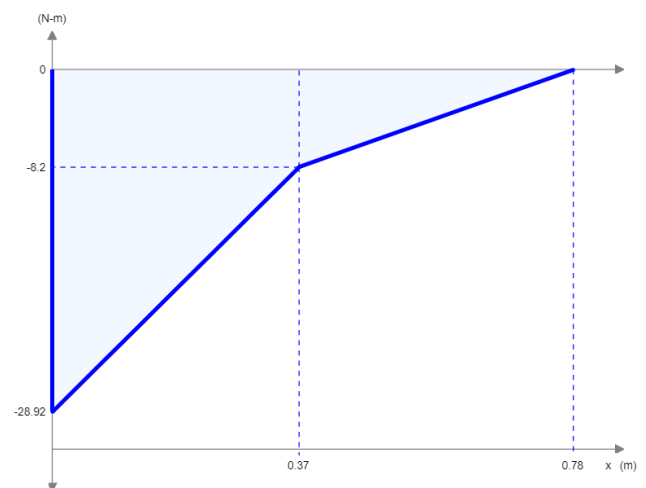
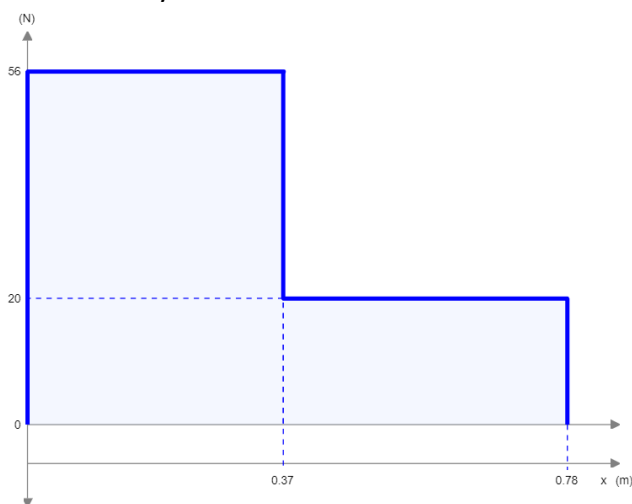
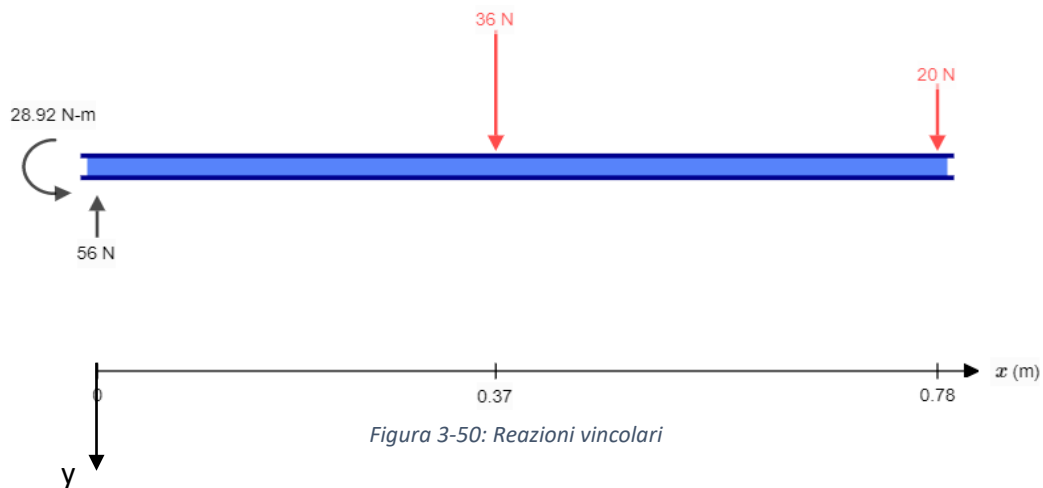
$$Va = P + F$$

$$Ma = Mp + Mf = P * g + F * l$$

$$T = Va$$

$$Mz = -Ma + T * x$$

I risultati sono illustrati in Figura 3-49, Figura 3-48, Figura 3-50.



Il momento flettente a 10 mm dal punto di incastro è pari a 28,36 Nm. La tensione risultante è stata così calcolata:

$$\sigma_{x_{max}} = -\frac{M_z}{I_z} * y_{max}$$

$$I_z = \frac{\pi * d^4}{64}$$

$$y_{max} = \frac{d}{2}$$

da cui

$$\sigma_{x_{max}} = -\frac{M_z * 32}{\pi * d^3}$$

per una tensione

$$\sigma_{x_{max}} = 289 \text{ Mpa}$$

Ad essa non vanno aggiunte altre tensioni poiché, in assenza di torsioni, lo sforzo di taglio è nullo ove il momento flettente è massimo e viceversa; tra i due si esamina il più pericoloso, ovvero il momento flettente.

- Sezione B: trave

$$P = 15 \text{ N}$$

$$F = 10 \text{ N}$$

$$l = 0,78 \text{ m} - 0,035 \text{ m} = 0,745 \text{ m}$$

$$g = 0,37 \text{ m} - 0,035 \text{ m} = 0,335 \text{ m}$$

$$h = 0,013 \text{ m}$$

$$b = 0,007 \text{ m}$$

$$x = 0,01 \text{ m}$$



$$Oa = 0$$

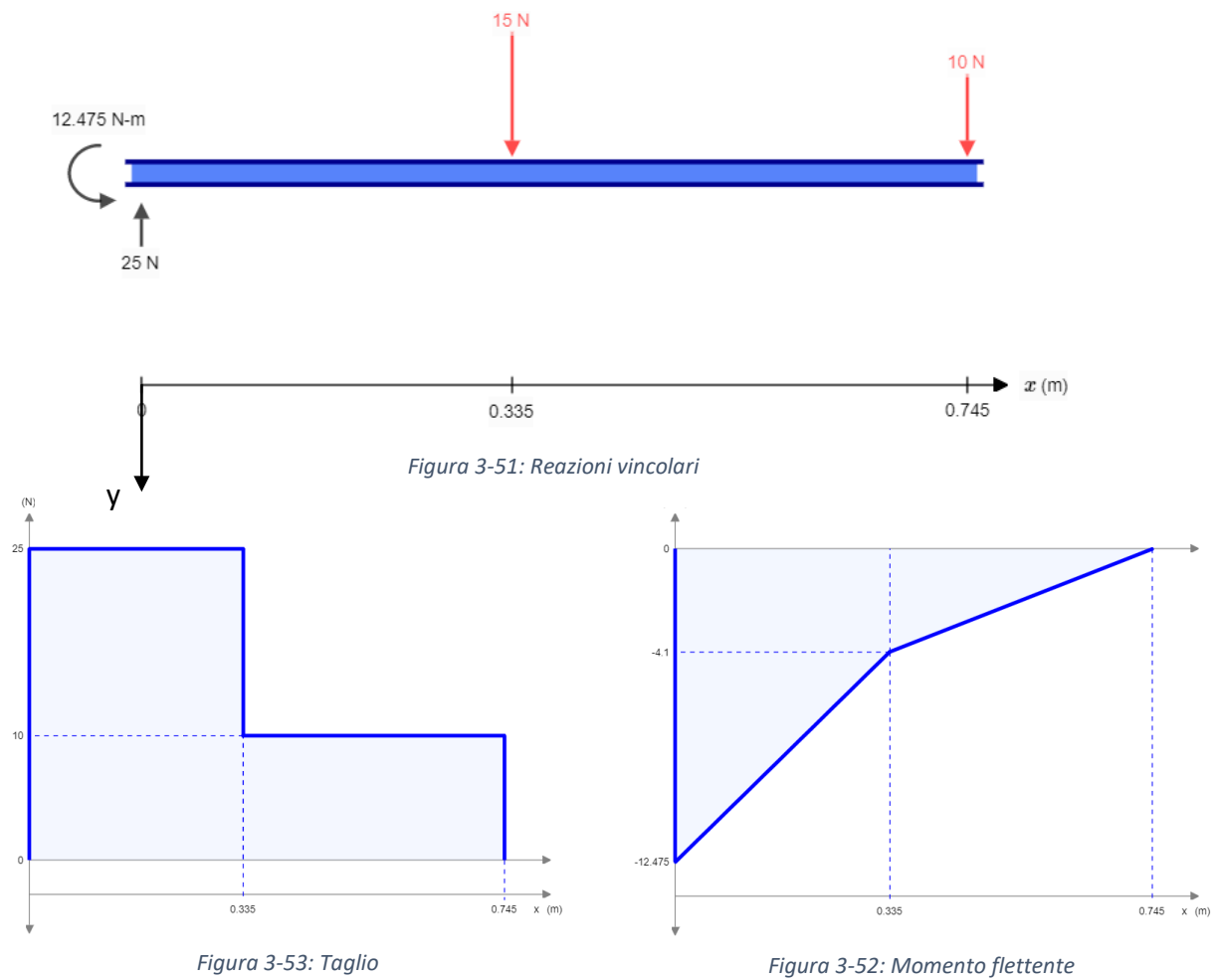
$$Va = P + F$$

$$Ma = Mp + Mf = P * g + F * l$$

$$T = Va$$

$$Mz = -Ma + T * x$$

I risultati sono illustrati in Figura 3-51, Figura 3-53, Figura 3-52.



Il momento flettente a 10 mm dal punto di incastro è pari a 12,23 Nm. La tensione risultante è stata così calcolata:

$$\sigma_{x_{max}} = -\frac{Mz}{I_z} * y_{max}$$

$$I_z = \frac{b * h^3}{12}$$

$$y_{max} = \frac{h}{2}$$

da cui

$$\sigma_{x_{max}} = -\frac{Mz * 6}{b * h^2}$$

per una tensione

$$\sigma_{x_{max}} = 48 \text{ Mpa}$$

- Analisi dei risultati

	SEZIONE A	SEZIONE B
Solidworks	c.ca 90 MPa	c.ca 60 Mpa
De Saint-Venant	c.ca 290 Mpa	c.ca 50 Mpa

In un primo momento si è pensato che la differenza di risultati ottenuti sulla sezione A dipendesse dall'inadeguatezza delle ipotesi di De Saint-Venant a rappresentare l'oggetto in questione. Dopo aver esaminato la vicinanza dei risultati ottenuti sulla sezione B, tuttavia, si è deciso di approfondire l'indagine. Tale revisione si è rivelata fondamentale per individuare un'errata definizione dell'incastro, che era stato impostato su tutto l'inserito a sezione circolare che collega la forza alle slitte lineari.

Ridefinendo il vincolo come incastro sulla sola parte filettata, è finalmente possibile vedere anche con Solidworks Simulation quali sono gli sforzi calcolati a cui è sottoposta la sezione A.

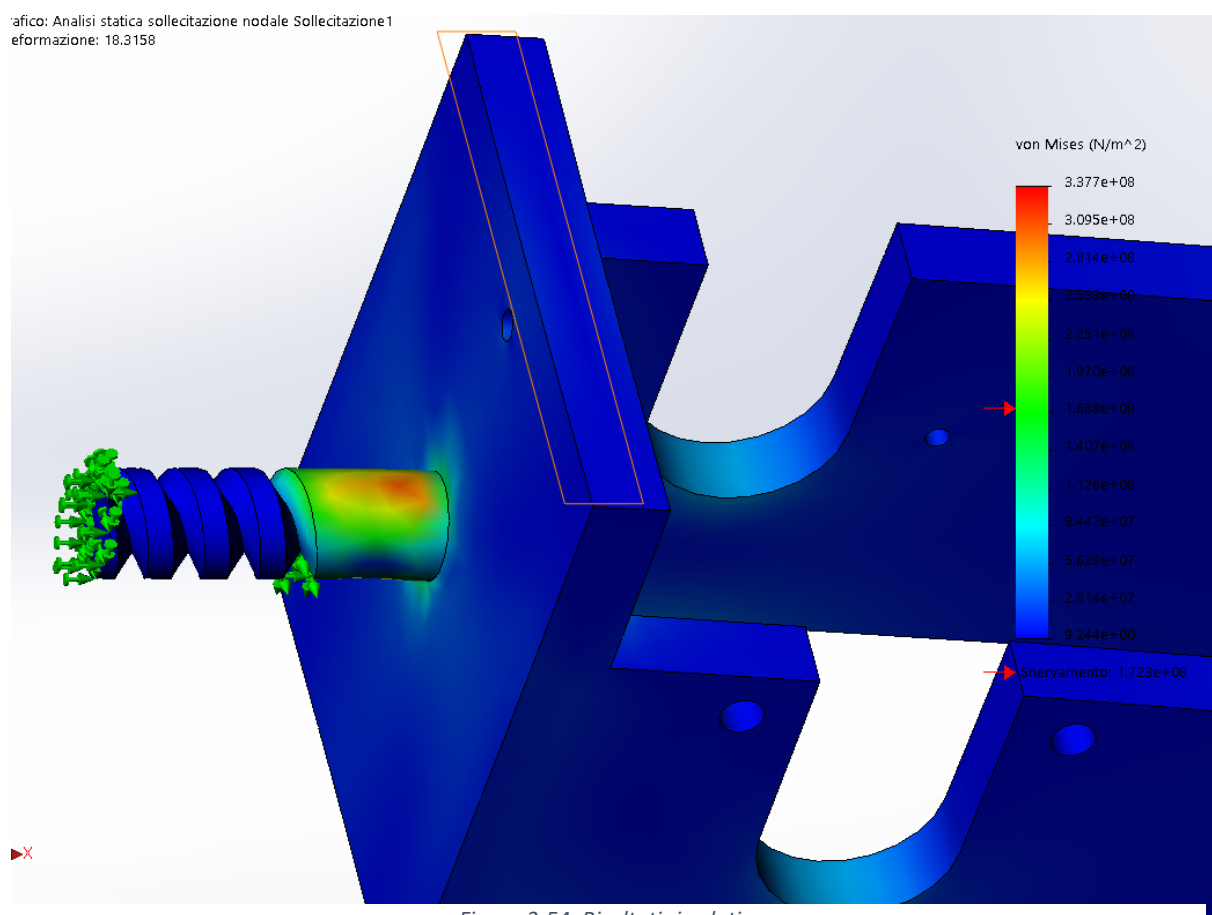


Figura 3-54: Risultati riveduti

La freccia rossa a metà della legenda colorata sta ad indicare la tensione di snervamento del materiale: il pezzo in esame non è più in sicurezza.

	SEZIONE A	SEZIONE B
Solidworks	c.ca 340 MPa	c.ca 60 Mpa
De Saint-Venant	c.ca 290 Mpa	c.ca 50 Mpa

Nella tabella aggiornata si può osservare come, al netto di fattori di intaglio e di concentrazione degli sforzi, i risultati ottenuti con i due diversi metodi siano confrontabili.

Per intervenire su un coefficiente di sicurezza che si presenta minore di 1 in alcune sezioni, si sono identificate tre strade percorribili singolarmente o in contemporanea:

1. Cambiare acciaio utilizzandone uno con una tensione di snervamento superiore ai 170 MPa;
2. Irrobustire l'inserto (si è calcolato con De Saint-Venant che passare da $d=10\text{ mm}$ a $d=12\text{ mm}$ porterebbe una diminuzione della tensione massima di circa 35%)
3. Cambiare la forma dell'inserto con un raccordo.

Si è deciso di percorrere la terza strada, con i risultati mostrati in Figura 3-55.

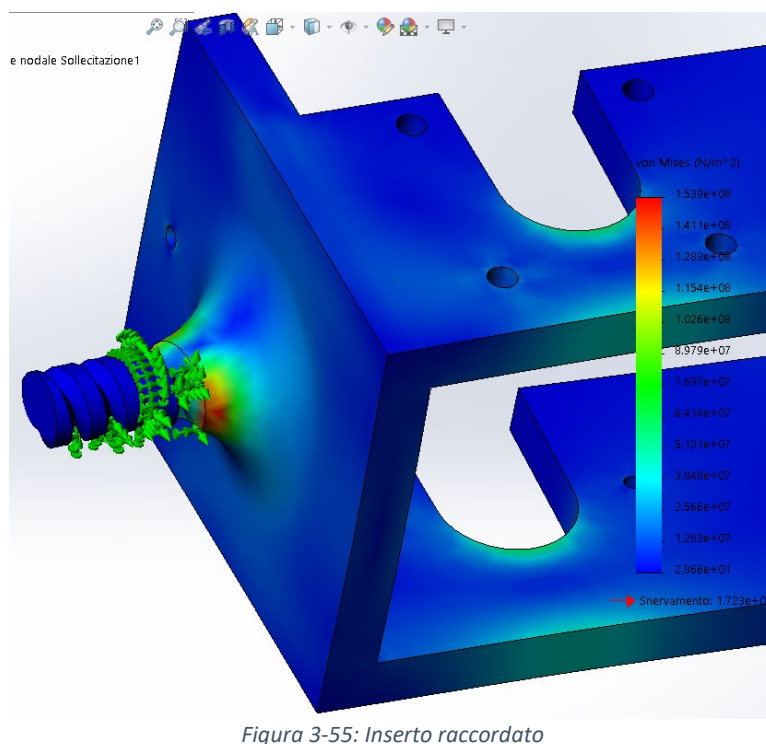


Figura 3-55: Inserto raccordato

Il pezzo non è soggetto a rottura, pur esibendo delle zone in cui il coefficiente di sicurezza (FOS) è inferiore a 3 (valore scelto arbitrariamente per evidenziare le zone più a rischio), come indicato in Figura 3-56

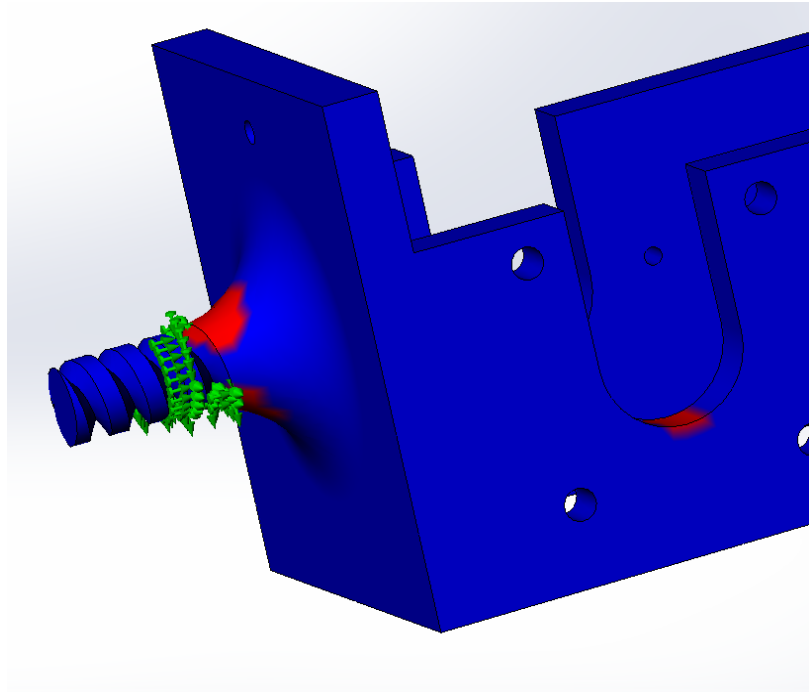


Figura 3-56: FOS < 3

Il pezzo è stato esaminato anche riguardo al suo comportamento a fatica, considerando un carico che ciclicamente vada da 0 al picco (mai inverso). Il numero di cicli annui è stato stimato come segue:

$220 \text{ gg lavorativi} \times 24 \text{ h} \times 60 \text{ minuti} \times 10 \text{ cicli/minuto} = 3168000 \text{ cicli annui}$

Come mostrato in Figura 3-57, la forza è in grado di resistere a tale sollecitazione per almeno un anno, periodo che, intercorrendo tra due manutenzioni, è ritenuto soddisfacente.

