



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI Ingegneria

Corso di Laurea triennale in **Ingegneria Meccanica**

PROGETTAZIONE DI UNA MACCHINA DI TAGLIO

DESIGN OF A CUTTING MACHINE

Relatore: Chiar.mo

Prof. **Ferruccio Mandorli**

Tesi di Laurea di:

Enea Racchini

Primo correlatore: Chiar.mo

Prof. **Marco Sasso**

A.A. 2019 / 2020

Progettazione di una macchina di Taglio

Design of a cutting machine

“MACCHINA SEMIAUTOMATICA TAGLIO CIRCOND”

MATR. LEADERMEK :LK0024 E LK0025 e LK0025

Nome cliente: VALMEX S.p.A.

Indice

- *Introduzione e obiettivi*

Si riporta una breve descrizione dell'attività svolta e del prodotto “Circond” obiettivo del progetto.

- *Descrizione macchina e funzionamento*

Sono descritte le parti principali della macchina e il suo funzionamento/ciclo di lavorazione.

- *Aspetti progettuali e programmi di modellazione utilizzati*

Vengono descritti gli aspetti salienti legati al progetto e l'utilizzo eventuale di software di modellazione/verifica come ausilio al lavoro.

Viene eseguita anche la verifica a fatica dell'albero-sega e dei cuscinetti ivi montati.

- *Documentazione tecnica (modelli, tavole, etc.)*

Si riportano come documentazione tecnica alcune delle tavole più importanti e significative e gli schemi idraulico e pneumatico della macchina.

- *Conclusioni*

Breve descrizione della fase di collaudo e dell'evoluzione che hanno subito le nuove versioni.

Introduzione e obiettivi

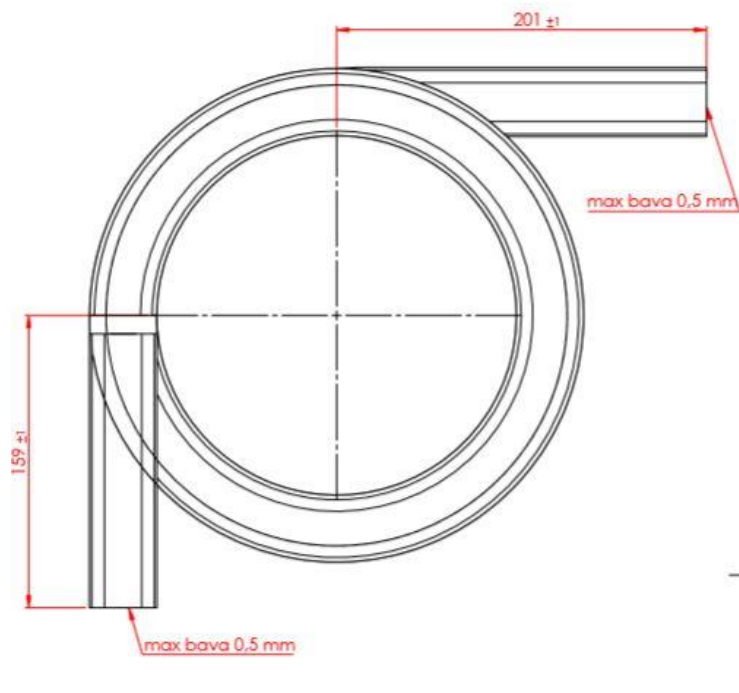
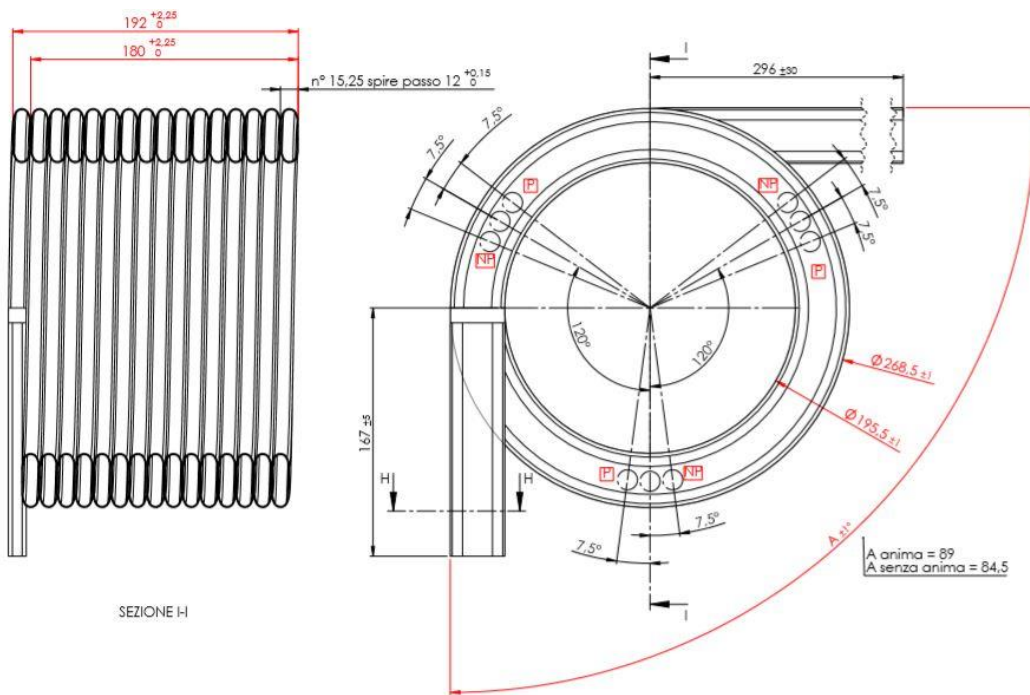
L'elaborato riguarda l'attiva che ho svolto presso l'azienda Leadermek s.r.l. di Lucrezia di Cartoceto (Pu) specializzata nella progettazione e produzione di macchine speciali nell'ambito dell'automazione industriale. Durante questo periodo ho avuto modo di assistere allo sviluppo, ingegnerizzazione, assemblaggio e collaudo della "macchina semiautomatica taglio Circond" o "troncatrice". Il cliente richiedente tale macchina è l'azienda "Valmex S.p.a." che si occupa della produzione di scambiatori di calore, e in particolare essa è adibita alla lavorazione del componente denominato "Circond".

Il **Circond** è un componente utile nella realizzazione di una caldaia a condensazione. Consiste in una bobina di acciaio inossidabile di sezione ovale, il cui scopo è lo scambio di calore fra i fumi caldi generati nella camera di combustione e l'acqua fredda in ingresso della caldaia, funge quindi da preriscaldatore o economizzatore. È dotato inoltre di un disco metallico che separa la camera di combustione e la parte condensante e la posizione del disco è variabile: questa caratteristica distintiva garantisce uno scambio termico di condensazione ottimizzato per ogni specifica potenza. Il gas di combustione caldo prodotto nella camera di combustione attraversa le prime bobine prima del disco metallico e si dirige verso il contenitore esterno realizzando lo scambio termico ad alta temperatura; il gas di scarico va oltre il deflettore e attraversa le ultime bobine, realizzando lo scambio termico a bassa temperatura che preriscalda l'ingresso dell'acqua attraverso la condensa di scarico. La condensa, prodotta a causa dell'alta diminuzione della temperatura dei fumi di scarico, fuoriesce dalla parte inferiore del Circond, sul lato opposto il gas di scarico esce dalla parte superiore.

Esistono diverse varianti di spirale che differiscono tra loro per dimensioni del tubo, numero di spire e angolo relativo tra i due tratti di estremità rettilinei (45°, 90° o 180°). La "Macchina Semiautomatica Taglio Circond" può lavorare solo gli elementi per cui è stata studiata, progettata e costruita; è consentita solo la lavorazione delle "Serpentine" di tubo inox di forma ovale che misura 37,6 x 12 mm, con diametro interno della spirale di 195,2 mm. Nel caso in cui si volessero lavorare prodotti differenti è necessario sostituire alcuni componenti di cui la macchina è dotata, in particolare il mandrino ad espansione e le ganasce di bloccaggio.



Tavole di esempio dei componenti da lavorare "circond"



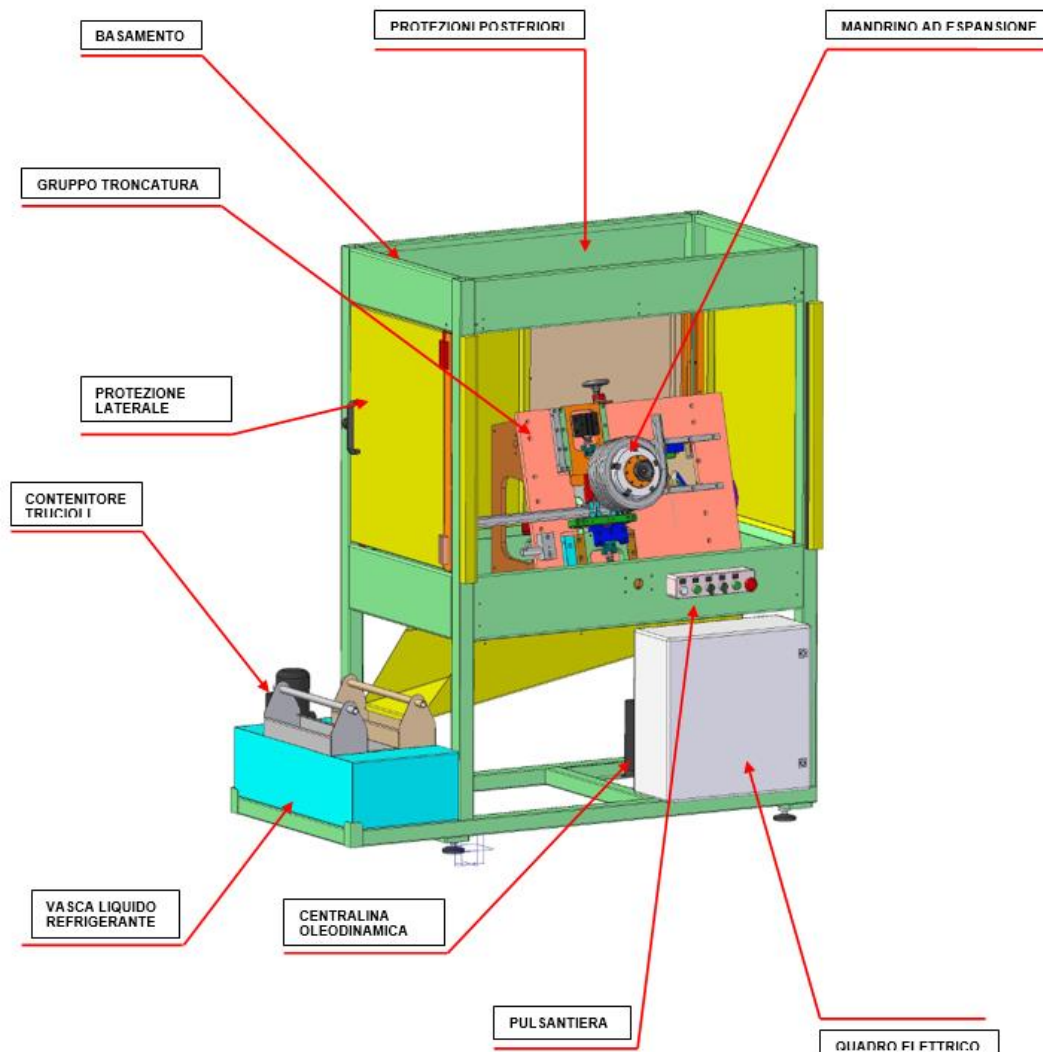
Descrizione macchina e funzionamento

La **funzione** della macchina consiste nel tagliare gli estremi rettilinei del “circond” della lunghezza desiderata, per mezzo della lama-sega di cui è dotata. È progettata per dare anche la possibilità di tagliare le due estremità opposte di due lunghezze diverse (ciclo di taglio con spostamento) grazie allo spostamento del mandrino di centraggio e due battute meccaniche orizzontali registrabili. Trattandosi di una macchina di tipo semi-automatico tutte le operazioni di carico, scarico e lavaggio dei pezzi di lavoro sono affidati a un operatore umano.

La macchina ha un peso senza liquidi e fluidi di 365 Kg; sviluppa una potenza massima complessiva di 3.3 kW e si alimenta da impianto elettrico industriale con corrente trifase + neutro a 400V con assorbimento di corrente a pieno carico di 4.8 A a 50Hz.

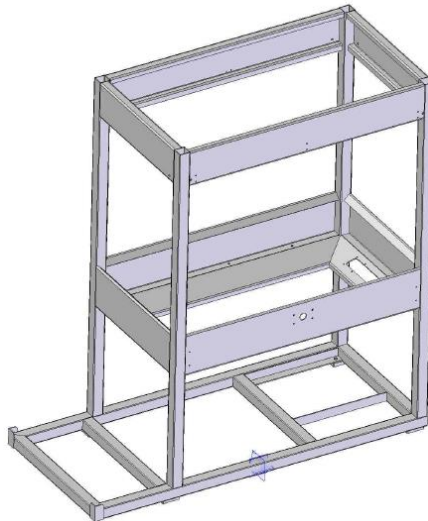
La macchina è costituita da vari gruppi, i principali sono:

1. Gruppo basamento
2. Gruppo troncatura
3. Gruppo recupero trucioli
4. Pulsantiera
5. Quadro elettrico
6. Centralina oleodinamica
7. Gruppo trattamento aria



1. Gruppo basamento

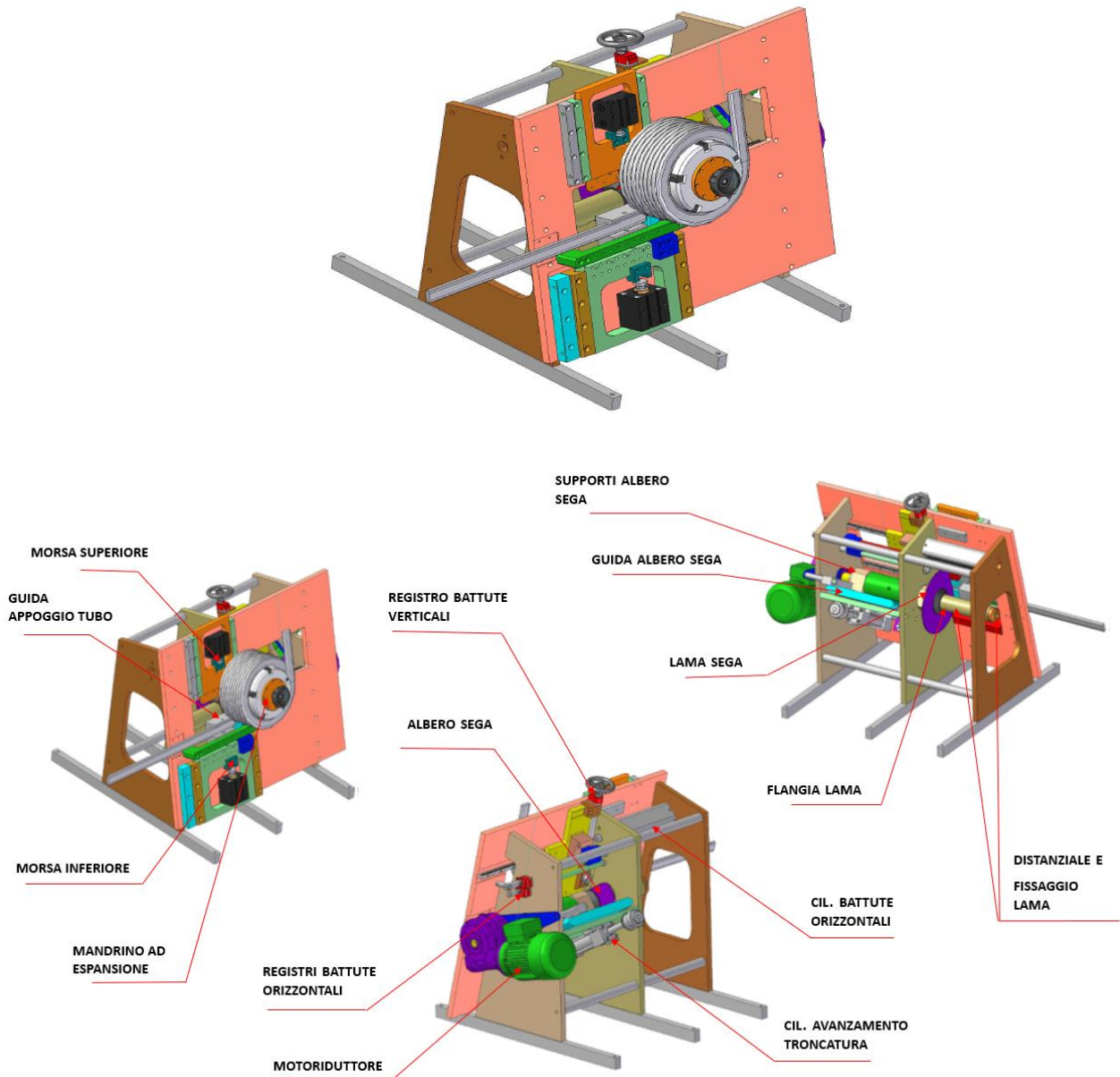
Il “Gruppo Basamento” consiste in una struttura costruita con tubolari e lamiere sagomate e piegate di grosso spessore in acciaio saldati assieme. I fascioni di lamiera piegata costituiscono il perimetro strutturale mediano e superiore del basamento e su queste vengono fissati i componenti di protezione per l’utilizzo in sicurezza della macchina. Nella parte centrale del basamento è fissato il gruppo di troncatura. Nella zona inferiore del basamento alloggiavano il quadro elettrico, la centralina oleodinamica e la vasca liquido refrigerante/lubrificante. La struttura non è dotata di cielo di copertura superiore perciò la macchina utilizza illuminazione esterna.