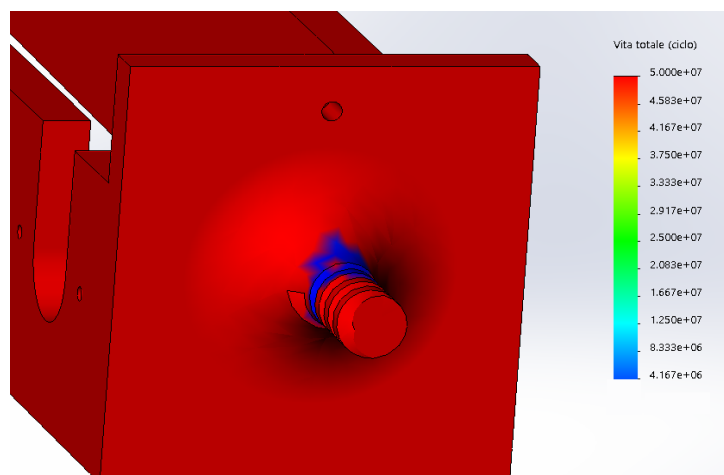


Figura 3-57: Comportamento a fatica

3.5 Controllo del gripper

3.5.1 Note introduttive

In questa sezione si tratta del controllo della raccolta dei pezzi, dalla loro uscita dalla macchina fino al loro posizionamento nelle scatole preformate.

Il robot usato per la movimentazione del gripper è un cartesiano Apiel serie CC taglia media, come quello mostrato in Figura 3-58.

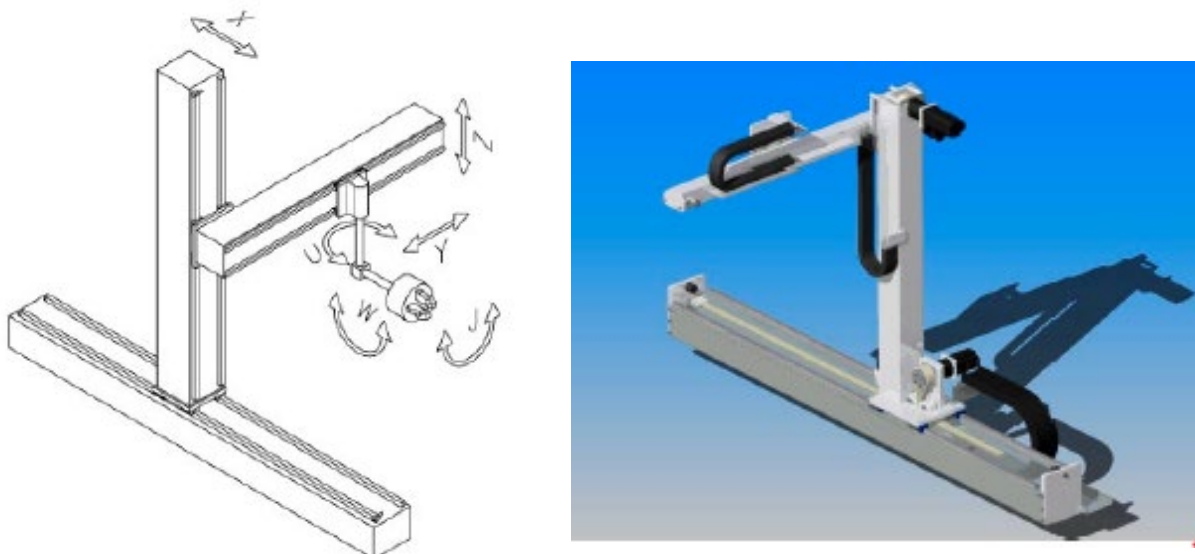


Figura 3-58: Robot cartesiano

Gli assi X, Y, Z sono controlli di posizione elettrici retroazionati, l'asse U non è al momento azionato, mentre gli assi W e J sono mossi pneumaticamente e hanno solo due posizioni: 0° e 90°.

Dal punto di vista della programmazione un robot è molto semplice da gestire, poiché viene venduto con al suo interno dei moduli di controllo già compilati, in cui inserire come input solo la posizione da raggiungere e la velocità con cui raggiungerla (o il tempo in alternativa). Le rampe di accelerazione, gli schemi di controllo e le matrici di posizione sono dati mascherati.

Non disponendo fisicamente di un robot, si è simulato il suo comportamento rispetto al PLC, inserendo un temporizzatore regolato su due secondi, dopo dei quali si suppone che il robot sia giunto a destinazione e darà quindi una risposta affermativa come output del blocco.

Un discorso analogo è stato fatto per i motori del gripper: non possedendoli fisicamente si è solo simulato il loro comportamento in risposta ai comandi dati; ciò non toglie che, una volta in possesso dei motori, si possa collegarli ad un modulo di controllo PID integrabile direttamente al PLC,

ottenendo risultati esattamente uguali nella forma a quelli che al momento vengono solamente simulati.

Il software utilizzato per la programmazione del PLC è SIMATIC – STEP7, software ufficiale della Siemens, va da sé che il programma, così come è scritto, è pensato per girare su di un PLC Siemens. La CPU impostata è del modello 317-2.

Il linguaggio utilizzato per scrivere il programma è prevalentemente GRAPH, cioè linguaggio Grafcet o SFC, tranne per alcuni blocchi di istruzioni di base scritti in KOP, ovvero in linguaggio Ladder.

Il programma è stato strutturato in diversi blocchi funzionali (FB), uno principale e molti sottoblocchi annidati a più livelli. Le variabili sono state tutte definite globalmente, senza indirizzarle a priori come input o output, il software ha provveduto autonomamente a creare dei database (DB) di istanza contenenti le variabili del singolo blocco funzionale indirizzate al posto giusto.

Il programma diventa operativo quando caricato nel blocco operativo (OB), cioè in una routine eseguita continuamente dall'accensione allo spegnimento del PLC.

Insieme al PLC, è stata anche predisposta un'interfaccia uomo-macchina che consentirà di dare alcune importanti istruzioni alla macchina automatica.

La situazione che si vuole descrivere è rappresentata in Figura 3-59.

Di seguito verranno presentati e commentati tutti i vari blocchi di programma, elencati in Figura 3-60.

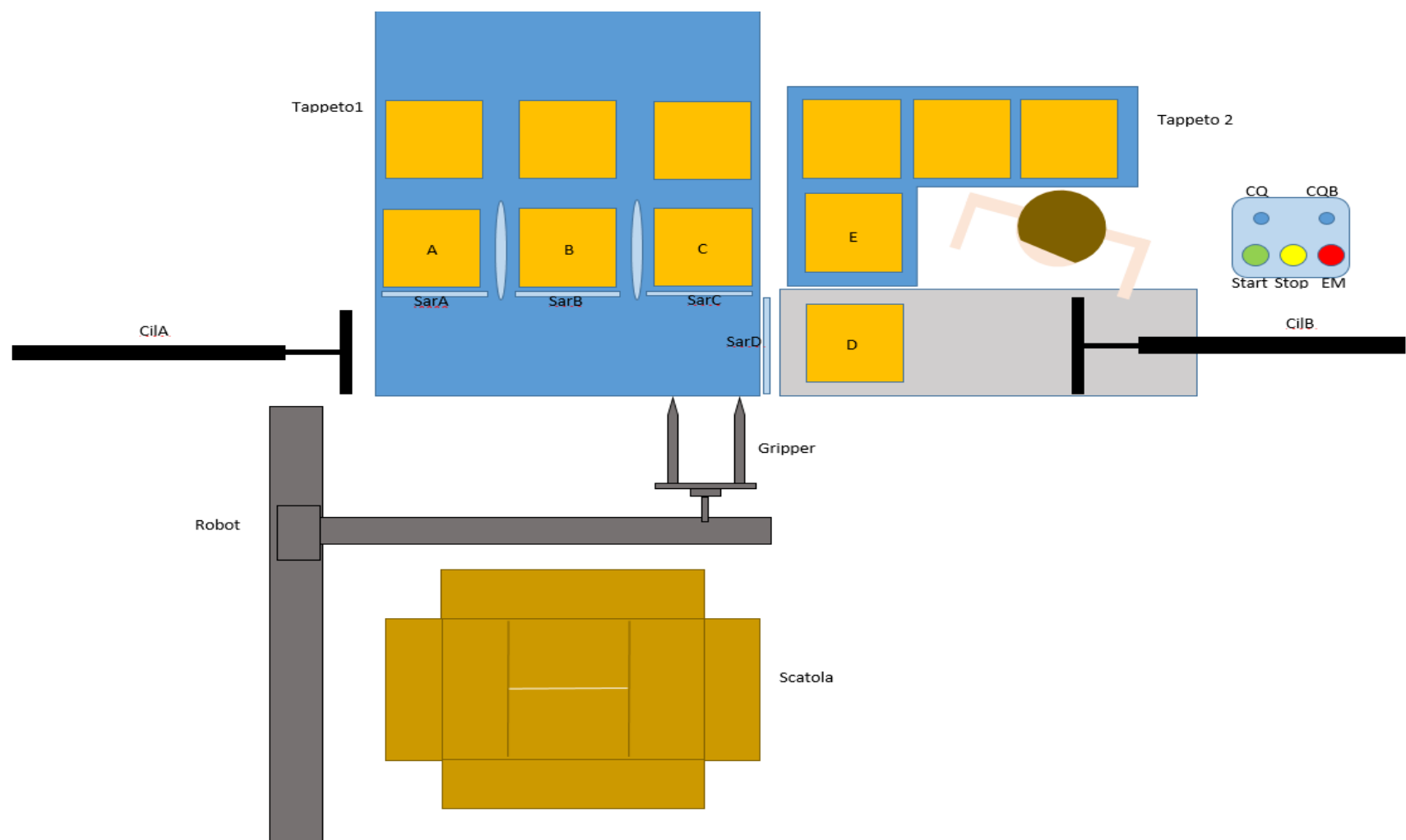


Figura 3-59: Schema isola di raccolta

Nome oggetto	Nome simbolico	Linguaggio di program	Dimensione della me
OB1	Cycle Execution	KOP	248
FB1	fbAzzeramento	KOP	104
FB2	fbRobot	KOP	118
FB3	fbCinghiolo	KOP	210
FB4	fbContatori	KOP	180
FB11	fbCQ	GRAPH	540
FB12	fbCQBack	GRAPH	432
FB13	fbMessaDispo	GRAPH	820
FB14	fbImpilamento	GRAPH	436
FB15	fbPosa	GRAPH	958
FB16	fbScatFin	GRAPH	188
FB17	fbRaccolta	GRAPH	684
FB18	fbFormPiani	GRAPH	1542
FB19	fbMain	GRAPH	1170
FC72	G7_STD_3	AWL	10826
DB1	GestioneMacchina	DB	96
DB11	dbCQ	DB	646
DB12	dbCQBack	DB	702
DB13	dbMessaDispo	DB	1348
DB14	dbImpilamento	DB	646
DB15	dbPosa	DB	1118
DB16	dbScatFin	DB	336
DB17	dbRaccolta	DB	986
DB18	dbFormPiani	DB	1790
DB19	dbMain	DB	1332
DB121	dbAzzeramento	DB	36
DB122	dbRobot	DB	56
DB123	dbCinghiolo	DB	46
DB124	dbContatori	DB	36
VAT_1	VAT_1	STATUS	---
SFC17	ALARM_SQ	AWL	---
SFC18	ALARM_S	AWL	---
SFC52	WR_USMSG	AWL	---
SFC64	TIME_TCK	AWL	---

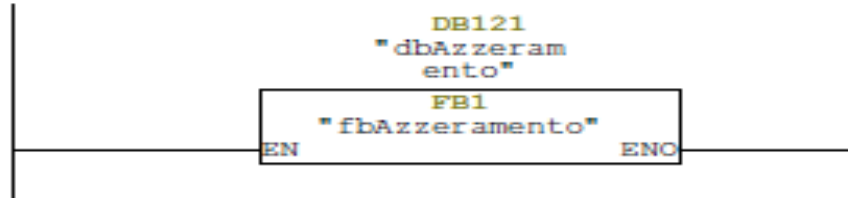
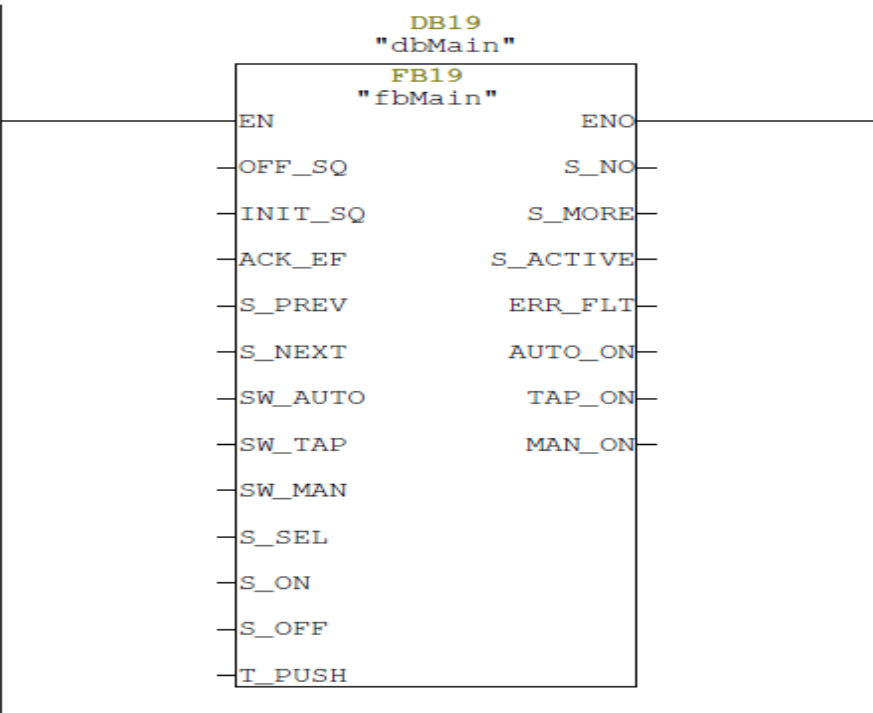
Figura 3-60: Elenco blocchi programma "Gripper"

3.5.2 Operational Block OB1

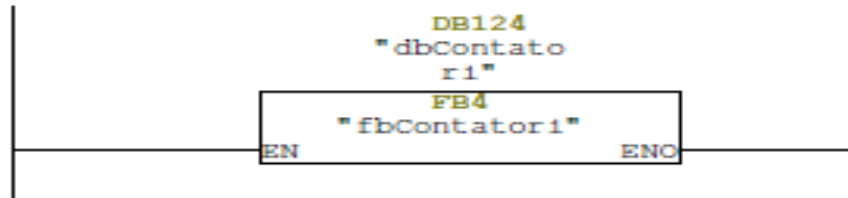
Tutto ciò che si vuole far eseguire al PLC va caricato su OB. Alcuni blocchi saranno eseguiti continuamente (ad esempio il *main*), poiché caricati senza condizioni; altri blocchi sono caricati su OB ma si attivano solo all'accadere di certe condizioni (ad esempio il blocco per l'azzeramento dei parametri). OB è scritto il linguaggio Ladder (Figura 3-61).

Blocco: OB1 "Main Program Sweep (Cycle)"

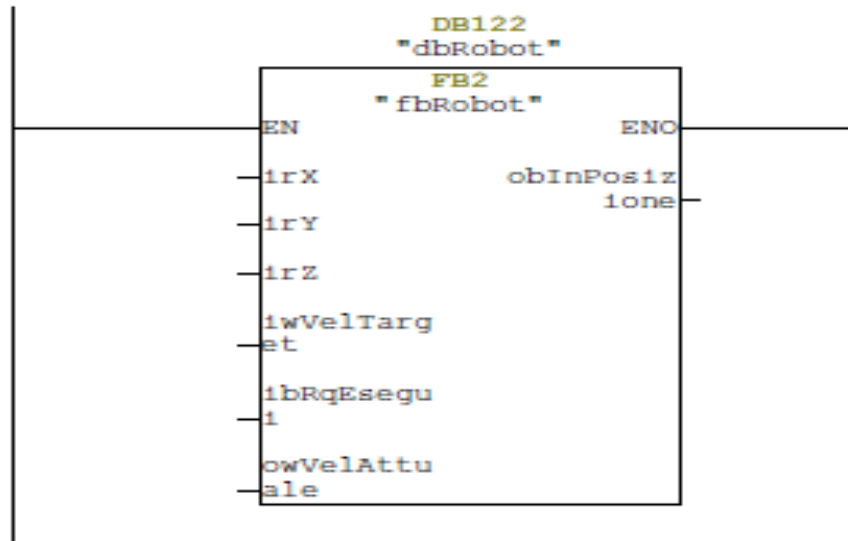
Segmento: 1



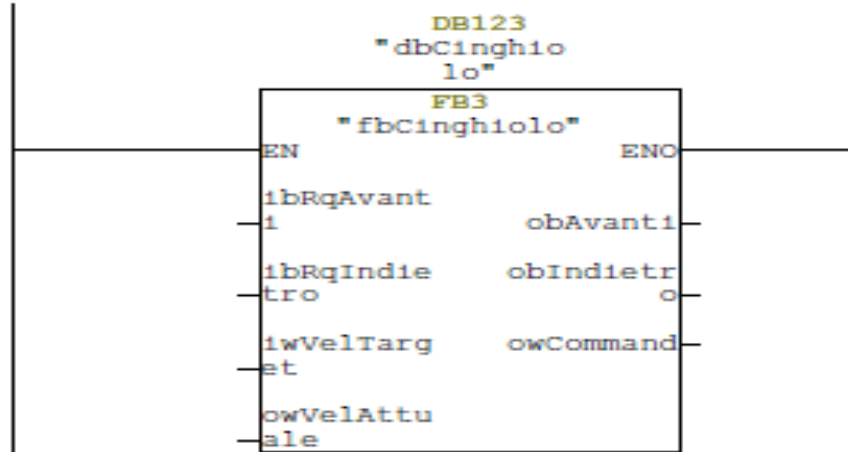
Segmento: 3 cinghiolo

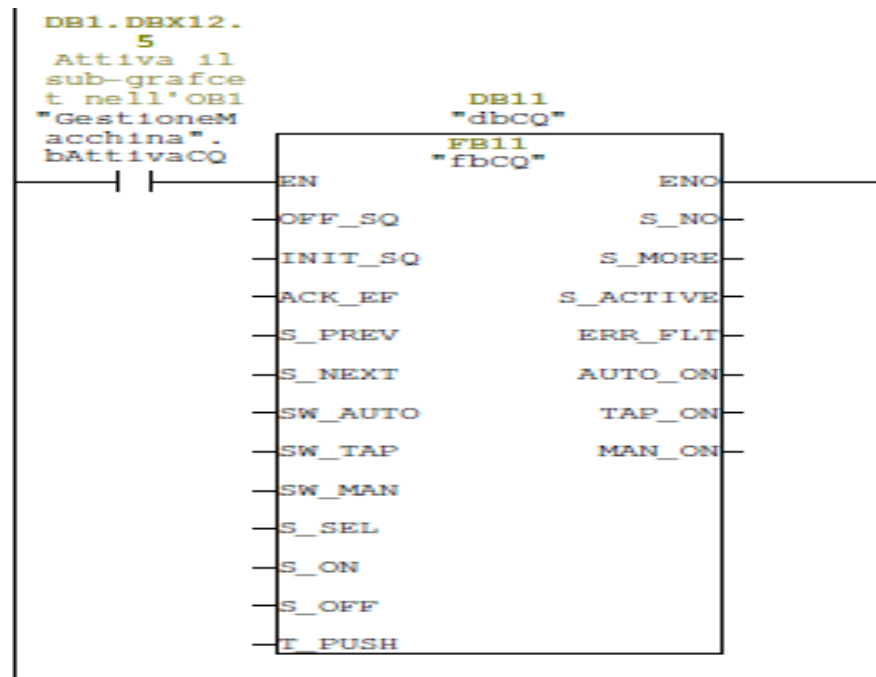


Segmento: 4

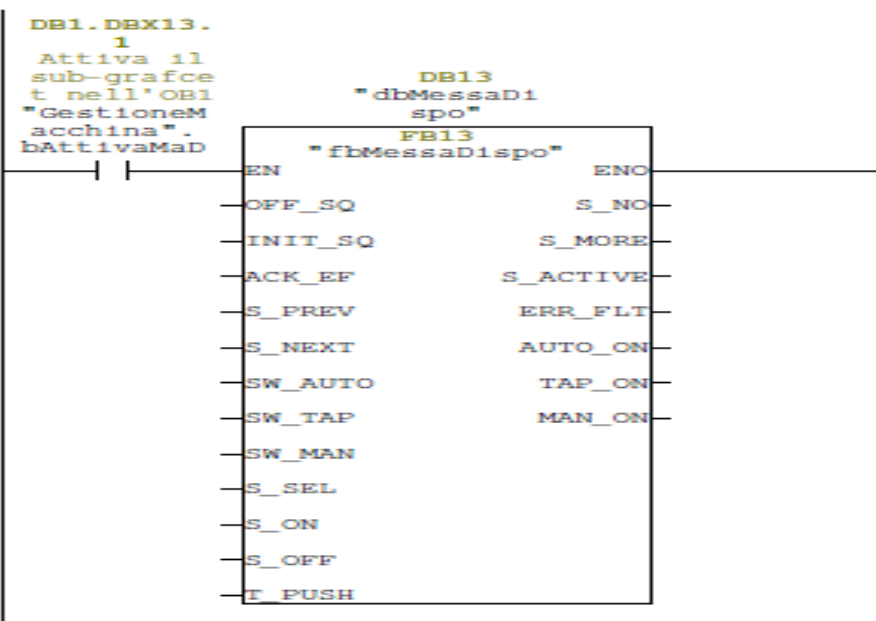
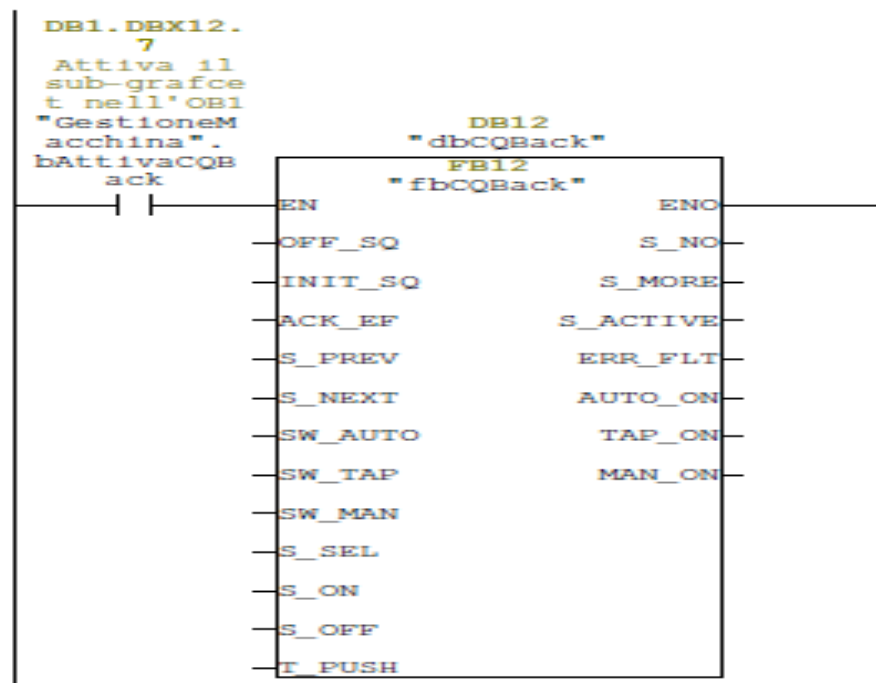


Segmento: 5

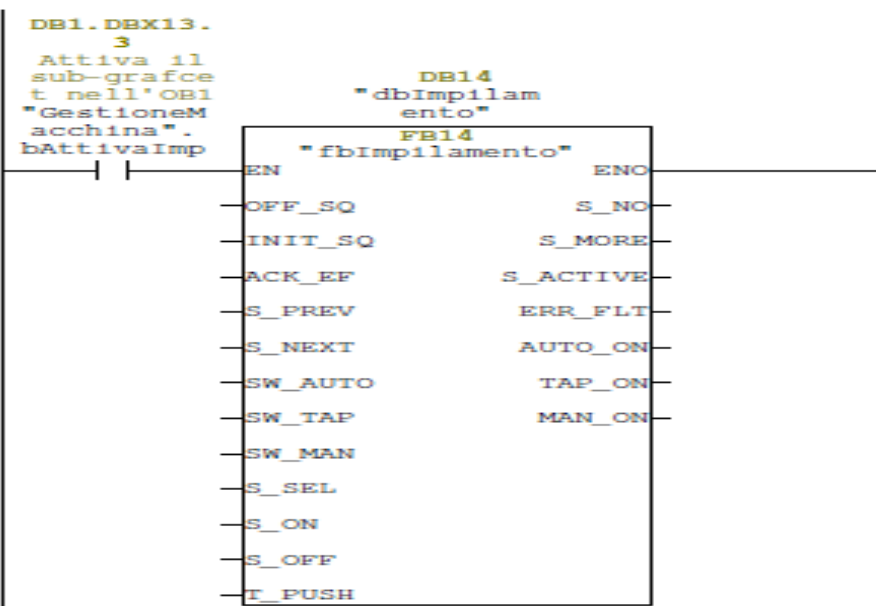


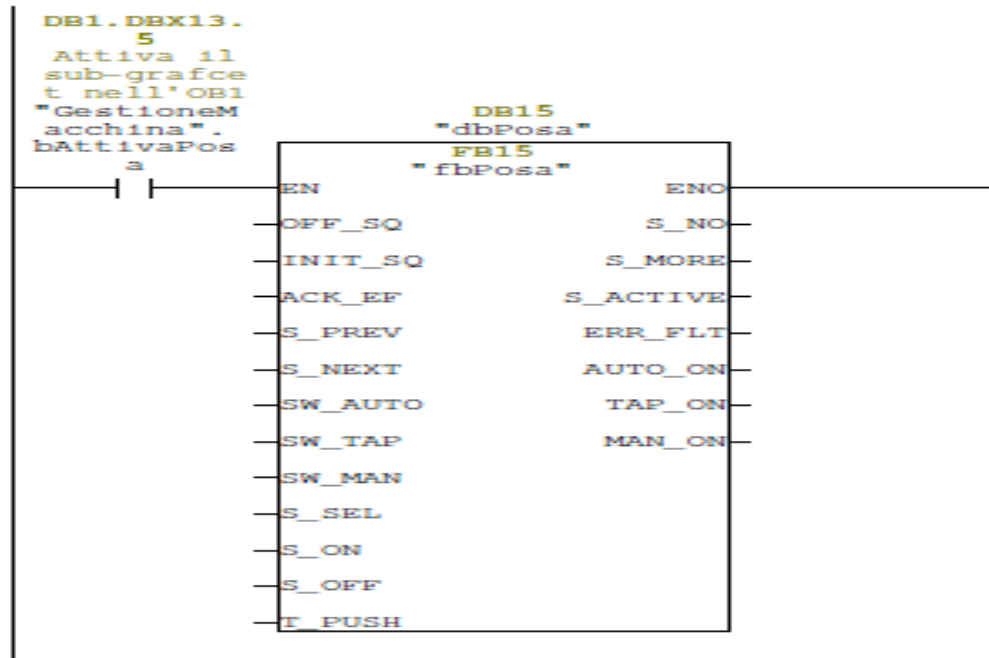


Segmento: 7

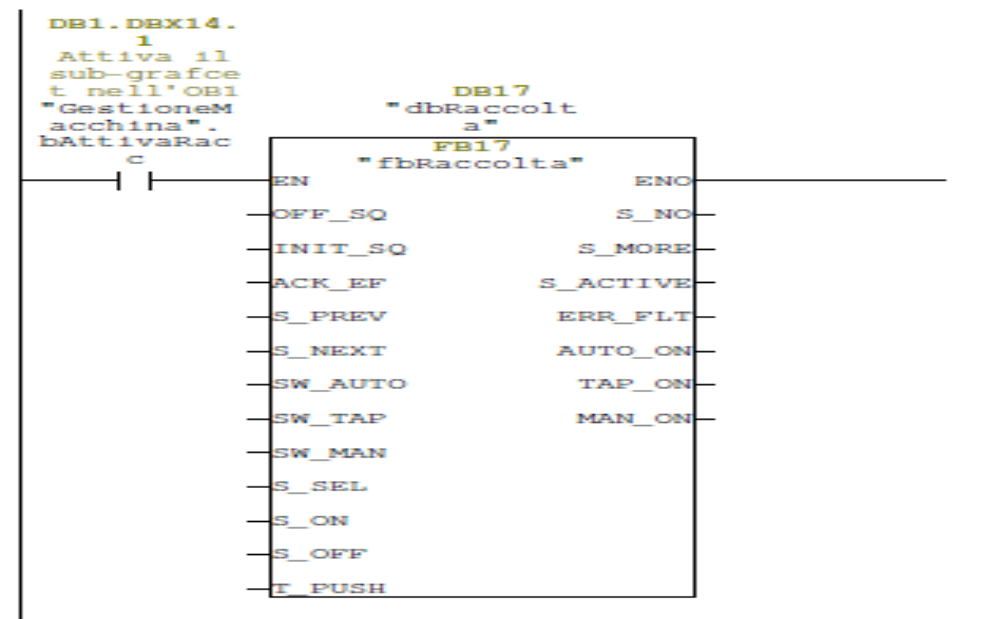
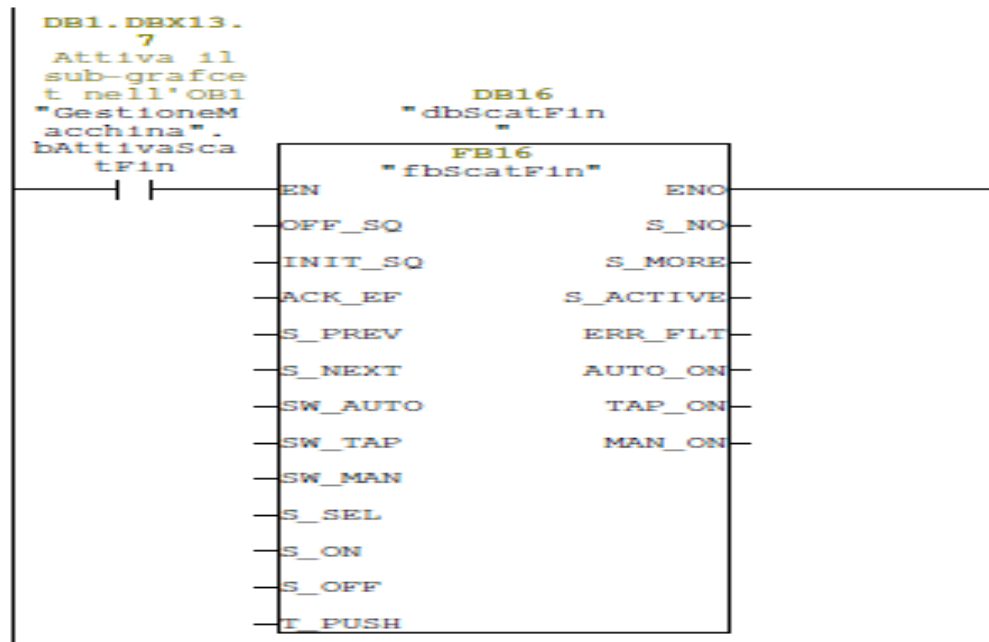


Segmento: 9





Segmento: 11



Segmento: 13

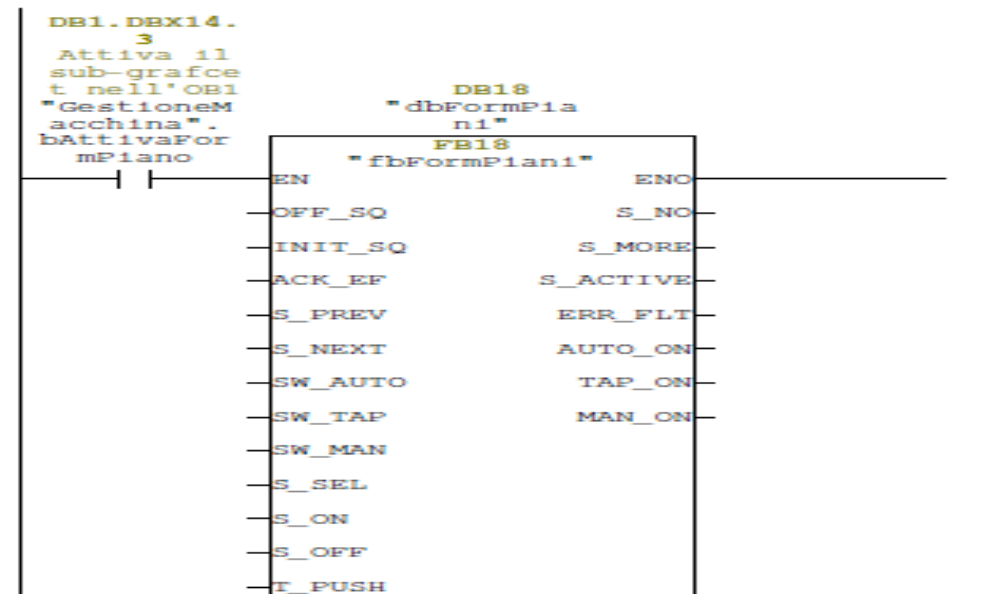


Figura 3-61: OB 1

3.5.3 Database DB1

Nel Database 1 (Figura 3-62) sono inserite tutte le variabili globali, ossia quelle variabili che interagiscono non con un singolo blocco ma con tutto il programma. Il database contiene l'indirizzo di memoria, il nome, il tipo, il valore iniziale e il commento che spiega il significato della variabile.

Indirizzo	Nome	Tipo	Valore iniziale	Commento
0.0		STRUCT		
+0.0	wStato	INT	0	Word per avanzamento se programma in ladder
+2.0	wStatoDopo	INT	0	Word per avanzamento se programma in ladder
+4.0	bRqAvvio	BOOL	FALSE	Pulsante avvio
+4.1	bRqArresto	BOOL	FALSE	Pulsante arresto
+4.2	bRqCQ	BOOL	FALSE	Pulsante richiesta CQ
+4.3	bRqCQ_back	BOOL	FALSE	Pulsante richiesta rimmissione post CQ
+4.4	bRqEseguiRobot	BOOL	FALSE	comando per il robot per giungere a coordinate impostate
+4.5	bRobotEseguito	BOOL	FALSE	quando il robot arriva in posizione lo comunica
+4.6	bRqCinghioliAvanti	BOOL	FALSE	quando attivo i cinghioli portano i pezzi dentro al gripper
+4.7	bRqCinghioliIndietro	BOOL	FALSE	quando attivo i cinghioli portano i pezzi fuori dal gripper
+5.0	bTroppaCoda1	BOOL	FALSE	sensore per segnalare troppa coda di pezzi sul tappeto 1
+5.1	bAlarmTroppaCoda1	BOOL	FALSE	allarme che si accenda per troppa coda
+5.2	bScatolaPiena	BOOL	FALSE	lampadina-chiamata a sostituire scatola
+5.3	bPresenzaScatola	BOOL	FALSE	presenza scatola da riempire
+5.4	bAzzeramento	BOOL	FALSE	attiva il function block di azzeramento contatori
+5.5	bPresA	BOOL	FALSE	presenza pezzi sul tappeto della macchina prima delle saracinesche
+5.6	bPresB	BOOL	FALSE	presenza pezzi sul tappeto della macchina prima delle saracinesche
+5.7	bPresC	BOOL	FALSE	presenza pezzi sul tappeto della macchina prima delle saracinesche
+6.0	bPresD	BOOL	FALSE	presenza pezzi pronti per la rimmissione dopo il controllo qualità
+6.1	bPresE	BOOL	FALSE	presenza pezzi sul tappeto 2 in attesa di rimmissione dopo il controllo qualità
+6.2	bPresPezziGripper	BOOL	FALSE	presenza di pezzi in battuta sul gripper
+6.3	bPresFronto	BOOL	FALSE	uscita a disposizione in posizione per la pinza
+6.4	bSarA_0	BOOL	FALSE	Saracinesca chiusa
+6.5	bSarA_1	BOOL	FALSE	Saracinesca aperta
+6.6	bSarB_0	BOOL	FALSE	Saracinesca chiusa
+6.7	bSarB_1	BOOL	FALSE	Saracinesca aperta
+7.0	bSarC_0	BOOL	FALSE	Saracinesca chiusa
+7.1	bSarC_1	BOOL	FALSE	Saracinesca aperta
+7.2	bSarD_0	BOOL	FALSE	Saracinesca chiusa
+7.3	bSarD_1	BOOL	FALSE	Saracinesca aperta
+7.4	bSarA_in	BOOL	FALSE	Saracinesca chiude
+7.5	bSarA_out	BOOL	FALSE	Saracinesca apre
+7.6	bSarB_in	BOOL	FALSE	Saracinesca chiude
+7.7	bSarB_out	BOOL	FALSE	Saracinesca apre
+8.0	bSarC_in	BOOL	FALSE	Saracinesca chiude
+8.1	bSarC_out	BOOL	FALSE	Saracinesca apre
+8.2	bSarD_in	BOOL	FALSE	Saracinesca chiude
+8.3	bSarD_out	BOOL	FALSE	Saracinesca apre
+8.4	bSarD_proxy	BOOL	FALSE	quando sarD è chiusa vede arrivare i pezzi da raccogliere e stoppa cila
+8.5	bTap1_step	BOOL	FALSE	Il tappeto deve fare un passo (output rivolto alla termoformatrice)
+8.6	bTap2_step	BOOL	FALSE	Il tappeto deve fare un passo (output rivolto alla termoformatrice)
+8.7	bTap1_passo_fatto	BOOL	FALSE	Il tappeto si è mosso di un passo (input di conferma dalla termoform)
+9.0	bTap2_passo_fatto	BOOL	FALSE	Il tappeto si è mosso di un passo (input di conferma dalla termoform)
+9.1	bCila_0	BOOL	FALSE	cilindro ritratto
+9.2	bCila_1	BOOL	FALSE	cilindro completamente esteso
+9.3	bCilB_0	BOOL	FALSE	cilindro ritratto
+9.4	bCilB_1	BOOL	FALSE	cilindro completamente esteso
+9.5	bCila_in	BOOL	FALSE	cilindro rientra
+9.6	bCila_out	BOOL	FALSE	cilindro esce
+9.7	bCilB_in	BOOL	FALSE	cilindro rientra
+10.0	bCilB_out	BOOL	FALSE	cilindro esce
+10.1	bAsta_su	BOOL	FALSE	Le aste salgono
+10.2	bAsta_giu	BOOL	FALSE	Le aste scendono
+10.3	bforche_su	BOOL	FALSE	le forche salgono
+10.4	bforche_giu	BOOL	FALSE	le forche scendono
+10.5	bAsta_in	BOOL	FALSE	le forche rientrano
+10.6	bAsta_out	BOOL	FALSE	le aste escono
+10.7	bAsta_0	BOOL	FALSE	asta tutte ritratte