2. Gruppo troncatura

Il “Gruppo Troncatura” è posizionato nella zona centrale interna della macchina. È composto da una struttura con piastre in alluminio di grosso spessore lavorate con macchine utensili di precisione. Sulle zone lavorate delle piastre in alluminio sono fissati i componenti fondamentali necessari al funzionamento della macchina come: morsa idraulica superiore, morsa idraulica inferiore, gruppo albero sega, battute orizzontali pneumatiche registrabili e gruppo mandrino ad espansione. Le due morse sono formate da una slitta movimentata da cilindro oleodinamico, che scorre su guide a coda di rondine, esse hanno il compito di bloccare l’estremità del tubo da tagliare. Il gruppo albero sega è costituito da un albero, su cui è calettata la lama-sega, montato su cuscinetti a rulli precaricati, e movimentato da un motoriduttore (potenza massima 0,3kW a 400V); questo gruppo è montato su una slitta che scorre su guide a coda di rondine e movimentato da un cilindro oleodinamico. L’albero è volutamente più lungo del necessario perché esiste una variante della macchina con 2 lame-seghe disposte parallelamente sull’albero e con opportuno distanziale, ciò è finalizzato alla produzione di tronchetti di tubo da utilizzare come collettori per altri componenti, che sarebbero andati a ridurre lo scarto, progetto che poi però è stato abbandonato dall’azienda destinataria della macchina. Il mandrino ad espansione, alimentato da cilindro pneumatico, serve per il corretto posizionamento, centraggio e bloccaggio del pezzo da lavorare, in modo che l’estremità da tagliare a misura, appoggi sulla guida e venga stretto correttamente dalle due morse dotate di quattro ganasce. Le due battute orizzontali registrabili, dotate di sensori induttivi RFID, hanno la funzione di discriminare le due lunghezze di taglio sulle due estremità del tubo, e lo spostamento orizzontale tra battuta minima e quella massima è comandata da cilindro pneumatico. È presente anche una vite di registro verticale nel caso si volesse cambiare tipologia del prodotto da lavorare (in diametro, sezione tubo, numero di spire o angolo relativo fra i due terminali) per il riposizionamento del mandrino ad espansione rispetto alle morse di bloccaggio.

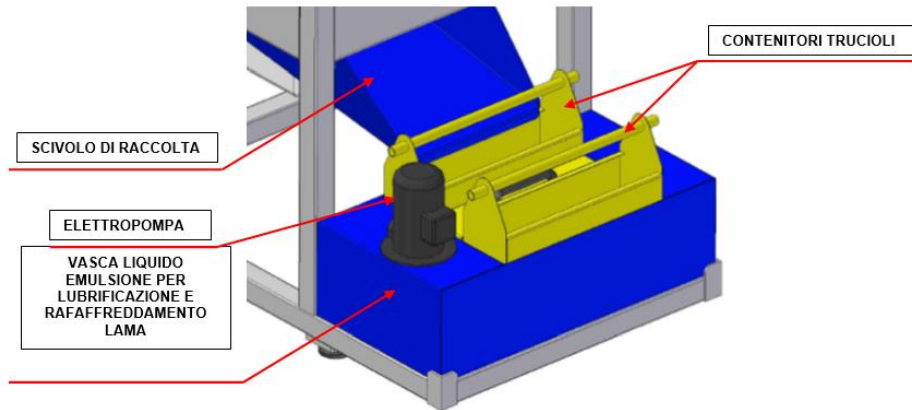
La macchina dispone anche di un ugello finalizzato al lavaggio interno del terminale appena tagliato tramite un liquido lubrificante/refrigerante, lo stesso utilizzato durante il taglio.



3. Gruppo recupero trucioli

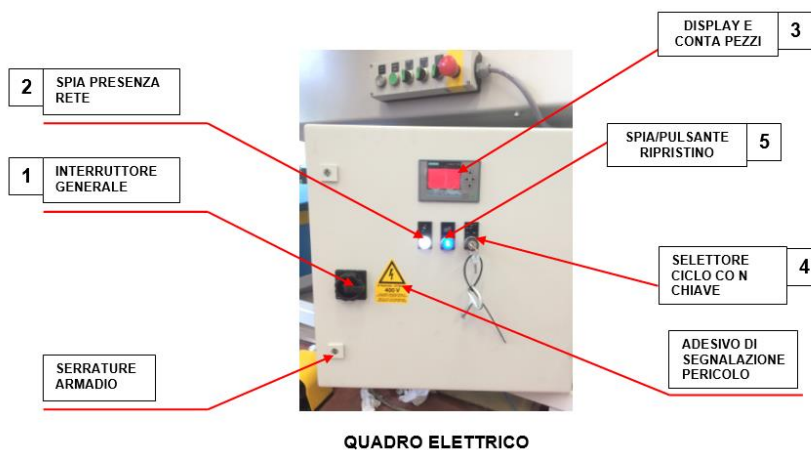
Il "Gruppo recupero trucioli" è posizionato nella zona inferiore sinistra della macchina. Esso è preceduto da uno scivolo di raccolta su cui passano i prodotti di scarto del taglio appena avvenuto, cioè il truciolo e il liquido lubrificante/refrigerante utilizzato. Il gruppo consiste in una vasca in lamiera contenente tale liquido emulsionabile per lubrificare e refrigerare la lama sega, sulla quale sono appoggiati ad incastro due contenitori dotati di rete sul fondo e di manico di presa. I contenitori hanno il compito di raccogliere i trucioli metallici prodotti durante il taglio del tubo e di lasciare passare il liquido emulsionabile nella vasca. Per evitare di fermare la macchina durante lo svuotamento dei trucioli dal contenitore sono presenti due contenitori uguali separati da un coperchio centrale appoggiato sulla vasca. I contenitori si possono far scorrere verso l'esterno della macchina per facilitarne il sollevamento con l'ausilio di un sistema meccanico di sollevamento.