Indirizzo	Nome	Tipo	Valore iniziale	Commento
+11.0	bAsta_1	BOOL	FALSE	asta tutta fuori
+11.1	bRot1_avanti	BOOL	FALSE	rotazione da 0 a 90°
+11.2	bRot1_indietro	BOOL	FALSE	rotazione da 90 a 0°
+11.3	bRot1_0	BOOL	FALSE	finecorsa posizione 0°
+11.4	bRot1_90	BOOL	FALSE	finecorsa posizione 90°
+11.5	bRot2_avanti	BOOL	FALSE	rotazione da 0 a 90°
+11.6	bRot2_indietro	BOOL	FALSE	rotazione da 90 a 0°
+11.7	bRot2_0	BOOL	FALSE	finecorsa posizione 0°
+12.0	bRot2_90	BOOL	FALSE	finecorsa posizione 90°
+12.1	bEsistenza_Rot2	BOOL	FALSE	Messo a 1 solo per i pilotti inscatolati di trav erso
+12.2	bRqContatoreU	BOOL	FALSE	serve per attivare blocco che incrementa di uno
+12.3	bRqContatorePil	BOOL	FALSE	serve per attivare blocco che incrementa di uno
+12.4	bRqContatorePian	BOOL	FALSE	serve per attivare blocco che incrementa di uno
+12.5	bAttivaCQ	BOOL	FALSE	Attiva il sub-grafcet nell'OB1
+12.6	bCQ_ok	BOOL	FALSE	Segnala la fine del sub-grafcet
+12.7	bAttivaCQBack	BOOL	FALSE	Attiva il sub-grafcet nell'OB1
+13.0	bCQBack_ok	BOOL	FALSE	Segnala la fine del sub-grafcet
+13.1	bAttivaMaD	BOOL	FALSE	Attiva il sub-grafcet nell'OB1
+13.2	bMaD_ok	BOOL	FALSE	Segnala la fine del sub-grafcet
+13.3	bAttivaImp	BOOL	FALSE	Attiva il sub-grafcet nell'OB1
+13.4	bImp_ok	BOOL	FALSE	Segnala la fine del sub-grafcet
+13.5	bAttivaPosa	BOOL	FALSE	Attiva il sub-grafcet nell'OB1
+13.6	bPosa_ok	BOOL	FALSE	Segnala la fine del sub-grafcet
+13.7	bAttivaScatFin	BOOL	FALSE	Attiva il sub-grafcet nell'OB1
+14.0	bScatFin_ok	BOOL	FALSE	Segnala la fine del sub-grafcet
+14.1	bAttivaRacc	BOOL	FALSE	Attiva il sub-grafcet nell'OB1
+14.2	bRacc_ok	BOOL	FALSE	Segnala la fine del sub-grafcet
+14.3	bAttivaFormPiano	BOOL	FALSE	Attiva il sub-grafcet nell'OB1
+14.4	bFormPiano_ok	BOOL	FALSE	Segnala la fine del sub-grafcet
+14.5	bEmergenza	BOOL	FALSE	arresta il ciclo
+16.0	wU_max	INT	0	numeri impostati dall'operatore
+18.0	wPil_max	INT	0	numeri impostati dall'operatore
+20.0	wPia_max	INT	0	numeri impostati dall'operatore
+22.0	wUscita	INT	0	indica l'uscita che la pinza sta ricevendo/impil ando
+24.0	wPilotto	INT	0	indica il pilotto che la pinza sta formando/posi zionando nella scatola
+26.0	wPiano	INT	0	indica il piano della scatola che si sta compone ndo
+28.0	wAsta_h_fb	INT	0	indica in millimetri di altezza delle aste letti su una banda ottica
+30.0	wForche_h_fb	INT	0	indica in millimetri di altezza delle forche let ti su una banda ottica
+32.0	wh_0	INT	0	altezza in mm a cui le forche si infilano sotto i pezzi
+34.0	wh_1	INT	0	altezza in mm a cui le forche portano i pezzi as pettando una nuova uscita
+36.0	wh_2	INT	0	h_1-delta_h
+38.0	wh_3	INT	0	altezza chiusura forche su pilotto
+40.0	wh_4	INT	0	altezza forche lievemente superiore ad h 3 per l iberare i pezzi
+42.0	wh_5	INT	0	massima apertura forche
+44.0	wdelta_h	INT	0	Piccola discesa aste per appoggiare uscita prece dente su attuale
+46.0	wX0	INT	0	Posizione di raccolta
+48.0	wY0	INT	0	Posizione di raccolta
+50.0	wZ0	INT	0	Posizione di raccolta
+52.0	wX1	INT	0	Posizione intermedia
+54.0	wY1	INT	0	Posizione intermedia
+56.0	wZ1	INT	0	Posizione intermedia
+58.0	wZ2	INT	0	Posa in scatola
-60.0		END_STRUCT		

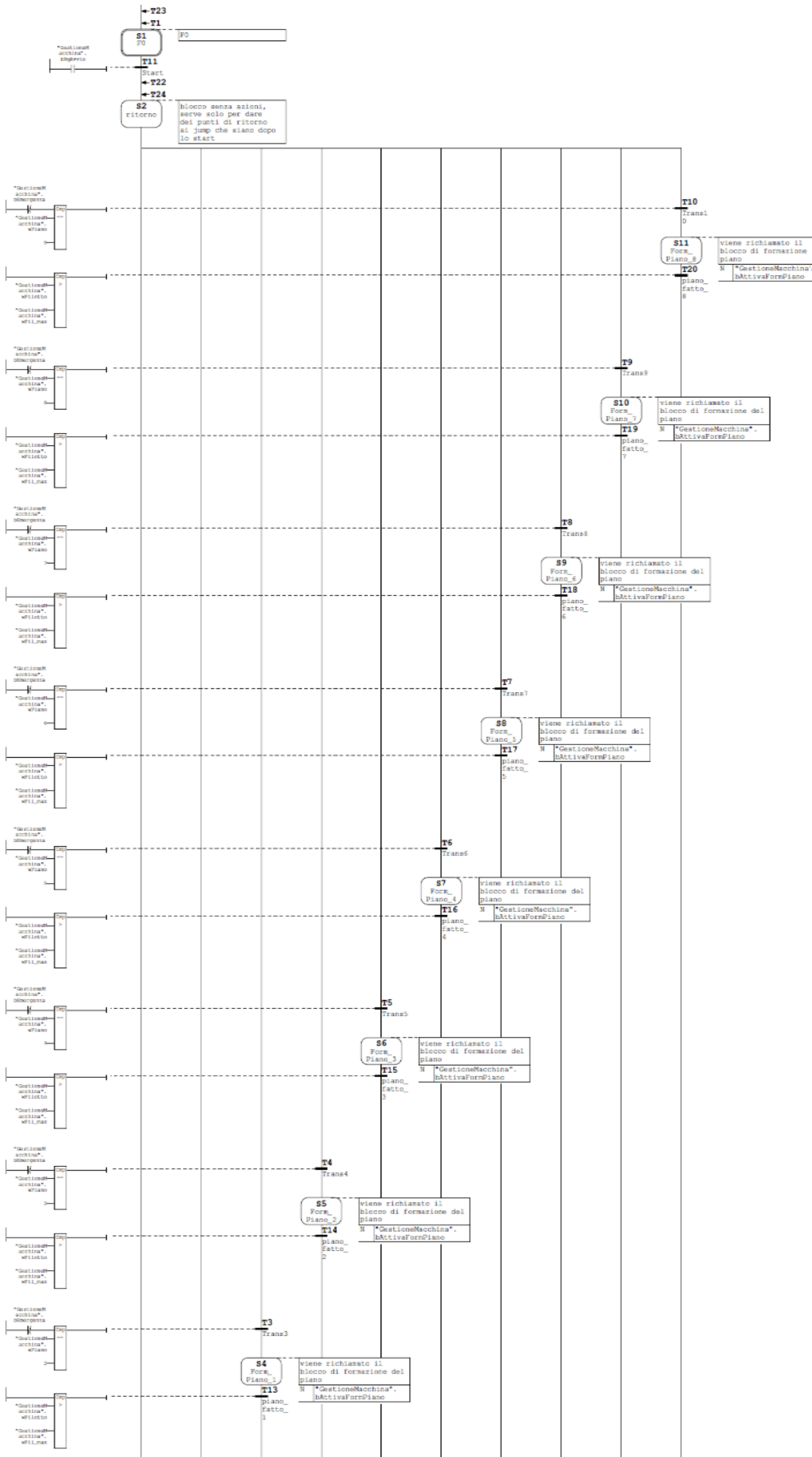
Figura 3-62: DB 1

3.5.4 Main

Il Main è il cuore del programma, perché da esso dipende l'esecuzione di tutti i sottoblocchi del programma. Il main si divide in 10 rami alternativi, 9 di essi rappresentano i piani in cui si può andare a suddividere la scatola, mentre il 10° è un'interruzione di emergenza. Dopo la formazione del piano il programma lo conta e lo confronta ad un numero massimo impostato: si può svolgere immediatamente un altro ciclo (il piano non era l'ultimo) o si può segnalare che la scatola è piena ed aspettare la scatola vuota prima di ricominciare il ciclo con i contatori riazzerati. Grazie al main è anche possibile avviare e stoppare la macchina.

Lo schema globale ramificato si presenta come segue (Figura 3-63):

Main: per non essendo ancora impostati, l'idea che sta sotto a questa struttura è la possibilità di impostare parametri diversi per ogni pilota di ogni piano.



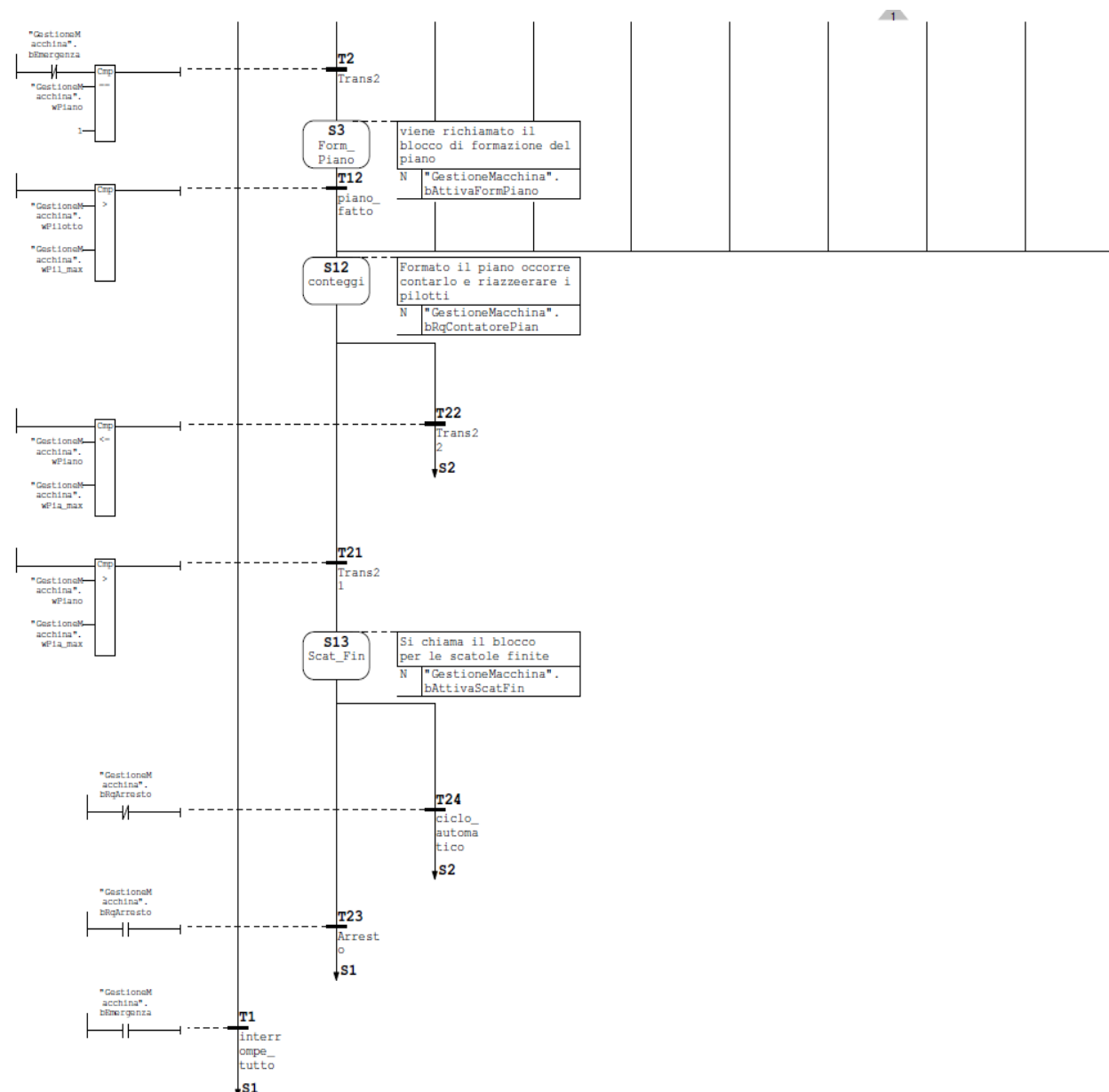


Figura 3-63: Main

I sottoblocchi utilizzati sono “Forma_Piano” e “Scat_Fin”

L’inizio del Main (Figura 3-65) è il punto a cui ritornano le varie funzioni *jump*, cioè in linguaggio SFC vero e proprio sarebbe il punto di ricongiungimento degli archi orientati dei cicli. Alcuni di questi *jump* ritornano prima dello start, è perciò necessario riavviare la macchina per far procedere il programma, mentre gli altri *jump*, arrivando a valle di *start*, consentono al programma di continuare a girare autonomamente.

La fine del Main (Figura 3-64) contiene il *jump* per procedere col ciclo automatico, ma anche le opzioni di arresto o emergenza e la segnalazione di scatola piena.

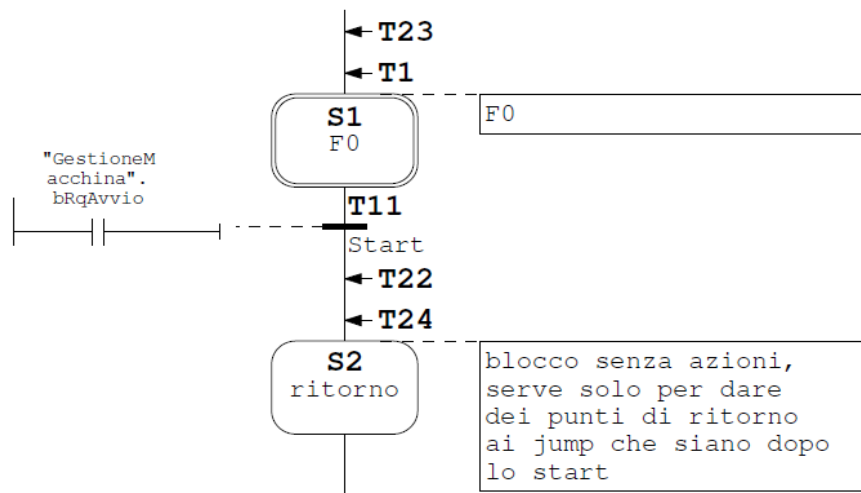


Figura 3-65: Inizio Main

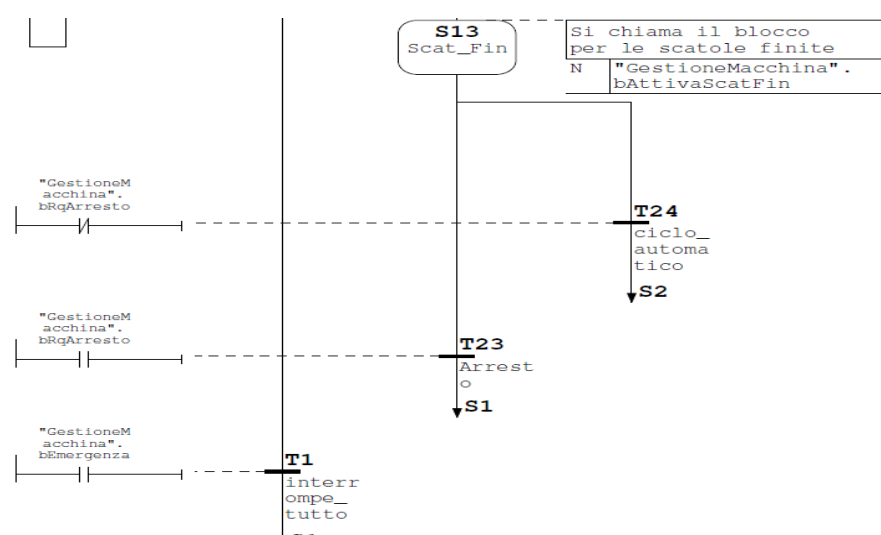
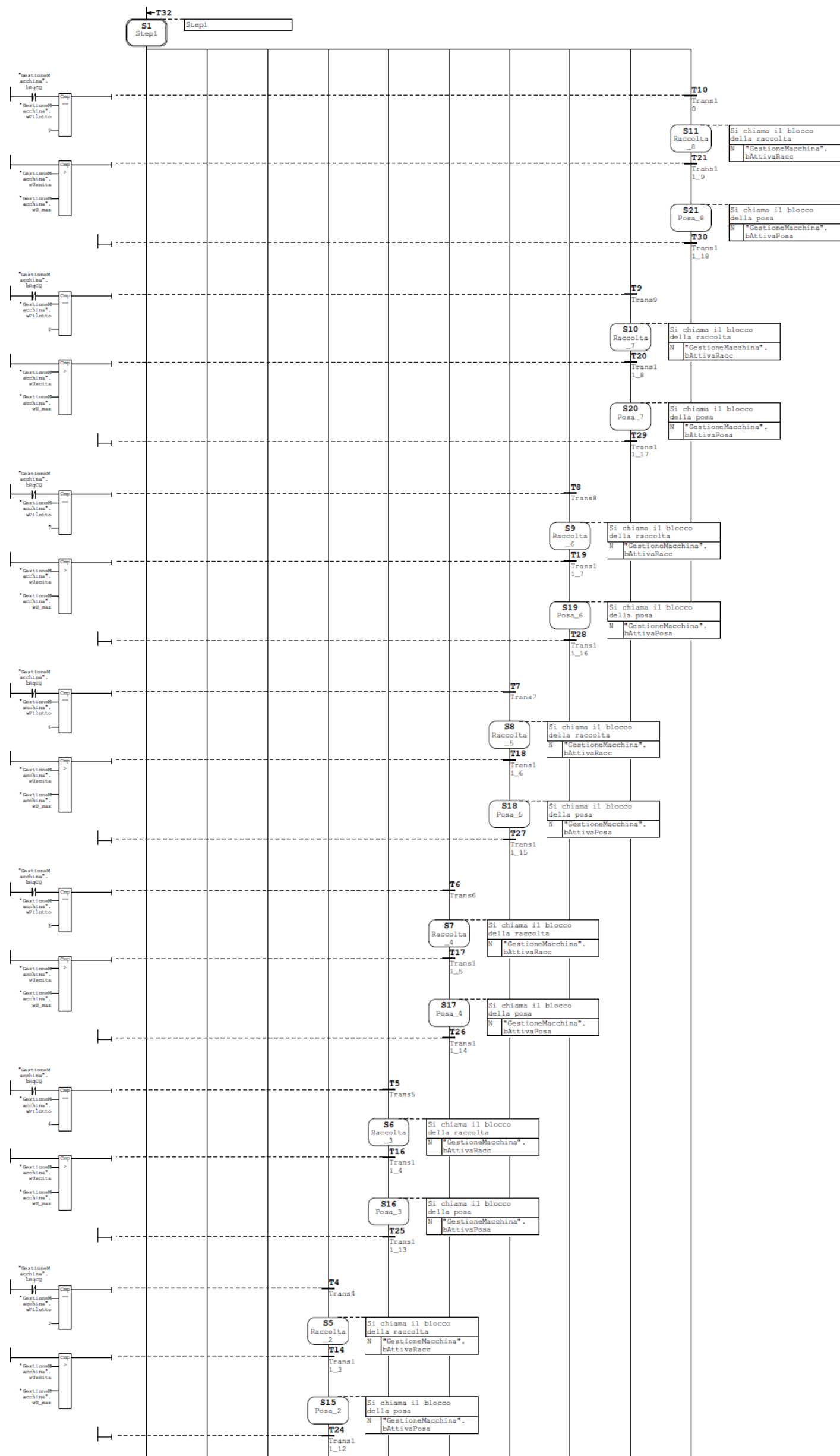


Figura 3-64: Fine Main

3.5.5 Formazione Piani

Anche il blocco di formazione dei piani è un blocco ciclico ramificato (Figura 3-66). Il concetto è esattamente lo stesso del main, ma, invece di formare una scatola con un numero definito di piani, in questo caso si forma un piano con un numero definito di pilotti: raggiunto tale numero si riporta ad 1 il contatore dei pilotti e si aumenta di 1 il contatore dei piani. In questo modo si sta sostanzialmente creando una “matrice scatola” con coordinate *[piano,pilotta]* che consentirà, come vedremo successivamente, di personalizzare lo schema di confezionamento della nostra scatola.