Fissata sulla vasca c'è una elettropompa ad immersione, che pesca il liquido dalla vasca e lo porta attraverso una conduttura, sulla lama sega. In uscita dall'elettropompa è presente un rubinetto ed una valvola di non ritorno. Con il rubinetto è possibile regolare la quantità di liquido lubrificante/refrigerante che affluisce sul disco di taglio. La vasca è appoggiata sul basamento, e tenuta ferma lateralmente da angolari di contenimento saldati sul basamento.



4. Quadro elettrico

Il quadro elettrico di comando è posizionato nella zona inferiore della macchina. All'interno del quadro elettrico di comando sono presenti tutti i componenti elettrici di comando, controllo e di sicurezza necessari al corretto funzionamento della macchina. Sul pannello frontale sono montati interruttori, spie luminose di stato, pannello di interfaccia diagnostica e le due serrature per l'apertura del pannello frontale. Nella parte centrale sinistra del pannello di comando è presente l'interruttore rotativo ON/OFF per l'accensione e lo spegnimento della macchina con al centro l'adesivo giallo di pericolo che avvisa della presenza di tensione di 400V all'interno dello stesso. Sopra al centro è presente la spia luminosa di colore bianco "presenza rete". Nella parte alta al centro è ben visibile il display digitale Siemens (PLC) "LOGO! TDE" che ha la funzione di "conta pezzi", "reset conta pezzi" e di evidenziare messaggi di diagnostica dello stato della macchina e di suggerimenti all'Operatore.

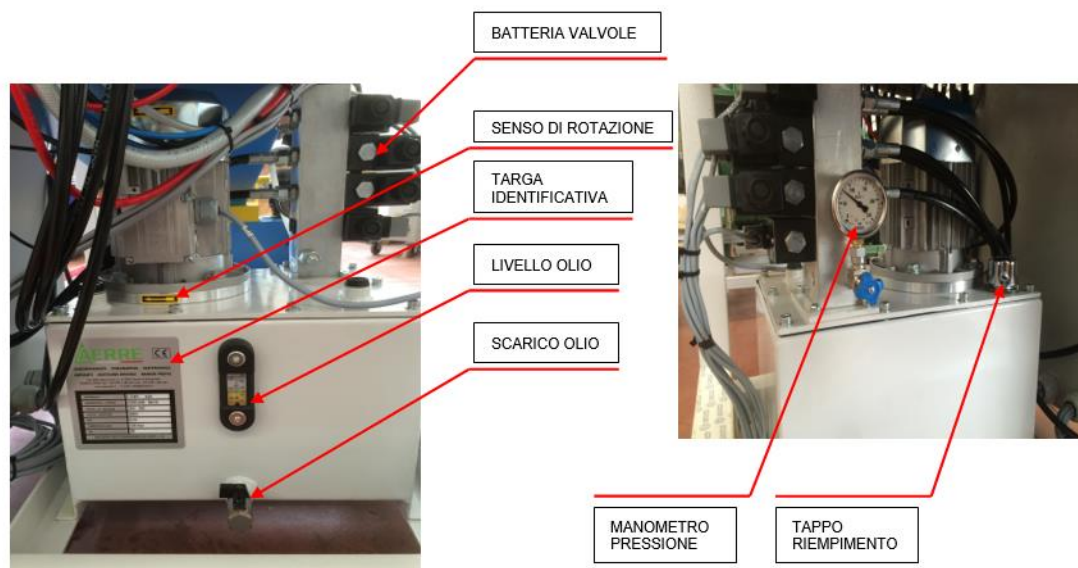


- 1- "interruttore generale". Selettore rotativo rete On/Off.
- 2- "Spia presenza rete" con spia bianca.
- 3- "display" e "conta pezzi". Il conta-pezzi conta e memorizza il numero dei pezzi eseguiti, il Display ha inoltre la funzione di indicare all'Operatore messaggi sullo stato della macchina ed indicare suggerimenti di soluzione.

- 4- "selettore con chiave", permette di impostare il ciclo automatico o manuale.
- 5- "spia/pulsante ripristino", consente di ripristinare il funzionamento dopo spegnimento o arresto di emergenza.

5. Centralina oleodinamica

Costituita da base/serbatoio contenente circa 50 litri di olio dotato di indicatore visivo di livello e raccordo con rubinetto e tappo per scarico olio. Sul piano superiore sono sistemati: motore elettrico (400V AC e 0,75kW di potenza massima), batteria valvole (24V DC) con valvola di messa a scarico, manometro generale e regolatore di pressione. Sulla targhetta identificativa sono indicati tutti i dati caratteristici della centralina e della tipologia di fluido da utilizzare. La centralina oleodinamica alimenta i due cilindri che movimentano le morse per il blocco del tubo durante l'operazione di troncatura, e il cilindro che movimentata la slitta di avanzamento della lama sega. Per il corretto funzionamento della macchina la pressione dell'olio è regolata superiormente a 120 bar.



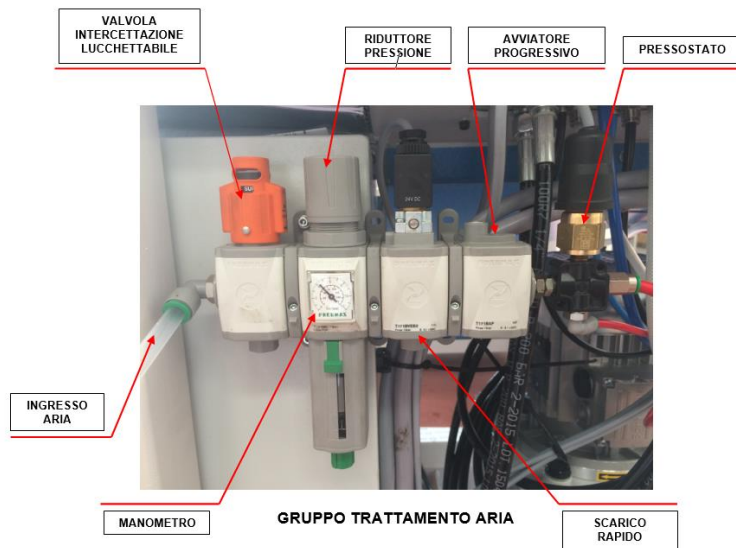
6. Gruppo trattamento aria

Sul fianco destro della macchina, troviamo il gruppo trattamento aria Pneumax. Esso è funzionale per l'utilizzo del mandrino ad espansione e per il suo spostamento orizzontale.

Il gruppo trattamento aria è composto da vari elementi, da sinistra a destra:

- Valvola di intercettazione con possibilità di inserimento lucchetto
- Filtro riduttore di pressione con manometro e serbatoio per la separazione della condensa.
- Avviatore progressivo comandato da elettrovalvola.
- Scarico rapido.
- Pressostato.

Per il corretto funzionamento della macchina, la pressione deve essere regolata attorno ai 4,5 bar.

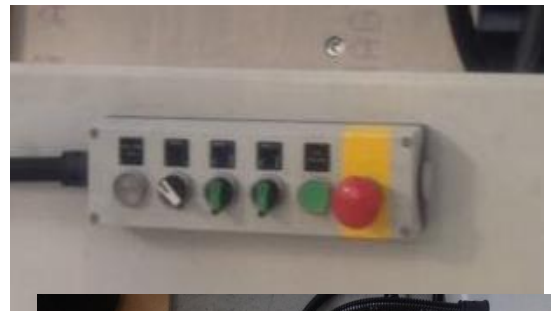


7. Strumenti di comando

Essi costituiscono per l'operatore umano tutti gli strumenti per lo svolgimento e il controllo del lavoro sulla macchina. Sono fondamentalmente tre: la pulsantiera, i pedali e il semaforo.

a) La pulsantiera dispone dei seguenti comandi, da sinistra a destra:

- pulsante avvio ciclo (ciclo automatico).
- selettore ciclo fisso/con spostamento (se lunghezze dei due terminali dei circond differenti).
- selettore morsa superiore (solo con ciclo manuale)
- selettore morsa inferiore (solo con ciclo manuale)
- pulsante ritorno carro di taglio (solo con ciclo manuale)
- fungo rosso di emergenza, che ferma la macchina in caso di emergenza.



b) I pedali hanno le seguenti funzioni, da sinistra a destra:

- "centratore", una volta posizionato il "circond" sul mandrino ne determina l'espansione attivando il cilindro pneumatico.
- "spostamento", nel caso di ciclo di taglio con spostamento.
- "lavaggio", per il lavaggio del pezzo subito dopo il taglio del tubo.



c) Il semaforo ha funzione di segnalazione, a 4 colori:

- rosso=emergenza,
- giallo=centratore espanso,
- verde=macchina pronta al carico/scarico.
- blu=macchina pronta al ciclo automatico



FUNZIONAMENTO

Le lunghezze dei terminali rettilinei lavorabili vanno da una lunghezza minima di 35 mm fino ad una lunghezza massima di 250 mm, partendo da una lunghezza massima del tubo di partenza di 700 mm. Il taglio presuppone quindi uno scarto consistente, che non è eliminabile poiché il "Circond" viene ottenuto dalla piegatura di un tubo rettilineo intorno a un punto di centro, e 700mm è la misura imposta dall'utensile che esegue tale lavorazione.

Il tempo medio di ciclo considerando il bloccaggio del pezzo e il taglio è di circa 20 secondi, esso dipende dall'affilatura del disco e dalla bava accettata.

Le sequenze di lavorazione possono essere brevemente descritte nel seguente modo: l'Operatore posiziona il "Circond" sul mandrino ad espansione con la prima estremità del tubo da tagliare in posizione orizzontale allineandola alla guida di appoggio e premendo il pedale comanda l'espansione del mandrino che blocca il "Circond". L'Operatore avvia il ciclo di troncatura premendo il pulsante start ciclo presente sulla pulsantiera che si trova sul frontale della macchina. Le due morse oleodinamiche (inferiore e superiore) bloccano l'estremità rettilinea del tubo da tagliare, la lama sega inizia a girare ed avanza (con velocità di avanzamento regolabile), fino alla troncatura del tubo. Durante la rotazione della lama sega, il liquido emulsionabile di raffreddamento/lubrificazione affluisce lambendo la lama sega. Terminato il taglio la lama si ferma, torna indietro alla posizione fissa di riposo, le morse si aprono, il mandrino ad espansione libera il "Circond". L'Operatore può prelevare il "Circond" con l'estremità tagliata alla misura impostata e reinserirlo sul mandrino dal lato opposto per la troncatura dell'altra estremità del tubo. A questo punto una discriminazione importante avviene se si è scelta la selezione "ciclo fisso", nel caso si vogliano le due estremità di stessa lunghezza, e perciò il carro del mandrino rimane fermo, oppure del "ciclo con spostamento" per cui, quando si va a tagliare la seconda estremità, il carro del mandrino si sposta della quantità impostata dalle battute orizzontali. La regolazione delle battute per la modifica delle lunghezze di taglio può avvenire in ogni momento, a macchina ferma, intervenendo sulle viti di registro. Sono presenti due indicatori digitali che indicano la lunghezza massima e minima di taglio.

La macchina, dopo ogni taglio, effettua il lavaggio interno della parte terminale appena tagliata per la rimozione dei trucioli, per un tempo di circa 10 secondi. Questa operazione si fa tramite lo stesso liquido refrigerante di taglio inserendo la serpentina su un ugello ed azionando il pedale apposito ("Lavaggio"), essa consente di avere un prodotto finito senza residui e quindi pronto alla lavorazione successiva, che consiste in un'operazione di bicchieratura dei due terminali appena tagliati.

Quando si deve cambiare tipo di tubo da tagliare, è necessario sostituire le ganasce sagomate delle morse di stretta, il mandrino ad espansione e modificare la posizione dell'altezza del bloccaggio attraverso il volantino superiore. La lama-sega che equipaggia la troncatrice è un disco con diametro interno di 32 mm ed esterno di 250 mm con uno spessore di 1,5 mm; la lama sega è riaffilabile fino ad arrivare ad un diametro minimo di 230 mm. Ogniqualvolta si varia il suo diametro, si deve andare a spostare la ghiera per il fine corsa del cilindro idraulico che movimentata la relativa slitta, così da evitare che nel taglio la lama avanzi oltre il necessario. Questo è innanzitutto importante nel caso in cui il taglio sia eseguito a una distanza molto breve dal centro, per non andare a danneggiare le spire successive del "circond", e inoltre, in ogni caso, una corsa ridotta al minimo necessario riduce i tempi di ciclo.

Una volta terminato, il pezzo finito viene poi sottoposto a campione a un controllo di qualità, che verifica la precisione della misura di taglio basata su un sistema ottico "passa-non passa". Le estremità tagliate vengono una per volta posizionate opportunamente fra due laser a una distanza che dipende dalla tolleranza che si vuole ottenere nel taglio; se il terminale tagliato si troverà fra i due laser allora il pezzo è accettabile.

Scelte progettuali e strumenti di modellazione

Le scelte progettuali della macchina “semi-automatica taglio circond” sono partite dall’esigenza di ottenere un *taglio* preciso a misura e di qualità, cioè senza la generazione di bava.



Il disco utensile sega è stato scelto di acciaio super rapido, la velocità di taglio ottimale di un acciaio HSS sull’acciaio Inox del “Circond” è stata determinata, consultando le apposite tabelle, attorno ai 20 m/min. La velocità periferica della sega è mantenuta pressoché sempre costante dalle limitazioni sul diametro del disco. Esso infatti, come detto, da un diametro di partenza di 250mm, può essere riaffilato fino a un diametro minimo di 230mm, dopodiché andrà sostituito con un altro nuovo.

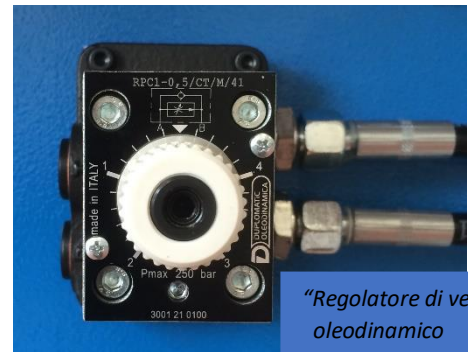
Per avere un taglio senza bava, inoltre, si è scelta una sega con denti piccoli e a passo breve, 3mm, dal momento che non si presentava il problema dell’accumulo di truciolo che andasse a riempire lo spazio tra i denti e a influire quindi sull’efficienza del taglio, poiché l’oggetto

da tagliare è un tubo cavo di piccola sezione e di poco spessore.

Inoltre, per una qualità di taglio ottimale, si è scelto di avere un avvicinamento dell’albero sega non in direzione orizzontale alla serpentina, che avrebbe oltretutto diminuito la corsa e quindi il tempo ciclo, ma inclinato di 30°, ciò determina il miglior punto di attacco della lama sega sul tubo da tagliare.

Durante il taglio poi viene spruzzato il liquido lubro-refrigerante che ne migliora l’esecuzione.

Un altro aspetto importante da considerare è la *regolarità dell’avanzamento* del taglio. L’avanzamento della slitta del gruppo albero sega deve essere quanto più possibile regolare per garantire un taglio di buona qualità e senza formazione di bava. A tale scopo nel condotto di avanzamento del cilindro oleodinamico è montata una valvola anticaduta per regolare la discesa dell’albero, e nel condotto di ritorno, vi è un regolatore di velocità oleodinamico “Diplomatic” che regola la portata di passaggio dell’olio durante l’avanzamento della sega. Quest’ultimo ha la particolarità di essere compensato in pressione, cioè esercita un ostacolo al passaggio dell’olio proporzionale alla sua temperatura, che ha influenza sulle caratteristiche fluidiche dell’olio stesso.