Nella parte finale risiede la condizione ($p \leq p_{\max}$) per decidere se continuare a comporre lo stesso piano o se uscire dal ciclo e passare al piano successivo (Figura 3-68).



3.5.6 Raccolta

La Raccolta (Figura 3-69) contiene nuovamente un ciclo, poiché l'Impilamento si ripete fintanto che le uscite non hanno raggiunto il numero sufficiente a formare un pilotto. La complicazione in questo FB è dovuta alla necessità di gestire in alternanza la raccolta dei pezzi prodotti dalla macchina e di quelli controllati dall'operatore e reimmessi in circolo, operazione regolata da tre variabili: la richiesta dell'operatore, la coda di pezzi sul tappeto della macchina (variabile con precedenza) la presenza di pezzi da rimettere (Figura 3-70).

I sottoblocchi usati sono “Messa a Disp”, “Impilamento” e “CQBack”.

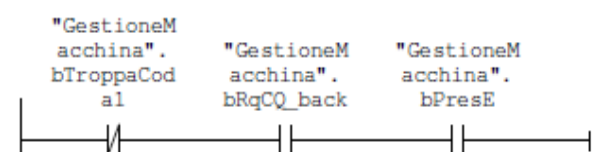
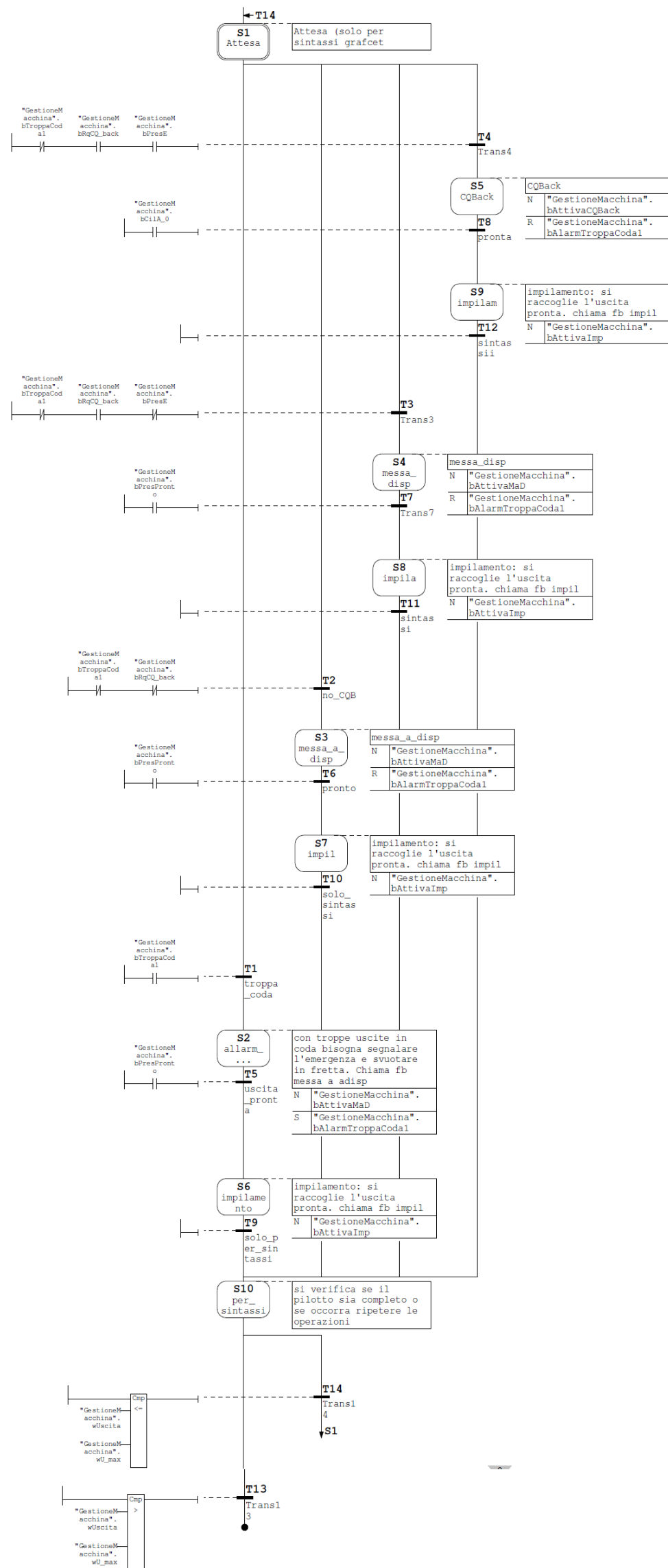
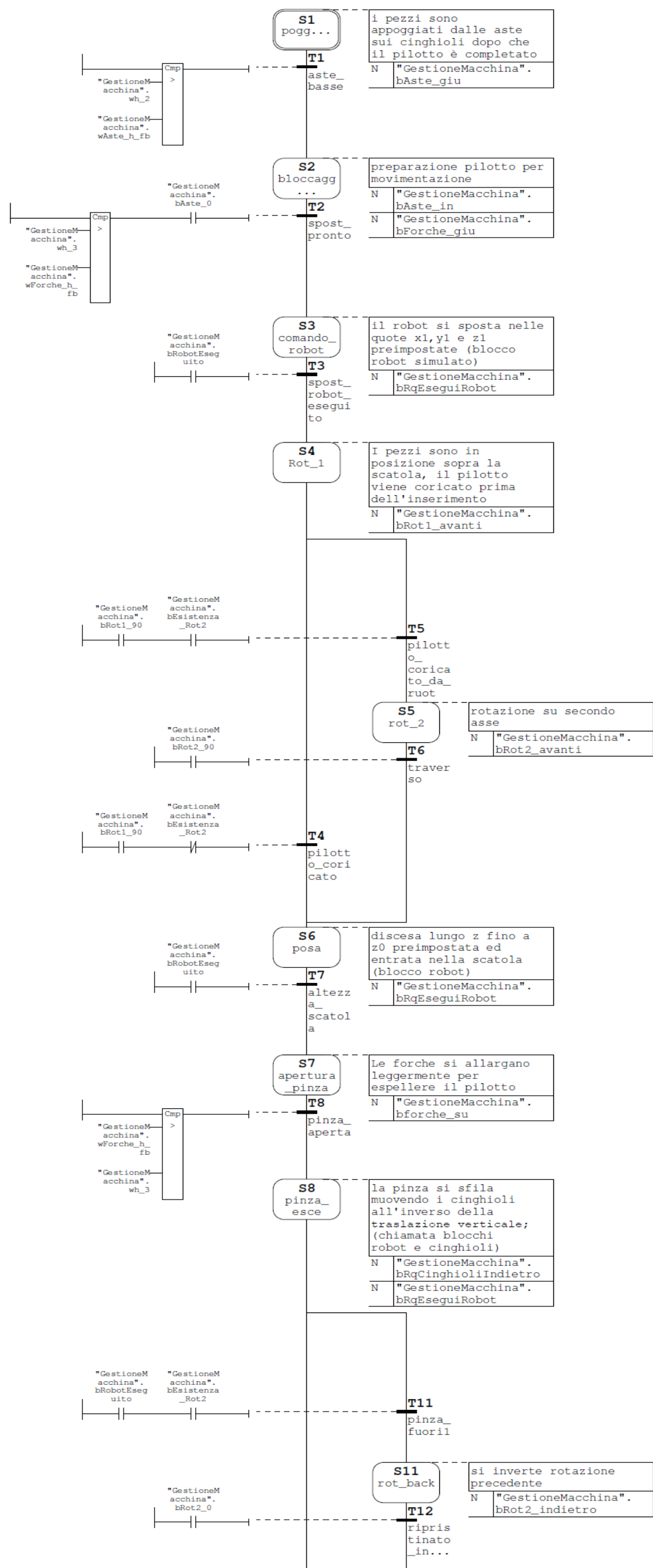


Figura 3-70: Condizioni per raccogliere pezzi controllati

Figura 3-69: Raccolta

3.5.7 Posa

La posa (Figura 3-71) si basa su parametri ricevuti in funzione della matrice [piano,pilotta], tra cui la possibile rotazione attorno all’asse J per posizionare i pilotti di traverso e le coordinate da comunicare al robot.



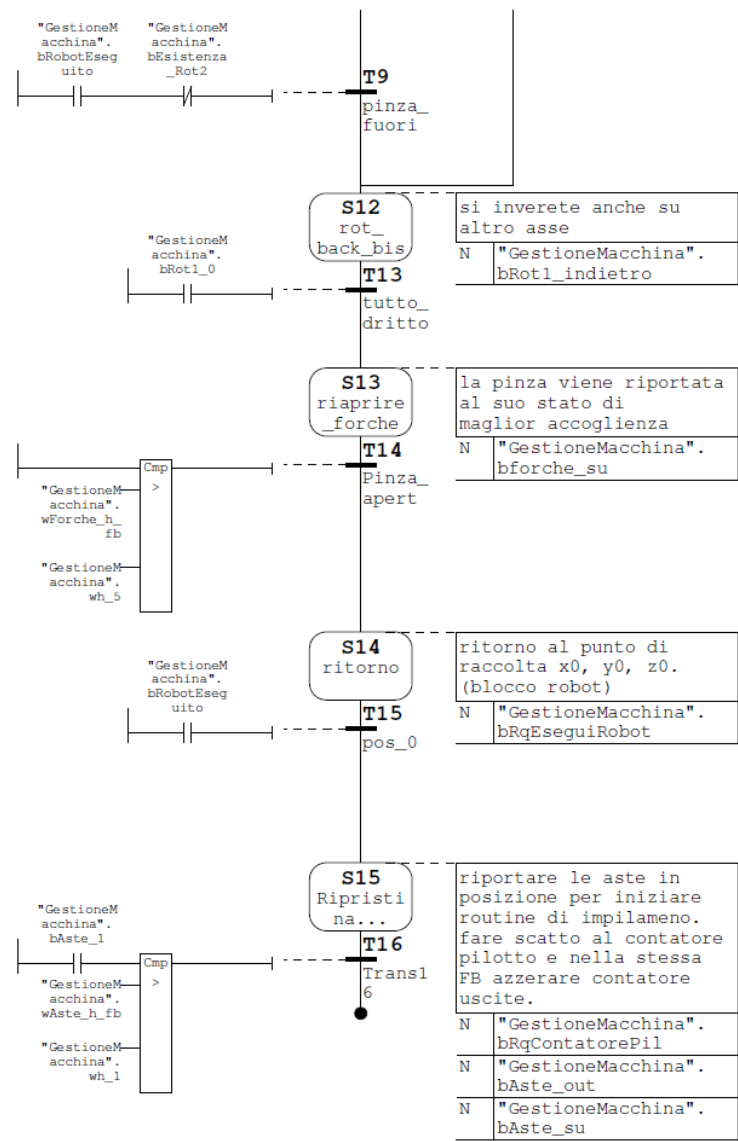


Figura 3-71: Posa in scatola

La parte più delicata dell'operazione di posa è sincronizzare la velocità inversa dei cinghioli a quella del robot che si allontana dalla scatola, in modo da rilasciare i pezzi il più fluidamente possibile (operazione lanciata in Figura 3-72).

Infine, al momento dell'uscita da questa routine, il gripper dovrà già essere pronto a raccogliere nella posizione iniziale x0,y0,z0 (Figura 3-73).

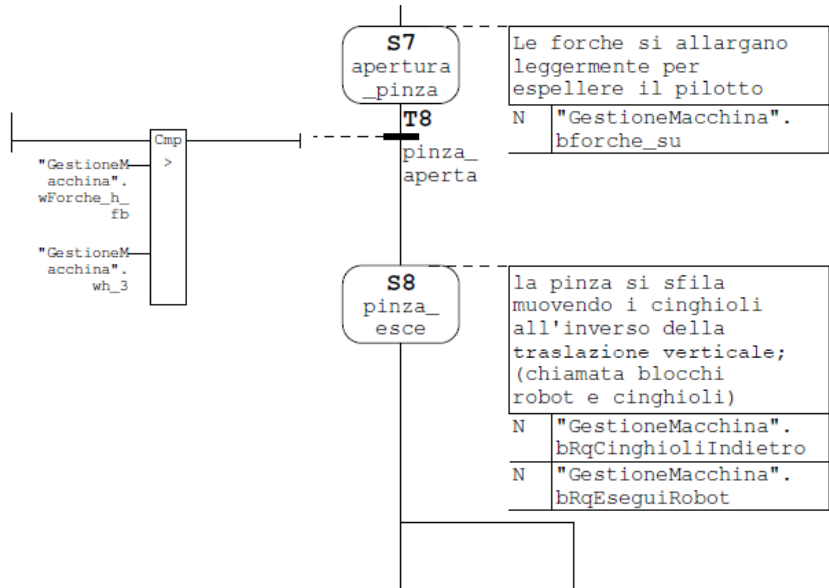


Figura 3-72: Espulsione pezzi

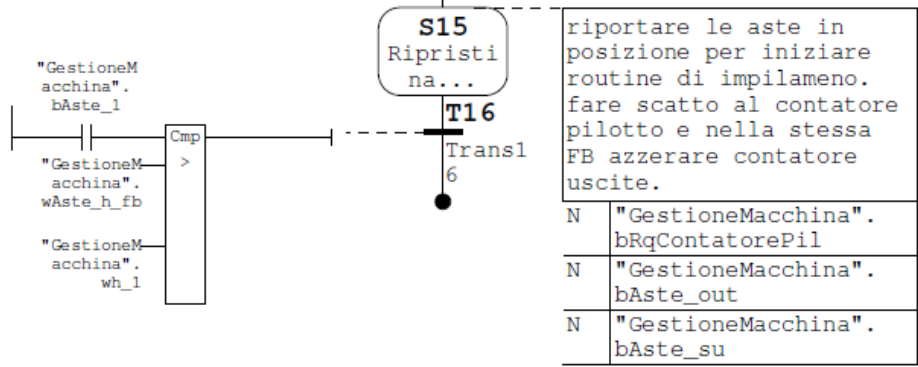
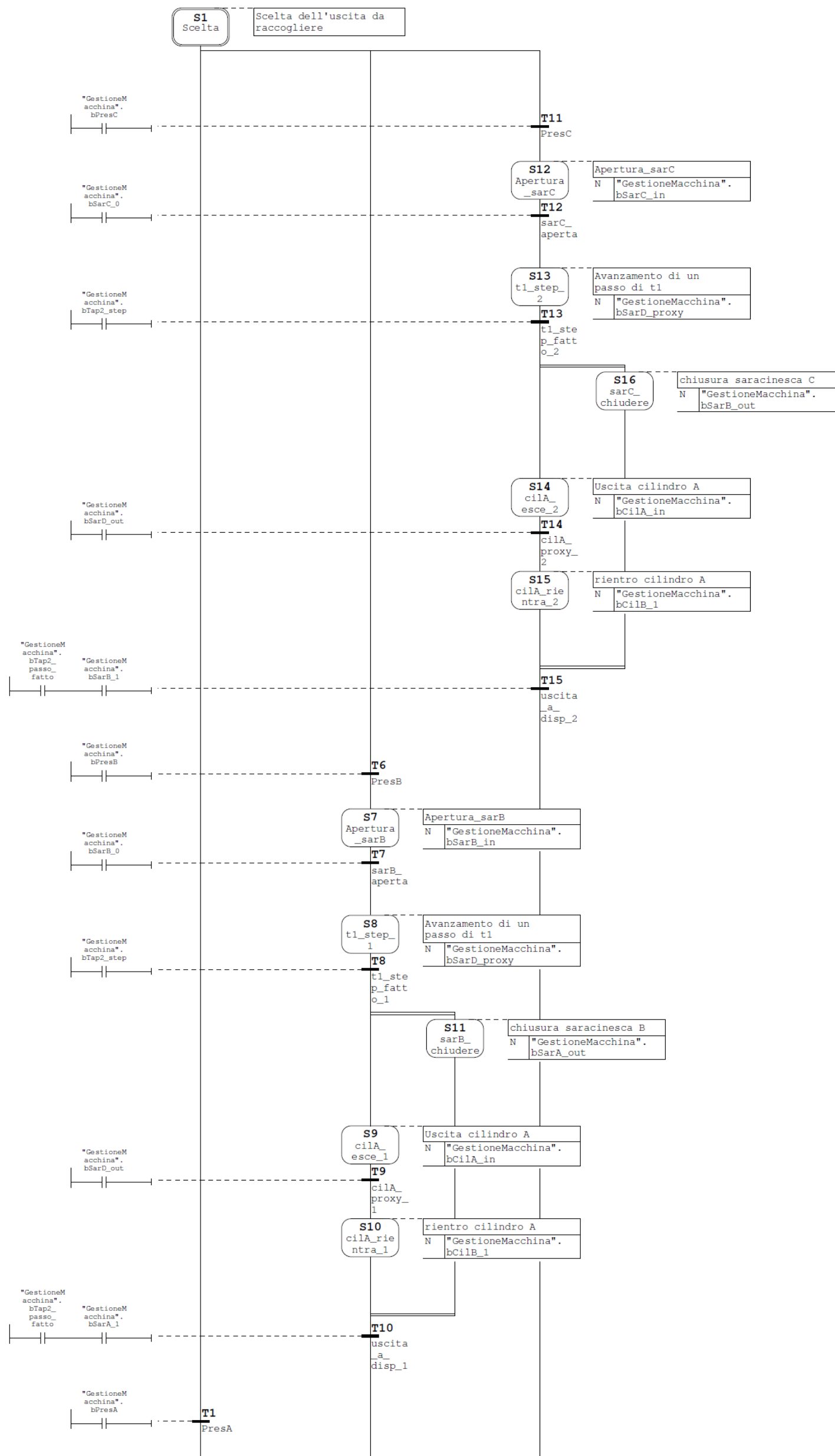


Figura 3-73: Ritorno al punto di raccolta

3.5.8 Messa a disposizione

La Messa_a_Dispo (Figura 3-74) è una routine che ha come scopo quello di far pervenire le uscite provenienti dalla macchina una per volta in un ben preciso punto di raccolta. Questa operazione avviene mediante l’uso combinato di saracinesche, un tappeto e un cilindro trasversale. Tale cilindro ha lunghezza sufficiente per portare i pezzi fino alla zona D, ovvero al controllo qualità (CQ), ma un sensore di prossimità montato sulla saracinesca D fa in modo che, quando la saracinesca è chiusa, il cilindro si blocchi, lasciando i pezzi in una posizione precisa nota al gripper.