“Regolatore di velocità oleodinamico

Per dare massima rigidità all’avanzamento inoltre, sono state scelte

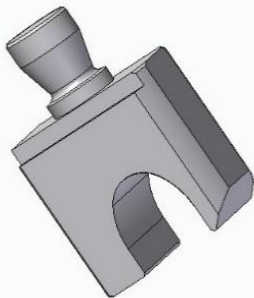
le slitte a coda di rondine su guide fatte di bronzo per avere un basso attrito. Tutto ciò è funzionale a ottenere un sistema quanto più possibile stabile e rigido, che non soffra le vibrazioni, e con un avanzamento regolare che non subisca scossoni anche con l’improvviso aumentare del carico esterno, dovuto all’aggancio della sega sul materiale da tagliare.

Un’altra scelta importante riguardante le guide in bronzo delle slitte, sia dell’albero sia delle morse, è che esse sono richieste esplicitamente da disegno a spigolo vivo sugli estremi. Questo ha la funzione di rendere le guide autopulenti, cioè evita che residui di taglio, come i trucioli, possano finire fra la guida e la slitta andando a compromettere lo scorrimento e deteriorando gradualmente per usura i materiali.

Altro aspetto fondamentale del progetto riguarda il corretto *posizionamento* e *centraggio* del pezzo sulla macchina. Il taglio infatti deve essere eseguito a una distanza dal centro della serpentina ben determinata; da disegno, fornito con la commessa, il "Circond" ha una tolleranza di ± 1 mm.

Questo viene garantito con il bloccaggio del pezzo sul mandrino a espansione alimentato da un cilindro pneumatico, che quando attivato, spinge un albero contro dei cunei appositi all'interno del mandrino, che quindi si espande; quando poi il ciclo è terminato, cessa la forza del cilindro e il mandrino torna nella posizione di riposo grazie a un ritorno a molla sui cunei.

Se si esegue un ciclo con spostamento, va garantito uno spostamento di precisione del mandrino fra le due posizioni di taglio; questo avviene tramite un sistema meccanico molto semplice con due barre filettate M16 su cui sono montate le due battute meccaniche. Il cilindro pneumatico che esegue lo spostamento orizzontale del mandrino porta il sistema a battuta da una parte e dall'altra in modo alternato, ed esercita una pressione aggiuntiva che permette di avere la precisione richiesta a prescindere dai giochi della vite. Come già detto, per modificare le lunghezze del taglio si può facilmente intervenire, a macchina ferma, sulle viti di registro con apposito volantino e indicatore digitale. Questo è un sistema semplice a basso costo di implementazione e manutenzione. Sulle due battute sono anche installati come sistema aggiuntivo di sicurezza i due sensori induttivi RFID che verificano che la corsa sia stata eseguita correttamente e che non vi siano degli impedimenti, come per esempio del truciolo o peggio l'operatore, che non consentano la corsa completa.

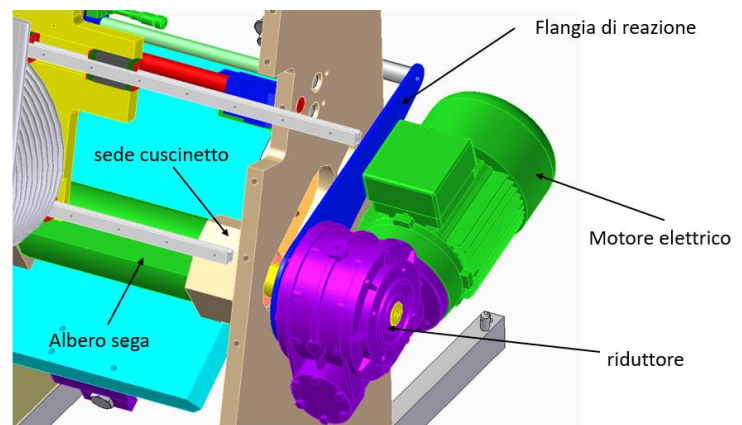


"ganaschia"

Infine, per il bloccaggio del pezzo da lavorare, dopo che esso è stato appoggiato sulle apposite guide, per garantire stabilità sono state pensate due morse (superiore e inferiore) con quattro ganasce, che ricalchino perfettamente il profilo del tubo che devono abbracciare. Entrambe sono movimentate da cilindro oleodinamico doppio effetto (componenti commerciali) ed entrano in funzione in modo alternato, prima parte la morsa inferiore che è dotata di cilindro con diametro da 40mm e non va ad appoggiare direttamente sul tubo, altrimenti rischierebbe di danneggiarlo per la troppa forza, ma va a battuta meccanica sulla struttura; a questo punto scende la morsa superiore, che invece appoggia proprio sul tubo fino al serraggio. Quest'ultima è dotata di cilindro più piccolo, di diametro 32mm così da evitare rotture del tubo e impedire l'arretramento della morsa inferiore per eccessiva spinta.

Il motore dell'albero-sega è un motore elettrico a 4 poli da 0,3 kW di potenza a 1500 giri/min ed è seguito da un riduttore con rapporto di riduzione di 1:86 con il risultato di una coppia massima sviluppabile sull'albero di 164,25 Nm. La trasmissione di potenza fra riduttore e albero avviene tramite una linguetta di tipo A9x8x25, la coppia viene poi trasmessa dalle flange alla sega con spine di collegamento e per attrito.

Il motoriduttore è montato "pendolare" cioè non è fissato meccanicamente alla struttura del gruppo troncatrice, ma soltanto sull'albero. Questo dipende dal fatto che l'albero non può essere prodotto con assoluta perfezione e avrà intrinsecamente dei punti fuori centro, in più il montaggio (accoppiamento h7 con cuscinetti $\varnothing 40$) non sarà preciso al millesimo, e questo causerà piccole vibrazioni durante il



«Motore pendolare»

funzionamento che, a lungo termine, dopo migliaia di cicli, porteranno alla rottura del riduttore. Per questa ragione si è scelto di lasciare margine di movimento al motoriduttore, affinché assorba le sollecitazioni e abbia maggior vita utile; esso è stato poi collegato alla slitta dell'albero con la "flangia di reazione" che ne impedisce la rotazione e gli conferisce rigidità radiale.

Infine, dato il senso di rotazione dell'albero, si è fissata la lama-sega all'estremità opposta del riduttore con una vite sinistra, in modo che la coppia su di essa tenda a stringerla, viceversa su una vite destra si sarebbero avuti allentamenti continui fino a smontaggi.

Dal punto di vista dell'*ergonomia* si è posizionato il gruppo di taglio ad un'altezza opportuna che sia agevole all'operatore per il carico/scarico pezzi. Inoltre, il "leggio", ossia la piastra di base del gruppo troncatrice, è inclinata di un angolo di circa 5° per far sì che il "circond" sia stabile sulla macchina anche a mandrino non espanso.

Ultimo aspetto riguardante la progettazione, ma di primaria importanza, è quello legato alla *sicurezza* di utilizzo. La macchina deve garantire la sicurezza dell'operatore; è stata progettata affinché da ogni parte di essa non si possa accedere e arrivare alle parti mobili mentre è in esecuzione il ciclo di taglio. Oltre ai dispositivi di protezione individuale e agli adesivi di segnalazione pericolo, i sistemi di sicurezza di cui la macchina dispone sono:

- Barriera fotoelettrica frontale a intercettazione dito
- Sensori magnetici RFID che rilevano spostamento orizzontale inatteso del centratore
- Porte perimetrali dotate di cerniere allarmate con microinterruttore integrato; intervengono se aperte durante il ciclo di lavoro
- Fungo rosso di emergenza (pulsantiera)
- Gruppo avviatore pneumatico progressivo con pressostato e valvola di scarico rapido. L'avviatore progressivo permette di avere una ripresa graduale della forza sul cilindro al ripristino.
- Valvola di esclusione aria compressa lucchettabile durante operazioni di manutenzione.



Sensori Rfid "Pizzato"

I sistemi di sicurezza hanno tutti contatti ridondanti, per cui anche se uno si danneggiasse per qualsiasi motivo, è garantito in ogni caso il funzionamento. Qualora la macchina entrasse in allarme, questi sistemi vanno ad aprire i contatti sui motori disarmando tutti i cilindri oleodinamici e pneumatici.