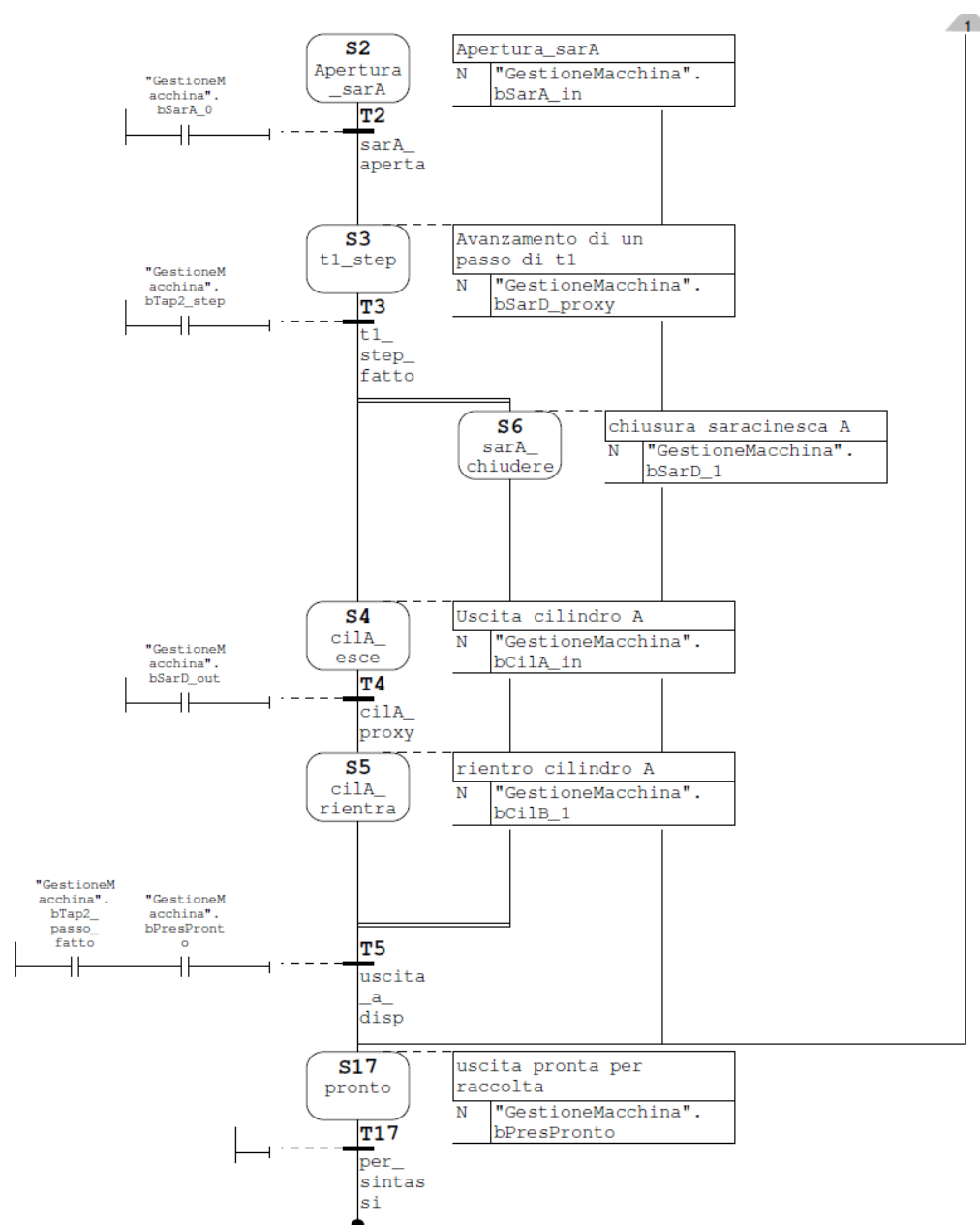


Figura 3-74: Messa_a_Dispo

3.5.9 Impilamento

È la routine che permette di sovrapporre più uscite per formare un pilotto (Figura 3-75).

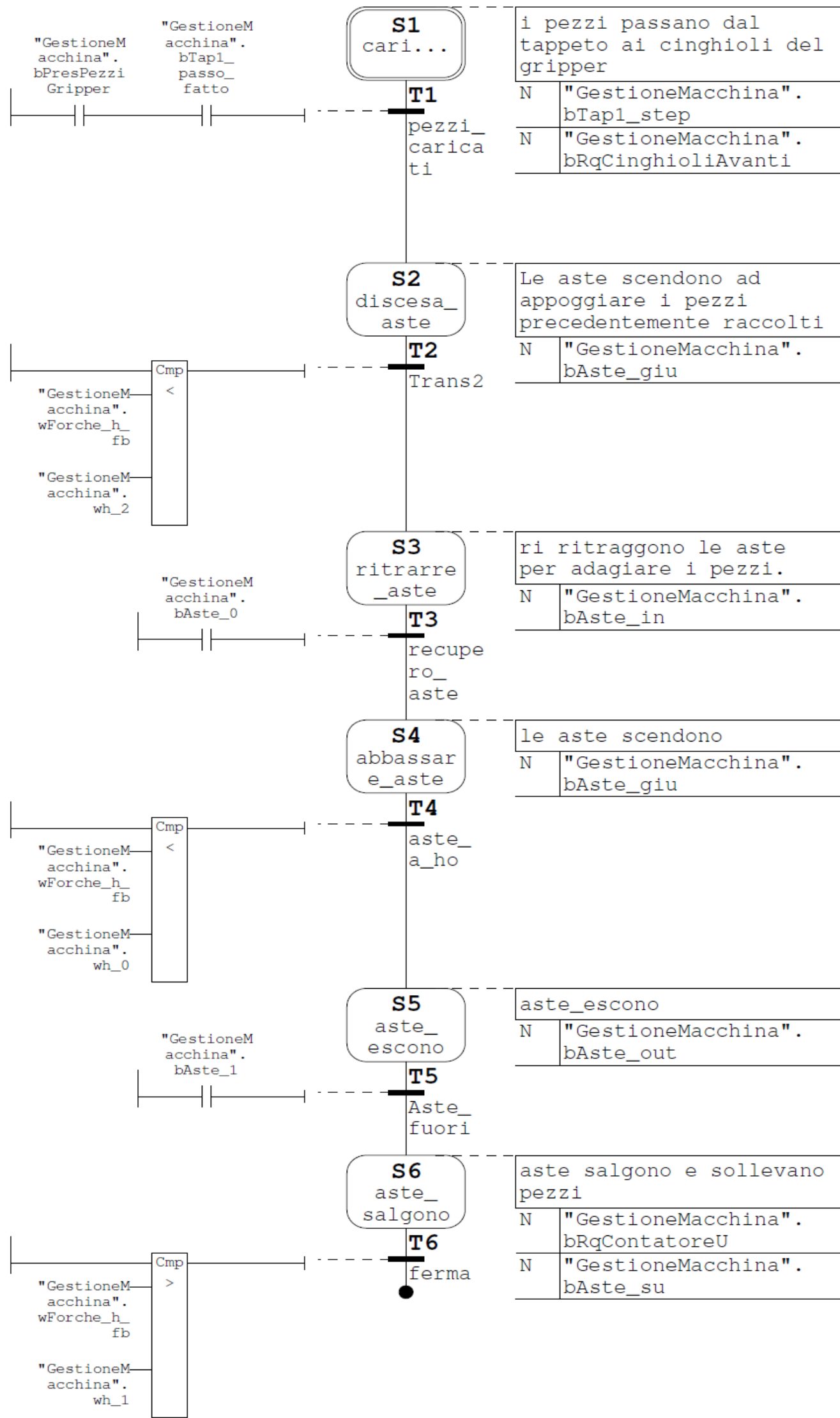


Figura 3-75: Impilamento

3.5.10 Controllo Qualità (CQ)

Questo FB (Figura 3-76) interviene sulle saracinesche e sul cilindro, modificando il ciclo di lavoro standard, cosicché, su richiesta dell’operatore, tutto il tappeto della macchina viene svuotato contemporaneamente spingendo i pezzi in un’area dove l’operatore ha la possibilità di controllarli.

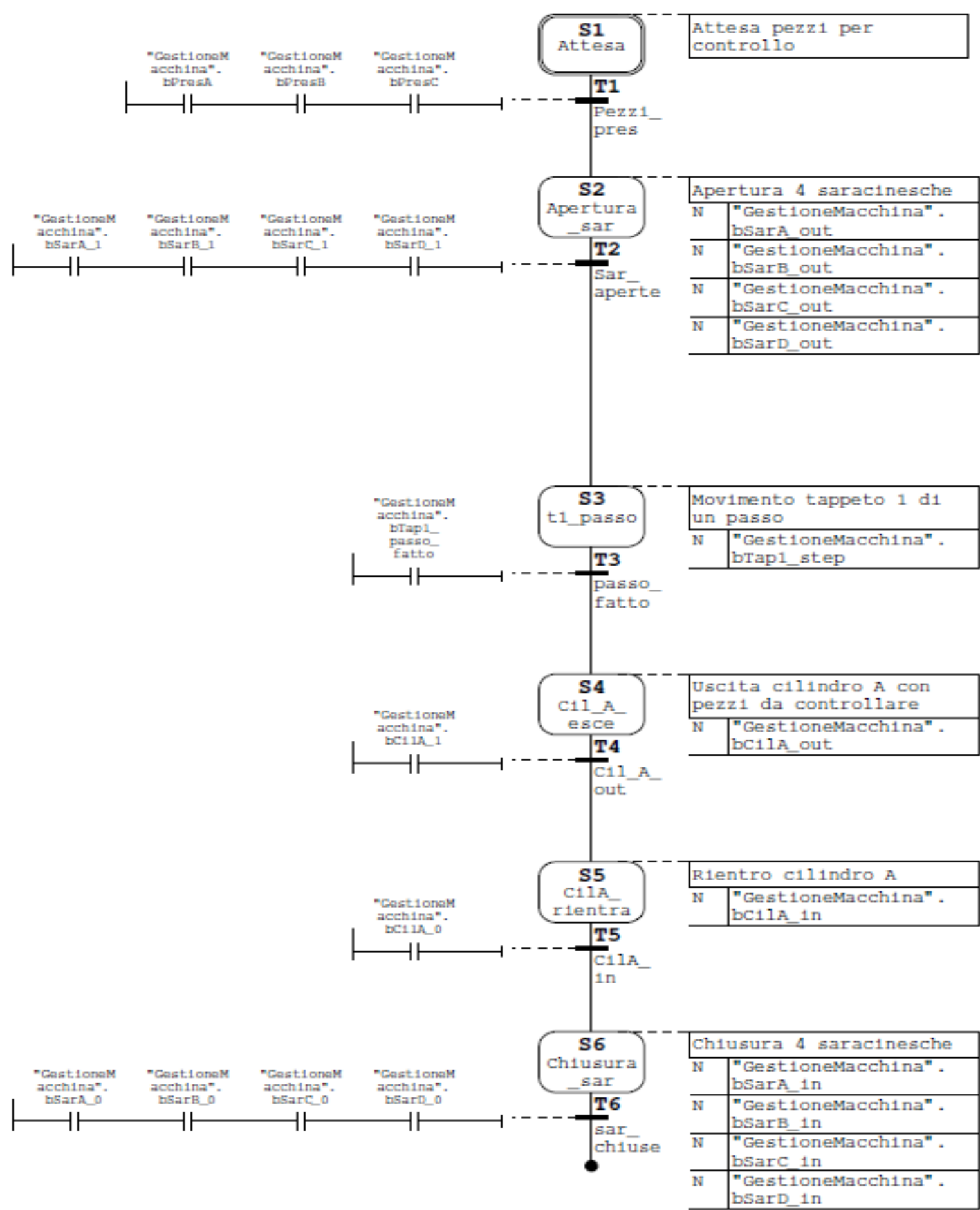


Figura 3-76: CQ

3.5.11 Reimmissione da controllo qualità (CQB)

Quando viene attivata la routine CQB (Figura 3-77), i pezzi controllati vengono messi dall’operatore su un tappeto (t_2) che, al momento di rimetterli in circolo, li fa scivolare sullo stesso piano da cui sono stati precedentemente prelevati, la posizione D. Il cilindro B li spinge (un’uscita alla volta) sul tappeto principale della macchina, ma, per conoscere con precisione la loro posizione, è necessario che il cilindro A li contro-spinga verso la saracinesca D ormai chiusa. A questo punto l’uscita sarà in una condizione esattamente identica a quella di un’uscita proveniente dalla macchina che non sia passata dal CQ.

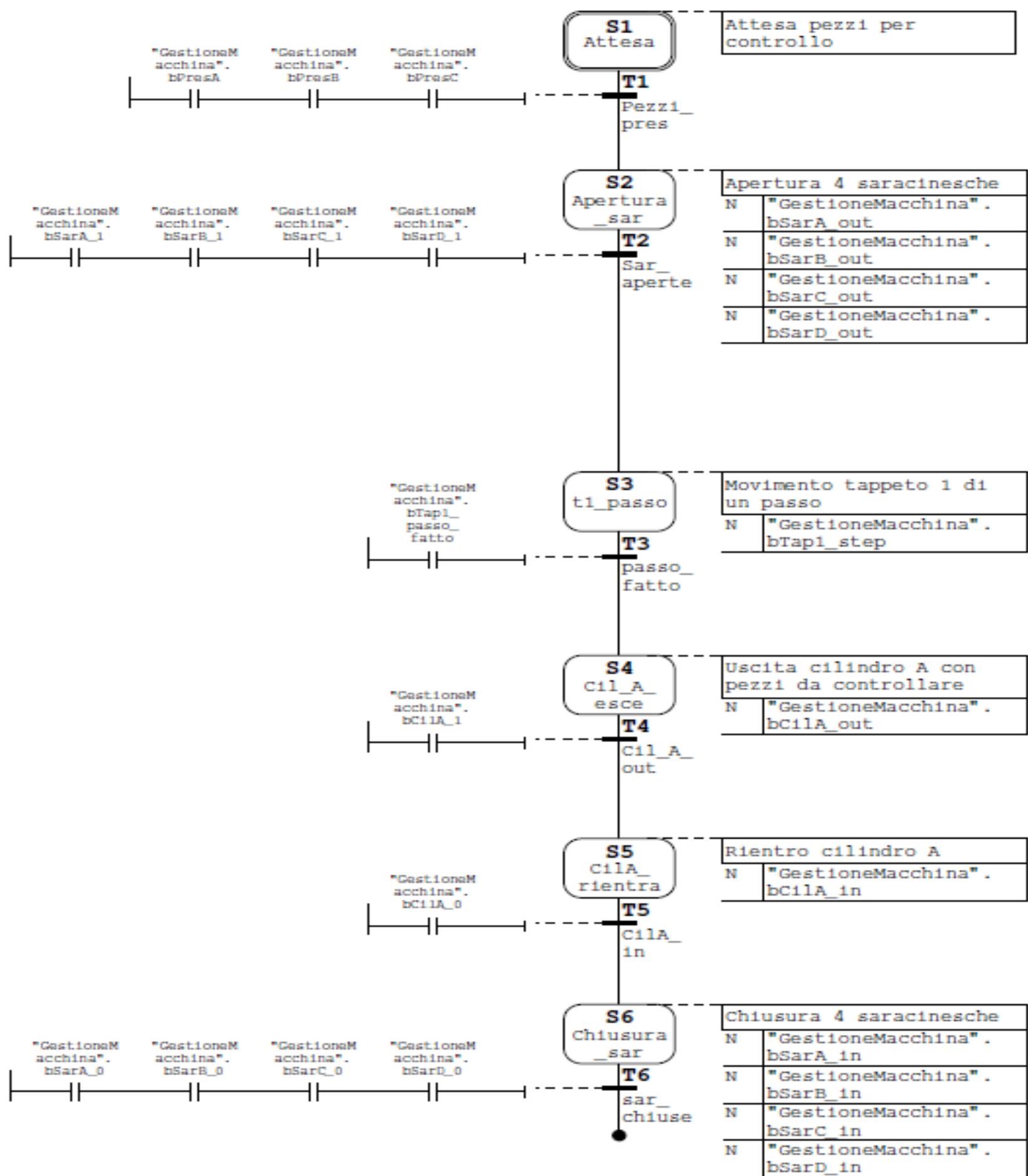


Figura 3-77: CQB

3.5.12 Scatola finita

Scat_fin (Figura 3-78) è una semplice routine che ha il ruolo fondamentale di ripulire i contatori e di segnalare a chiunque si trovi a valle dell'isola di raccolta (sia esso un magazziniere, un robot pallettizzatore, un AGV, etc...) che la scatola è pronta e va immediatamente sostituita, pena il blocco della linea.

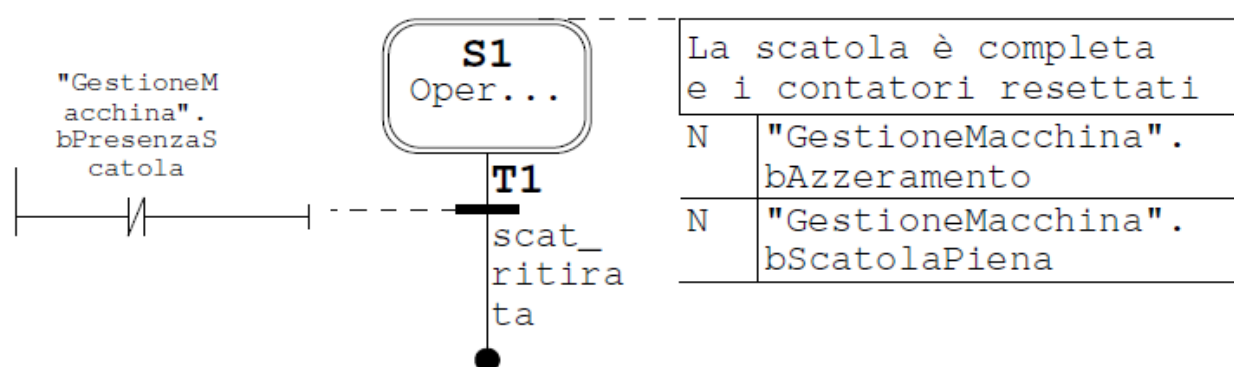


Figura 3-78: Scat_fin

3.5.13 Robot cartesiano

Come già anticipato, Robot è un FB, programmato in Ladder, per simulare le interazioni tra un robot industriale e il PLC (Figura 3-79).

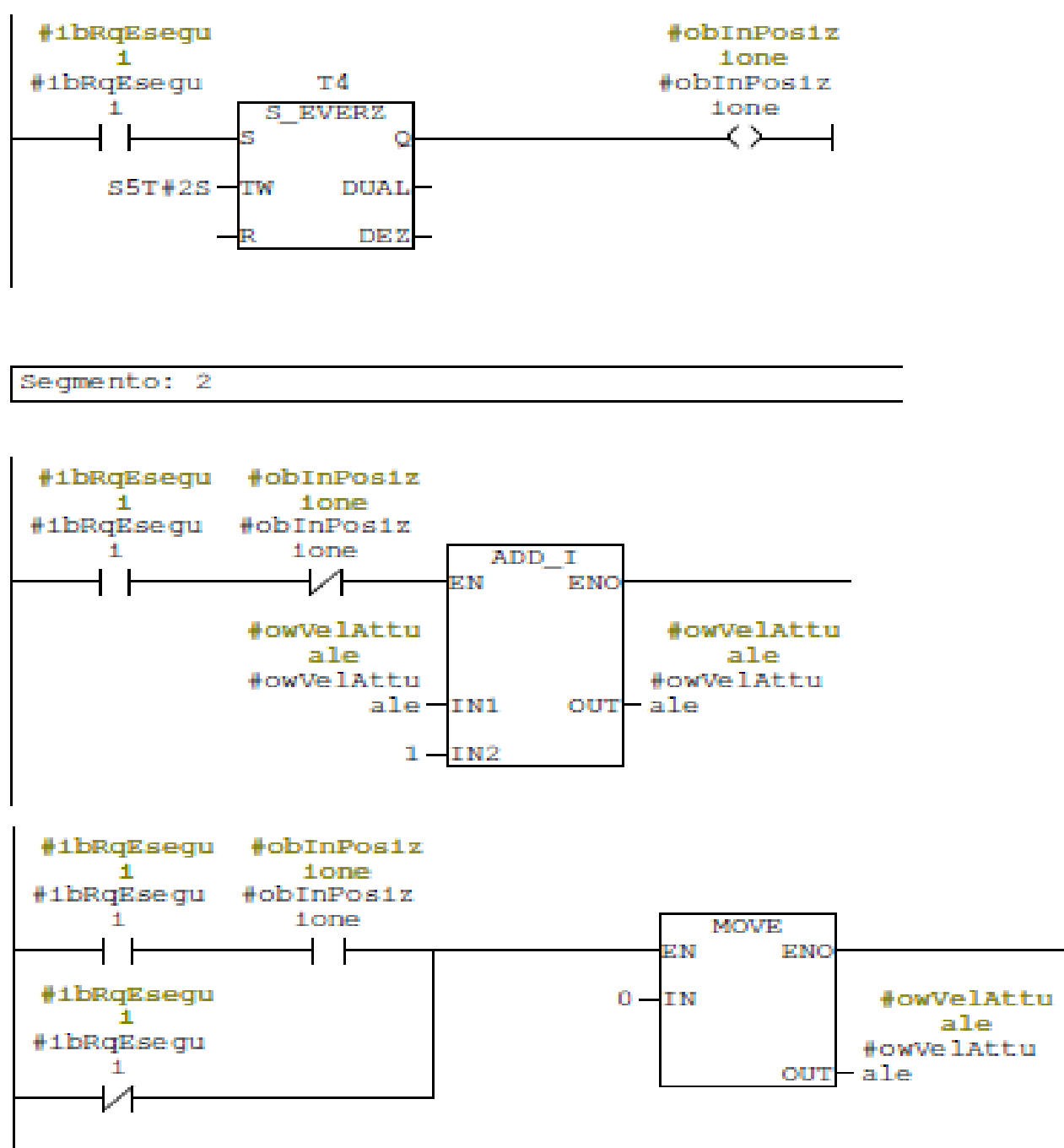


Figura 3-79: Robot

3.5.14 Cinghioli

Anche la routine Cinghioli (Figura 3-80) è già stata commentata in precedenza: essa permette di simulare un controllo in velocità avendo come input una velocità target e la velocità attuale e come output la velocità attuale aumentata per inseguire il target.

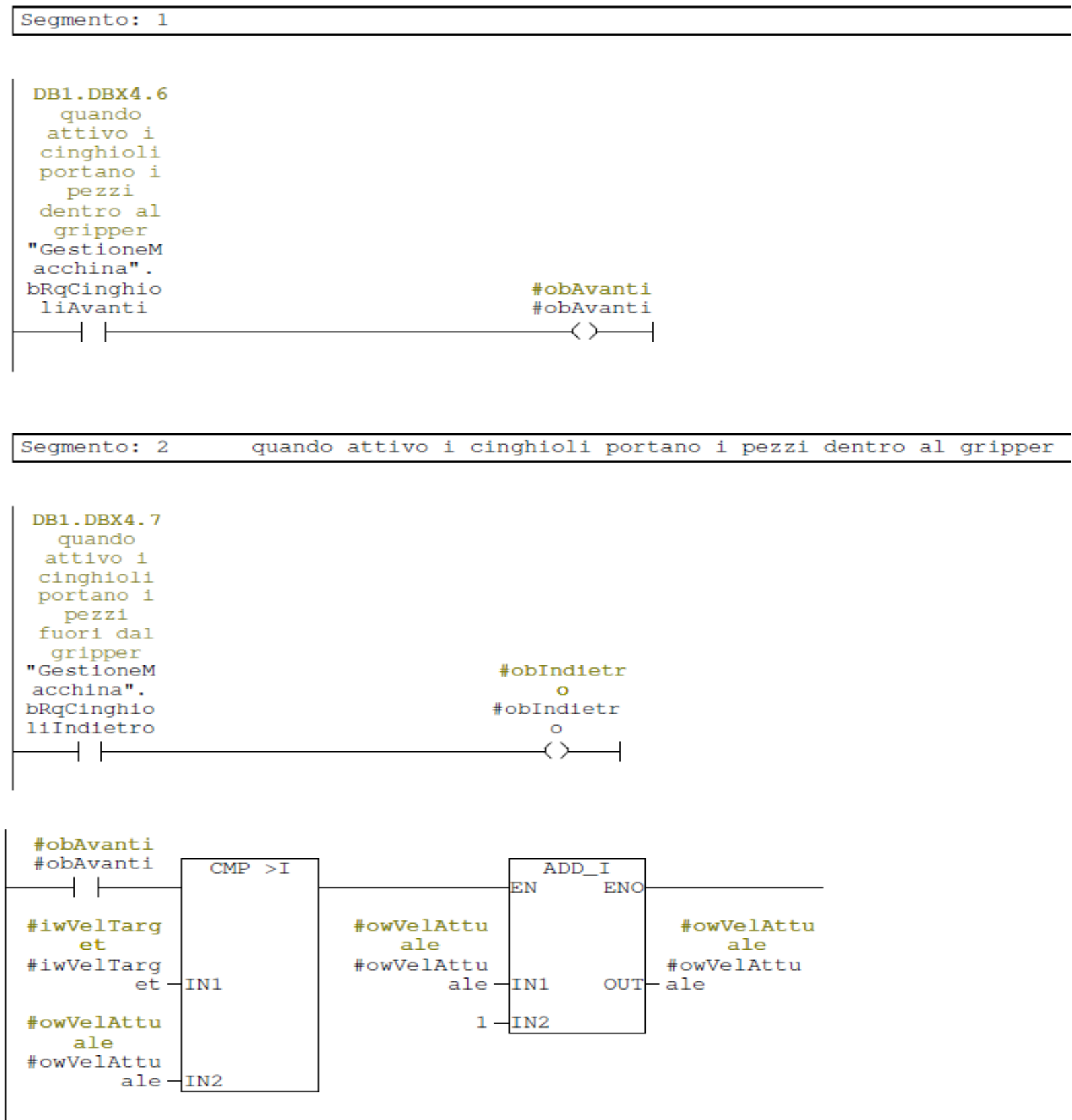


Figura 3-80: Cinghioli

3.5.15 Contatori

Il blocco Contatori (Figura 3-81) serve per conoscere istante per istante su quale elemento della matrice *[piano,pilotta]* che rappresenta la scatola stiamo lavorando. Esso recepisce semplicemente dei consensi da altri blocchi che lo portano ad aumentare dei contatori ed eventualmente a riportarne ad 1 altri. Per esempio, dato che si può passare al piano successivo solo dopo aver completato tutti i pilotti di quello attuale, il consenso “bRqContatorePia” non solo aumenta il numero dei piani, ma contemporaneamente resetta quello dei pilotti.

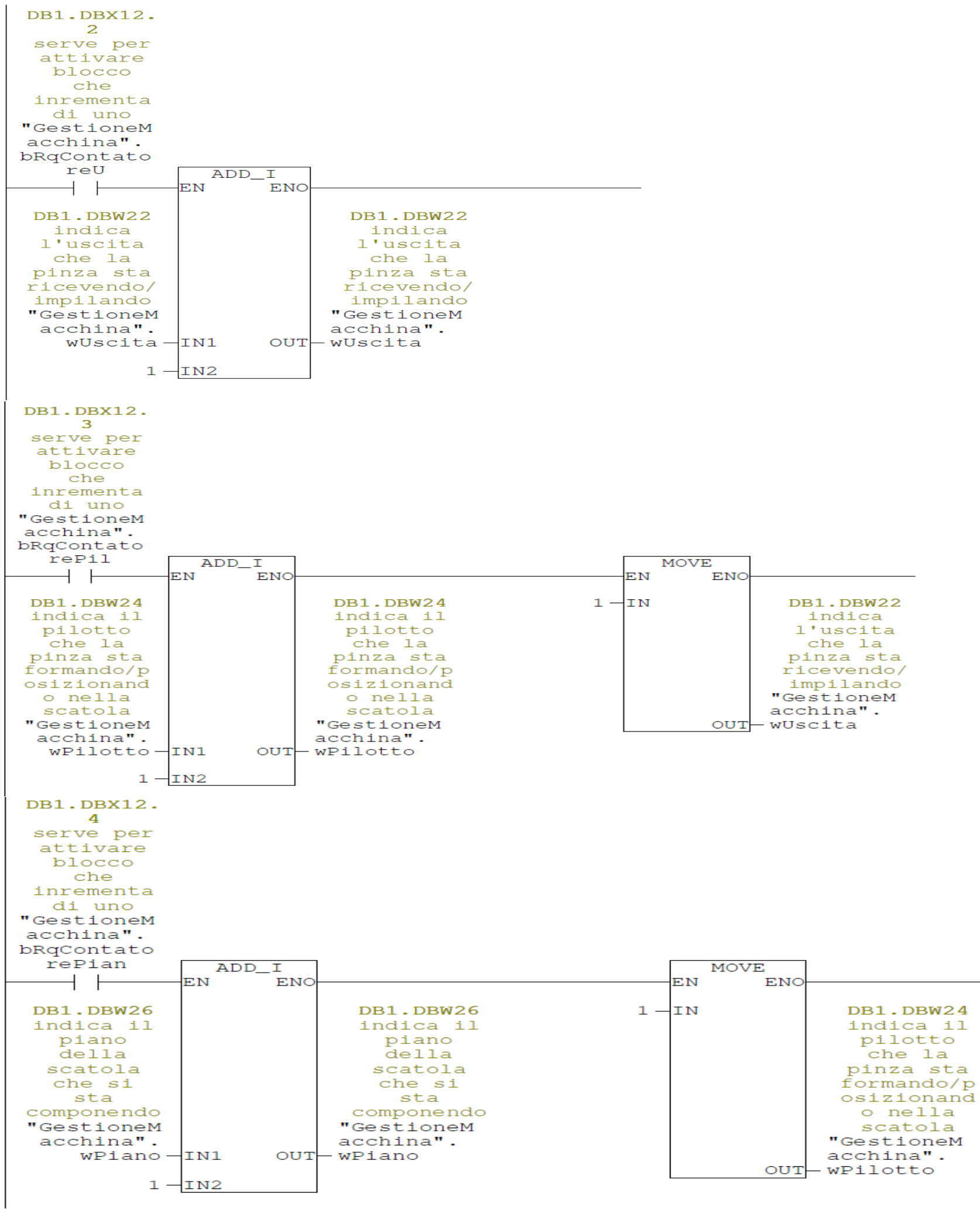


Figura 3-81: Contatori

3.5.16 Azzeramento

L’Azzeramento (Figura 1-1: Layout reparto termoformatura) riporta tutti i contatori a 1 alla fine dell’esecuzione del Main. Pur chiamandosi ingannevolmente “azzeramento”, si è scelto di cominciare i conteggi da 1 in modo tale che il valore dei contatori indichi in ogni istante l’elemento su cui si sta lavorando e sia facile associare il valore letto sui contatori alle variabili impostate dall’operatore usando come coordinate quelle della matrice [piano,pilotto].

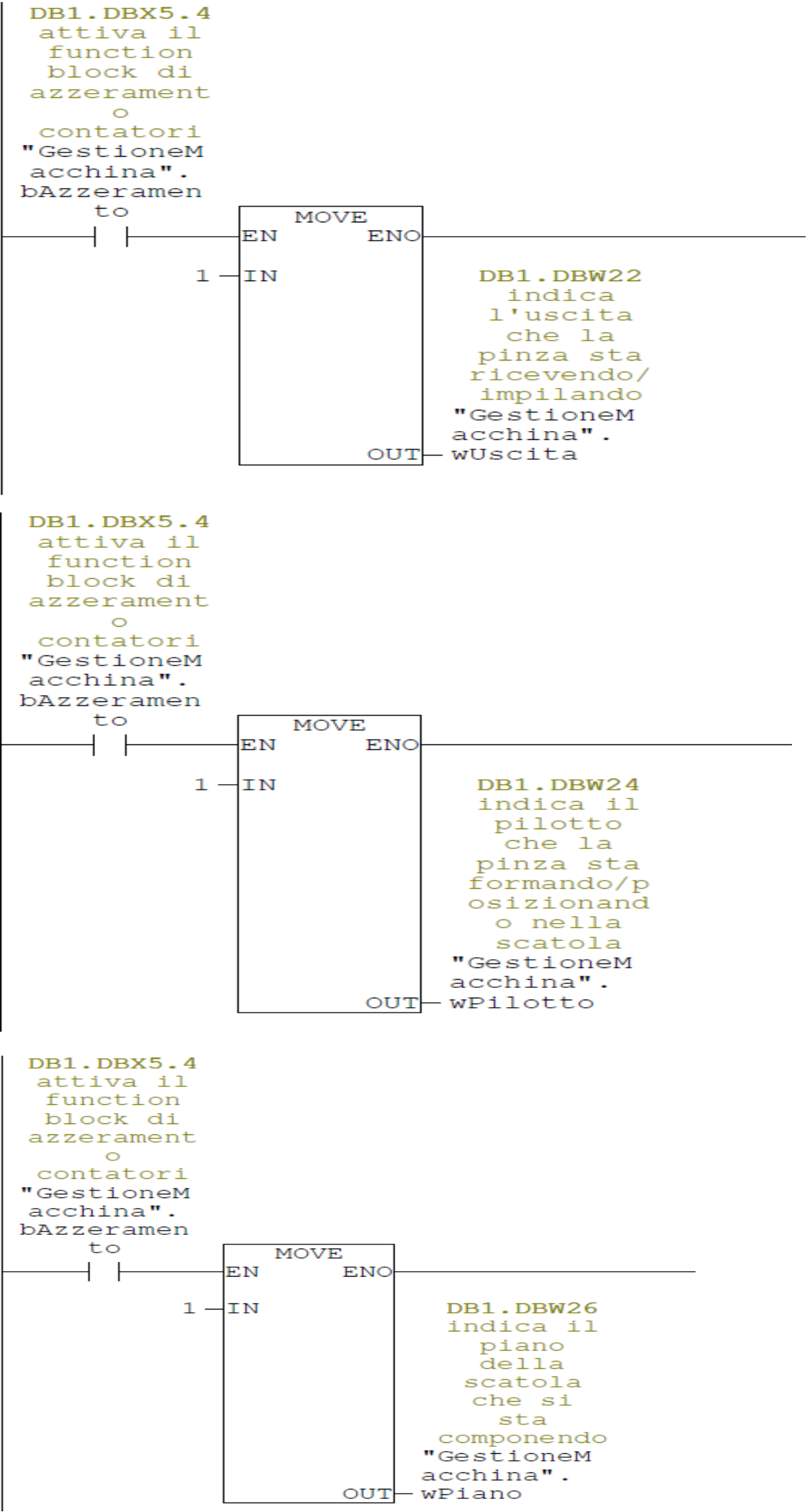


Figura 3-82: Azzeramento

3.5.17 Interfaccia operatore (Human Machine Interface HMI)

In ultimo viene presentata l'interfaccia per il controllo del sistema automatico di raccolta (Figura 3-83)

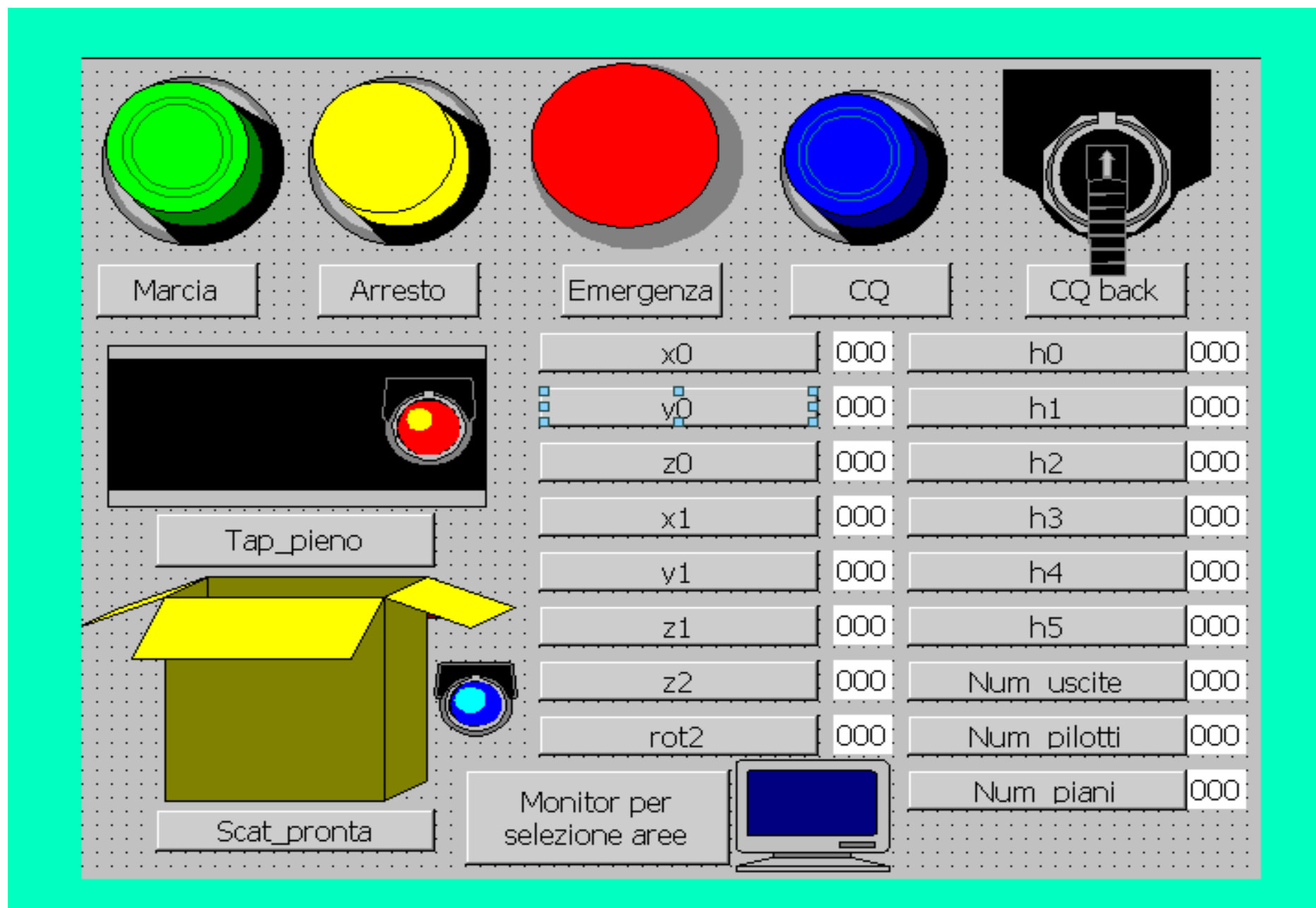


Figura 3-83: HMI

Sono stati inseriti il pulsante di marcia, di arresto e il fungo di emergenza.