Ogniqualevolta la macchina andasse in emergenza, per il riavvio è necessario riportarla a posizione di inizio ciclo e premere il pulsante "Ripristino Emergenza" di luce blu sul quadro elettrico.

La macchina è stata progettata conforme alle normative europee sulla sicurezza 2006/42/, 2006/95/CE, 2004/108/CEE, 97/23/CE PED e successive modificazioni.

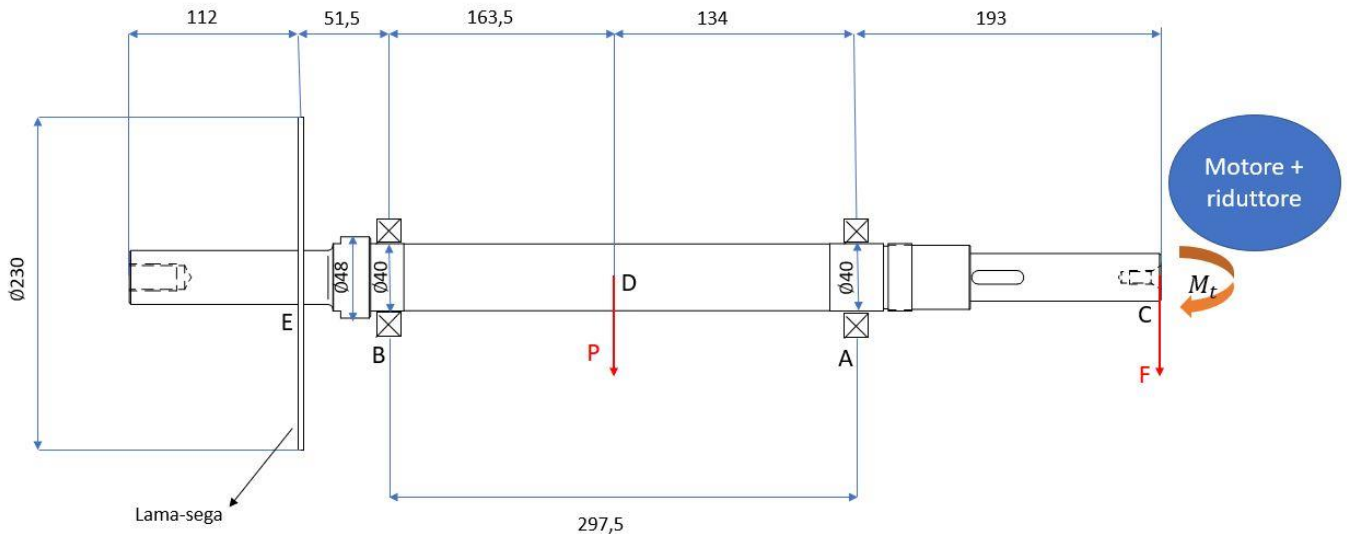
Il *Progetto e sviluppo* di tale macchina è stato interamente svolto dall'azienda costruttrice Leadermek S.r.l. a partire da sistemi CAD di modellazione 3D, in particolare il software utilizzato è Solid Edge. L'azienda utilizza come convenzione per tale progetto i codici 0099_ e 0121_ seguiti da numeri progressivi a quattro cifre se si tratta di un "Part" o a tre cifre se si tratta di un "Assembly". Ogni file "Part" e tutti gli "Assembly" hanno il rispettivo file "Draft" per le tavole 2D e la produzione di tutti i componenti del progetto presso aziende specializzate. Per quanto riguarda invece l'impianto elettrico, è progettato da un'azienda esterna, "Olmar s.n.c.", specializzata negli impianti elettrici per l'automazione industriale, con l'ausilio del CAD elettrico denominato "Sabik".

Non sono invece stati necessari strumenti di verifica o simulazione. Trattandosi di una macchina a bassa potenza, non sono state registrate situazioni critiche di sollecitazioni dei materiali. In questo senso l'unico componente di interesse è costituito dall'albero sega, esso durante l'utilizzo è sottoposto a flessione-torsione senza intagli rilevanti; il dimensionamento è stato eseguito dal progettista basandosi sulla sua esperienza pluriennale utilizzando un coefficiente di sicurezza che garantisce l'utilizzo prolungato a fatica.

Verifica a fatica dell'albero-sega

Ho svolto come supplemento all'attività lavorativa la verifica a fatica del componente.

Dati:



Massa albero=5,32 kg → forza peso $P=52,1N$ (applicata approssimativamente a metà lunghezza)

Peso motoriduttore: $F=100N$

Materiale albero= Acciaio da costruzione C40

- Tensione rottura $\sigma_r = 650 \text{ Mpa}$
- Tensione snervamento $\sigma_s = 400 \text{ Mpa}$
- Tensione limite di fatica $\sigma_{LF} = 280 \text{ Mpa}$

I due cuscinetti sono posizionati nei punti denominati A e B

Nelle condizioni di massimo carico, potenza massima del motore $P_{max} = 300W$ a 1500 r.p.m.

→ Velocità angolare $\omega=157,1 \text{ rad/s}$ e Coppia sviluppata $C=1,91 \text{ Nm}$

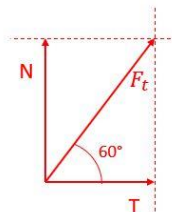
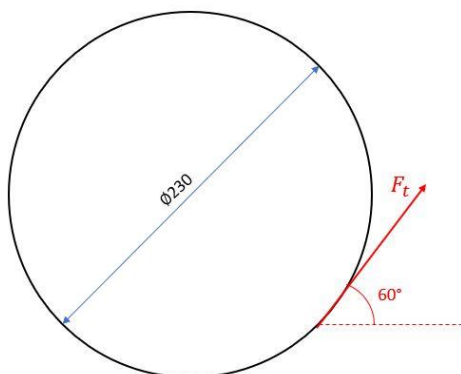
Riduttore 1:86 → Coppia sull'albero $C'=164,23 \text{ Nm}$ interamente scaricata sulla lama-sega

→ velocità angolare dell'albero $\omega'=1,83 \text{ rad/s}$

Considero la lama-sega con il suo diametro minimo ammissibile $d_{sega} = 230 \text{ mm}$

Svolgimento

La corsa della sega è inclinata di 30° rispetto all'orizzontale. Chiamo la forza generata con il taglio (considerando solo la componente tangenziale) F_t



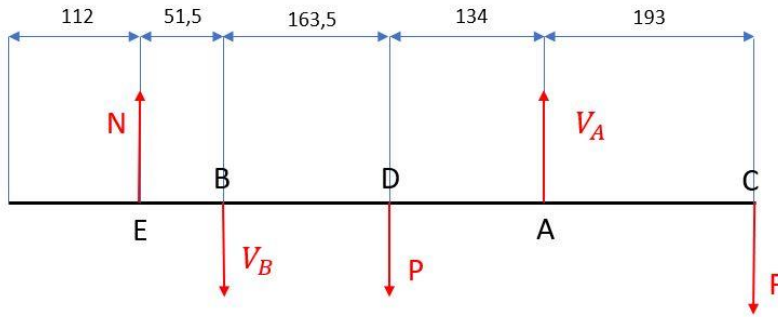
$$F_t = \frac{C'}{d_{sega}} = 714,04 \text{ N}$$

$$N = F_t \sin(60^\circ) = 618,4 \text{ N}$$

$$T = F_t \cos(60^\circ) = 357,02 \text{ N}$$

In base alle forze applicate sull'albero, attraverso le equazioni di equilibrio della statica (equilibrio delle forze verticali, orizzontali ed equilibrio dei momenti) si ricavano le forze scaricate sui cuscinetti nei due piani, x-y e x-z, quindi anche le sollecitazioni di flessione e torsione su ogni punto dell'albero.