Per quanto riguarda il controllo qualità è stato inserito un pulsante per richiedere alla macchina di emettere i pezzi presenti dietro alle saracinesche all'istante della chiamata, mentre per rimettere i pezzi controllati in circolo si è preferito optare per un selettore, di modo che l'operatore dopo aver controllato i pezzi possa lasciare segnalato al sistema di reimmetterli il prima possibile, compatibilmente alle condizioni di coda sul tappeto principale, senza dover tener premuto un pulsante.

La luce blu segnala una scatola pronta da portare via, quella rossa delle condizioni critiche di accumulo sul tappeto 1.

Il monitor servirà per aprire una grafica che permetta di selezionare la posizione nella "matrice scatola" di cui si vogliono inserire i parametri.

Tutti gli altri input numerici sono proprio i parametri da inserire per ogni posizione: innanzitutto va dichiarato il numero di piani, di piloti per ogni piano e di uscite per il dato pilota; andrà specificato se è un pilota messo nella scatola nella direzione standard o se occorre effettuare la rotazione_2 per posizionarlo trasversalmente, infine bisognerà dare le coordinate al robot per raggiungere la data posizione (x, y, z) e anche le altezze dei punti notevoli del ciclo di aste e forche (h).

Con tali dati, gli input correttamente collegati ai sensori e gli output agli azionamenti, il PLC è in grado di governare la raccolta automatica. Tutti gli aggiustamenti indubbiamente necessari andranno fatti al momento del collaudo del prototipo fisico.

4 CONCLUSIONI

Questa tesi si è posta come obiettivo lo studio di un intervento di automazione in un reparto produttivo di termoformatura plastica, allo scopo di migliorare la qualità del lavoro e di potenziare la produttività e la competitività dell'azienda.

Si è proceduto iniziando con un accurato studio del processo e della varietà dei prodotti e dei rispettivi imballaggi. Successivamente si è passati al confronto con altri soggetti operanti nel mercato del *food packaging* e dell'automazione alimentare, coniugato al costante paragone con il mondo della ricerca in ambito di automazione industriale (in particolare *pick and place*). Dopo che si è ritenuto di avere acquisito una conoscenza sufficiente del problema, si è affrontato lo studio di una soluzione tecnica, che ha preso forma prima a livello di funzionamento concettuale, poi è stata sviluppata con un dimensionamento meccanico, un'analisi strutturale e la scrittura di un programma di controllo da operare su un PLC, dando forma ad un progetto completo.

Nonostante non si sia ancora giunti alla realizzazione di un prototipo fisico, gli esiti di questo studio possono essere considerati positivi per due ragioni.

La prima ragione è che si è giunti alla progettazione di un prototipo che, pur con tutte le rettifiche del caso, si ritiene possa effettivamente funzionare per la raccolta dei vassoi termoformati. È naturalmente un progetto perfezionabile, ma rappresenta comunque qualcosa che non era disponibile sul mercato e può segnare l'inizio di un processo di ricerca e sviluppo che porti ad un miglioramento continuo della produttività del reparto di termoformatura e delle condizioni di lavoro degli operatori, che, come tensione ideale, dovranno avere sempre più tempo da dedicare al puro controllo della qualità.

La seconda è che la ricerca di una soluzione automatica ha costretto ad un profondo lavoro di osservazione e messa in discussione del processo produttivo, che ha portato ad una maggiore conoscenza da parte di Roboplast dei suoi punti di forza e di debolezza; questo può portare in un futuro prossimo a decidere di optare per interventi molto più mirati di automazione e ottimizzazione, concentrando le risorse e valorizzando quanto di eccellente già c'è.

Per quanto riguarda gli sviluppi futuri, innanzitutto occorrerà realizzare il prototipo, per valutarne la funzionalità e per mettere effettivamente alla prova la risposta dei prodotti a questo tipo di manipolazione.

In secondo luogo andrà analizzato il rapporto di questa stazione di raccolta automatica con l'ambiente circostante, andrà disegnata un'organizzazione logistica efficace per supportarla e andranno studiate eventuali altre automazioni che possano moltiplicare i benefici della raccolta robotizzata. Andrà altresì approfondito il rapporto tra gli organi automatici e le persone, sia in ottica di una convivenza collaborativa che per una più immediata esigenza di sicurezza: in questo studio la sicurezza è a malapena sfiorata con l'inserimento di un fungo d'emergenza per l'interruzione delle operazioni, decisamente insufficiente.

Molto, inoltre, si può fare per migliorare il programma di controllo del gripper: sicuramente possono essere inseriti allarmi e segnali di monitoraggio, per rendere chiaro agli operatori l'andamento della raccolta; bisogna implementare la possibilità di caricare e salvare delle "ricette", cioè dei parametri fissi ripetibili ogni volta che si lavora sullo stesso articolo; in ultimo sarà probabilmente fondamentale predisporre delle modalità di *buffer* per ammortizzare le oscillazioni di un flusso di prodotti dalla macchina che spesso è meno costante di quanto ci si potrebbe aspettare.

Certamente dal punto di vista meccanico andrà approfondito il discorso dell'alleggerimento, anche mediante l'uso di differenti materiali. Andrà inoltre verificata l'effettiva semplicità e rapidità degli attrezzaggi per i cambi produzioni, che non possono diventare un'aggiunta troppo onerosa per i tecnici già impegnati nei cambi-stampo.

Infine vale la pena tenere un occhio sempre aperto sul mondo della ricerca, che sta costantemente lavorando su gripper e controlli di visione potenzialmente rivoluzionari per le necessità manifestate da Roboplast.

Appendice B: Listato Ansys

!carlo

finish

/clear

/prep7

!Definizione dei parametri costruttivi

h=60

l=800

RADIUS=8

CFx=18

CFy=40

CN=5

Fcx=600

F=20 !N

r,1,10

mp,ex,1,200000

et,1,plane82,,,3

k,1,0,0,0

k,2,0,h,0

k,3,l,h,0

k,4,l,0,0

k,5,CFx-radius,h,0

k,6,cfx+radius,h,0

k,7,cfx-radius,(h-(h-CFy))

k,8,cfx+radius, (h-(h-CFy))
 k,9,CFx, (h-(h-CFy))
 k,10,cfx,(h-(h-cfy+radius))
 K,11,cfx-radius,0
 K,12,cfx+radius,0,0
 K,13,0, (h-(h-CFy))
 K,14,l, (h-(h-CFy))
 K,15,cfx,0
 Larc,7,10,9,RADIUS
 Larc,8,10,9,RADIUS
 K,16,cfx-radius, (h-5-(h-CFy+radius))
 K,17,cfx, (h-5-(h-CFy+radius))
 K,18, cfx+radius, (h-5-(h-CFy+radius))
 K,19,0,(h-5-(h-CFy+radius))
 K,20,l,(h-5-(h-CFy+radius))
 K,21,Fcx,h
 K,22,fcx, (h-(h-CFy))
 K,23,fcx,(h-5-(h-CFy+radius))
 K,24,fcx,0
 !Generazione aree
 a,13,2,5,7
 a,19,13,7,16
 a,1,19,16,11
 l,16,17

l,10,17

al,1,14,13,8

a,11,16,17,15

l,17,18

l,8,18

al,14,17,18,2

a,12,15,17,18

a,21,22,8,6

a,18,8,22,23

a,12,18,23,24

a,3,14,22,21

a,23,22,14,20

a,24,23,20,4

Lesize,12,,,1*CN

Lesize,9,,,1*CN

Lesize,6,,,1*CN

Lesize,4,,,1*CN

Lesize,3,,,2*CN

Lesize,7,,,1*CN

Lesize,5,,,2*CN

Lesize,10,,,2*CN

Lesize,11,,,2*CN

Lesize,8,,,1*CN

Lesize,1,,,2*CN

Lsize,14,,,1*CN

Lsize,13,,,1*CN

Lsize,16,,,1*CN

Lsize,15,,,2*CN

Lsize,2,,,2*CN

Lsize,17,,,1*CN

Lsize,19,,,1*CN

Lsize,18,,,1*CN

Lsize,20,,,2*CN

Lsize,23,,,2*CN

Lsize,21,,,2*CN

Lsize,25,,,1*CN

Lsize,27,,,2*CN

Lsize,29,,,2*CN

Lsize,33,,,2*CN

Lsize,34,,,2*CN

Lsize,32,,,1*CN

Lsize,24,,,16*CN

Lsize,22,,,16*CN

Lsize,26,,,16*CN

Lsize,28,,,16*CN

Lsize,31,,,6*CN

Lsize,30,,,6*CN

Lsize,33,,,6*CN

Lesize,35,,,6*CN

amesh,all

nset,s,loc,x,0

d,all,all

nall

f,911,fy,-40

/solu

solve

/post1

Plesol,s,x

Plnsol,s,x

Appendice C: Bibliografia

- [1] “Termoformatura,” *Treccani*. .
- [2] J. S. Dai, “Robotics and automation for packaging in the confectionery industry,” *Robot. Autom. Food Ind. Curr. Futur. Technol.*, pp. 401–419, 2012.
- [3] R. W. Bolz, “Manufacturing Automation Management.” .
- [4] R. C. Dorf and A. Kusiak, “Handbook of Design, Manufacturing and Automation,” p. 1042, 1994.
- [5] M. P. Groover, “Automation, Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing,” *Cytometry*, pp. 1–5, 2002.
- [6] C. Mora and M. Irfan, “Automation of Packaging Process,” 2008.
- [7] O. Lindgren and M. Soderberg, “A guideline for future automation decisions,” *KTH Ind. Eng. Manag.* , vol. Master of, 2014.
- [8] Roboplast S.r.l., “Richieste di Automazione – Roboplast S.r.l.,” p. 36, 2018.
- [9] A. M. Ashir, A. A. Ata, and M. S. Salman, “FPGA-based image processing system for Quality Control and Palletization applications,” *2014 IEEE Int. Conf. Auton. Robot Syst. Compet. ICARSC 2014*, pp. 285–290, 2014.
- [10] C. Jian, J. Gao, and Y. Ao, “Automatic surface defect detection for mobile phone screen glass based on machine vision,” *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 52, pp. 348–358, 2017.
- [11] J. Honec, P. Honce, P. Petyovsky, S. Valach, and J. Brambor, “Trasnsparent materials optical inspection methods,” no. Zheng 2000, pp. 1–5, 2001.
- [12] Keyence S.p.a., “Catalogo serie CV-X.” 2018.
- [13] L. (Stemmer I. C. instructor) Fermum, “Inspecting Trasparent Objects.”
- [14] T. Qiao, L. Chen, Y. Pang, and G. Yan, “Integrative Multi-Spectral Sensor Device for Far-Infrared and Visible Light Fusion,” *Photonic Sensors*, vol. 8, no. 2, pp. 134–145, 2018.
- [15] M. F. Shirazi, R. E. Wijesinghe, N. K. Ravichandran, P. Kim, M. Jeon, and J. Kim, “Quality assessment of the optical thin films using line field spectral domain optical coherence tomography,” *Opt. Lasers Eng.*, vol. 110, no. May, pp. 47–53, 2018.
- [16] M. Rüßmann *et al.*, “Future of Productivity and Growth in Manufacturing,” *Bost.*

Consult., no. April, 2015.

- [17] G. Fantoni *et al.*, "Grasping devices and methods in automated production processes," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 63, no. 2, pp. 679–701, 2014.
- [18] G. Rosati, S. Minto, and F. Oscari, "Design and construction of a variable-aperture gripper for flexible automated assembly," 2017, p. 10.
- [19] C. H. Chen and W. Der Chong, "Force controlled robot gripper with flexible joint for delicate assembly task," *Int. Conf. Control. Autom. Syst.*, no. Iccas, pp. 935–939, 2013.
- [20] T. J. Jung and J. H. Oh, *Design of a robot gripper for a rapid service robot*, vol. 46, no. 5. IFAC, 2013.
- [21] A. Ahrary, "A new approach to flexible multi-joint robot finger," *Proc. - 2014 IEEE 10th Int. Colloq. Signal Process. Its Appl. CSPA 2014*, pp. 1–4, 2014.
- [22] Y. Wei, Y. Ma, and W. Zhang, "A multi-jointed underactuated robot hand with fluid-driven stretchable tubes," *Robot. Biomimetics*, vol. 5, no. 1, p. 2, 2018.
- [23] D. Petkovic, S. Shamshirband, J. Iqbal, N. B. Anuar, N. D. Pavlovic, and M. L. M. Kiah, "Adaptive neuro-fuzzy prediction of grasping object weight for passively compliant gripper." .
- [24] Y. Mahsereci, S. Saller, H. Richter, and J. N. Burghartz, "An ultra-thin flexible CMOS stress sensor demonstrated on an adaptive robotic gripper," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 51, no. 1, pp. 273–280, 2016.
- [25] A. Pettersson, S. Davis, J. O. Gray, T. J. Dodd, and T. Ohlsson, "Design of a magnetorheological robot gripper for handling of delicate food products with varying shapes," *J. Food Eng.*, vol. 98, no. 3, pp. 332–338, 2010.
- [26] G. Curti and F. M. Curà, *FONDAMENTI DI MECCANICA STRUTTURALE Lezioni ed esercizi*. 2006.

RINGRAZIAMENTI

È un filo di gratitudine bello robusto quello che si dipana lungo la mia strada al Poli, giorno dopo giorno, anno dopo anno!

Ad essere sincero posso ben dire che vivo solo di regali, e non esagero.

Posso dire grazie di avere la passione per come funzionano le cose, che mi ha portato qui ad Ingegneria; posso dire grazie per una testa che ha quel minimo di capacità per annaspere dietro alla passione e per la cocciutaggine che, quando occorreva, prendeva a calci nel sedere la testa scoraggiata e pigra.

Di più ancora ringrazio perché non sono mai stato solo!

Ringrazio la mia famiglia che, con le porte sempre aperte e la tavola imbandita, ha saputo pazientemente aspettarmi anche tutte le volte che stavo lontano o tornavo poco e distrattamente: sapere di essere atteso ha comunque fatto tutta la differenza di sto mondo! Allo stesso modo ringrazio i miei zii, i miei cugini e i Pez, con cui ho trovato, di fatto, una nuova casa in cui essere di nuovo atteso. Grazie zio Franco, con la tua vita, ed in particolare con i tuoi ultimi giorni, hai spalancato tutti i nostri cuori e ci hai fatto vedere per cosa vale la pena spendere tutti i nostri giorni, anche quelli dedicati alla tesi.

Mamma mia quanto dico grazie agli amici del CLU e di Lavori in Corso, con loro non ci siamo mai stancati di “vivere intensamente il reale”, di cercare l’“Amor che move il sole e l’altre stelle”, e così anche il Poli è diventato una casa, un posto in cui correre con curiosità ogni mattina (quasi, ogni tanto la stanchezza si sentiva, ma non abbiamo mai mollato!).

Non posso che ringraziare i miei compagni di corso, amici veri che hanno saputo voler bene ad uno studente molto *naïf* e poco diligente, hanno capito che, anche se do il meglio di me nelle grigliate piuttosto che nei progetti di Fisica Tecnica, per affetto loro mi butterei nel fuoco.

Come dimenticare la corazzata di falegnami di Terza Categoria della Sursum Corda? Ho giocato a calcio con loro come voglio vivere tutta la vita: sapendo di avere al mio fianco qualcuno che crolla per terra svenuto piuttosto che lasciarmi da solo nella prova! Degli amici prima che una squadra, per questo chi si è imbattuto in noi si è innamorato, anche se facciamo ridere i polli!

Già i regali ricevuti negli anni dell’università sono stati tanti, in più ho ancora avuto un extra speciale per fare la tesi: un grazie di cuore alla professoressa Maffiodo, che con pazienza direi materna ha

badato ad uno studente un po' scalcagnato e alla sua tesi in continua trasformazione, secondo me finendo per affezionarsi! Ma neanche lei sarebbe riuscita a farmi laureare se in azienda non avessi trovato persone che mi hanno davvero preso a cuore e che ci hanno messo tutto del loro per darmi una mano: Gianni, Andrea e Matteo su tutti, grazie. Meno male che vi rivedo presto!

Un grazie speciale è per le suore di Borgo Vittoria e per i loro ragazzi: non basterebbero cento lauree a farmi vivere la pienezza del cuore che ho sperimentato a casa loro ogni giorno di quest'anno, anche nei momenti più faticosi. Se qualcuno ha bisogno di riscoprire cosa vuol dire essere amati gratuitamente, suoni in via Natale Palli 31.

Per dire grazie a Maria Paola, che odia questa tesi ed è indifferente al fascino smisurato dei misteri ingegneristici, ma vuole tanto bene a me, ci vorrebbe una vita... che per fortuna è proprio il tempo che ho a disposizione! Sarà molto buffo venire a discutere la tesi con mia moglie tra il pubblico: mentre scrivo questi ringraziamenti è quasi inconcepibile, eppure mi accorgo che sto già sorridendo dalla gioia.

In ultimo, chiedo scusa se ci ho messo così tanto per arrivarci, c'è il grazie più vero e più importante. Sarebbe sciocco elencare due pagine di regali ricevuti senza ringraziare chi questi regali me li fa: io certamente non sarò il più dritto che si laurea a luglio 2019, ma non voglio nemmeno essere il più sciocco!

Il mio grazie più sincero è per il buon Dio, che ha pensato ogni passo della mia strada, con un amore commovente: non mi stanco di cercarTi, insieme a tutti gli amici che incontrerò sul mio cammino!

Alla sua Mamma, che non si è mai stancata di portare in braccio un testone come me, dedico e offro questa tesi e la fatica che mi è costata.

Oh Madonna, tu sei la sicurezza della nostra speranza!

Col cuore grato,

Carlo Clot