Piano x-y

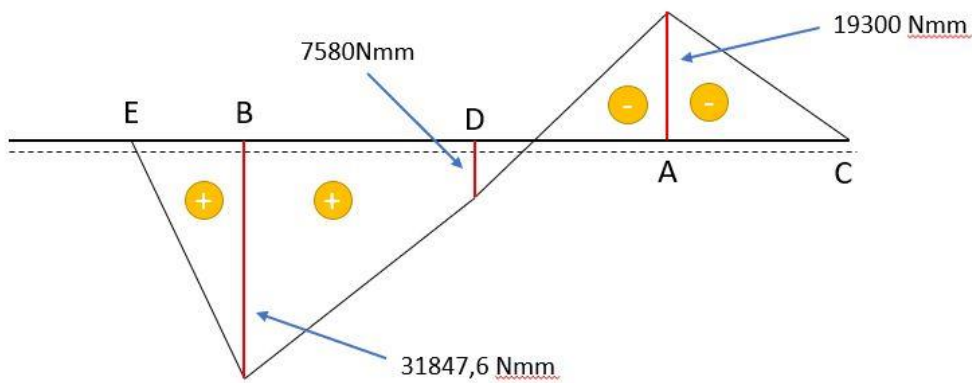


Dagli equilibri:

$$V_A = 300,6 \text{ N}$$

$$V_B = 766,9 \text{ N}$$

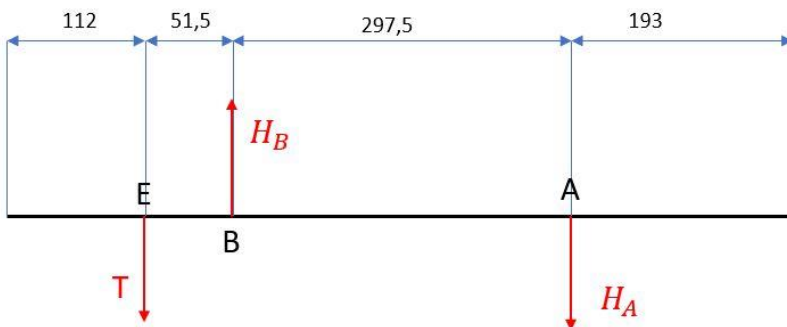
Momento Flettente x-y



$$M_{fA} = 19300 \text{ Nmm}$$

$$M_{fB} = 31847,6 \text{ Nmm}$$

Piano x-z

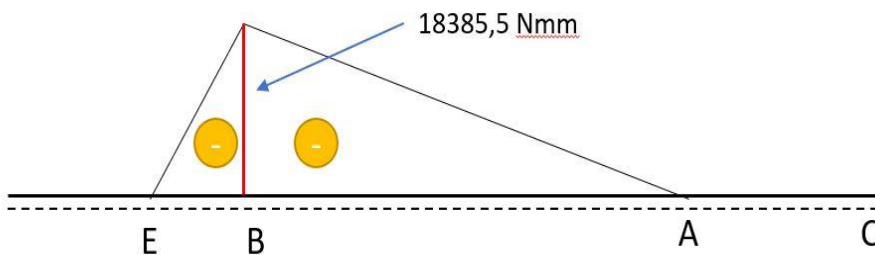


Dagli equilibri:

$$H_A = 61,8 \text{ N}$$

$$H_B = 418,82 \text{ N}$$

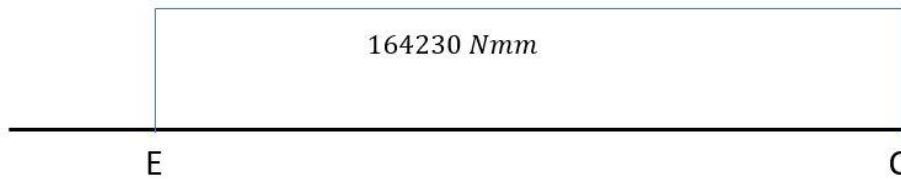
Momento Flettente x-z



$$M'_{fA} = 0 \text{ Nmm}$$

$$M'_{fB} = 18385,5 \text{ Nmm}$$

Momento Torcente



Coppia è costante sul tratto dal motoriduttore alla sega,

$$M_t = 164230 \text{ Nmm}$$

Trovo che il punto B è quello più sollecitato dell'albero:

$$M_{fBtot} = \sqrt{31847,6^2 + 18385,5^2} = 36773,58 \text{ Nmm}$$

$$M_t = 164230 \text{ Nmm}$$

Tensioni sul punto B ($\varnothing 40$):

$$\text{Modulo di resistenza a flessione } W_f = \frac{\pi d_B^3}{32} = 6283 \text{ mm}^3 \quad \rightarrow \sigma_f = \frac{M_f}{W_f} = 5,85 \text{ MPa a flessione}$$

$$\text{Modulo di resistenza a torsione } W_t = \frac{\pi d_B^3}{16} = 12566,37 \text{ mm}^3 \quad \rightarrow \tau_m = \frac{M_t}{W_t} = 13,07 \text{ MPa a torsione}$$

$$\text{Tensione alterna } \sigma'_a = K_e \times \sigma_f \text{ (con intaglio)} \rightarrow \sigma'_a = 11,52 \text{ MPa}$$

$$\text{Tensione media } \sigma'_m = \sqrt[3]{3} \times \tau_m \text{ (Von Mises)} \rightarrow \sigma'_m = 22,64 \text{ MPa}$$

$$\text{Fattore effettivo d'intaglio } K_e = 1 + q(K_t - 1) = 1,97$$

$$\text{Fattore teorico d'intaglio } K_t = 2,7 \text{ (da tabelle @ } \frac{r}{d} = 0,0125, \frac{D}{d} = 1,2)$$

$$\text{Sensibilità all'intaglio (Neuber) } q = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{\rho}{r}}} = 0,57$$

$$\rho = 5,08 \times \left(1 - \frac{\sigma_s}{\sigma_r}\right)^3 \times \left(1 - \frac{1,27}{d_B}\right) = 0,28$$

$$\text{Tensione limite di fatica "corretta" } \sigma'_{LF} = b_1 \times b_2 \times \sigma_{LF} = 218,74 \text{ MPa}$$

$$b_1 = 1,243 \times d_B^{-0,107} = 0,84$$

$$b_2 = 0,93 \text{ (da tabelle @ finitura di rettifica fine)}$$

Verifica a fatica (secondo Goodman):

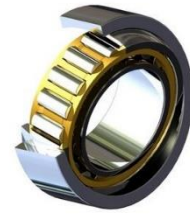
$$\frac{\sigma'_a}{\sigma'_{LF}} + \frac{\sigma'_m}{\sigma_s} = \frac{1}{X}$$

X = Coefficiente di sicurezza

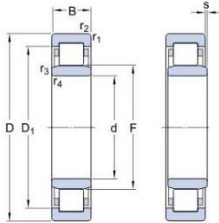
$$X = \frac{1}{\frac{\sigma'_a}{\sigma'_{LF}} + \frac{\sigma'_m}{\sigma_s}} = 9,15 \text{ progettato abbondantemente a vita infinita: } > 10^7 \text{ cicli di lavoro.}$$

Verifica cuscinetti

Cuscinetto SKF NU1008 (a rulli)



Specifiche tecniche (catalogo)



DIMENSIONI

d	40 mm
D	68 mm
B	15 mm
D ₁	≈ 57.6 mm
F	47 mm
r _{1,2}	min. 1 mm
r _{3,4}	min. 0.6 mm
s	max. 2.4 mm

Verifico durata cuscinetto: “Durata corretta” (in milioni di cicli)

$$L_{1a} = a_1 \times a_2 \times a_3 \times \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

- $a_1 = 0,21$ fattore correttivo sulla durata; in questo caso si considera un’affidabilità del 99%, affidabilità massima
- Coefficiente di carico dinamico $C=25100$ N (da catalogo)
- $p = \frac{10}{3}$ (per i cuscinetti a rulli)
- Carico equivalente (considero cuscinetto B, cioè il più caricato): $P = \sqrt{766,9^2 + 418,82^2} = 873,81$ N

$$L_{1a} = 15243 \text{ (in milioni di cicli)}$$

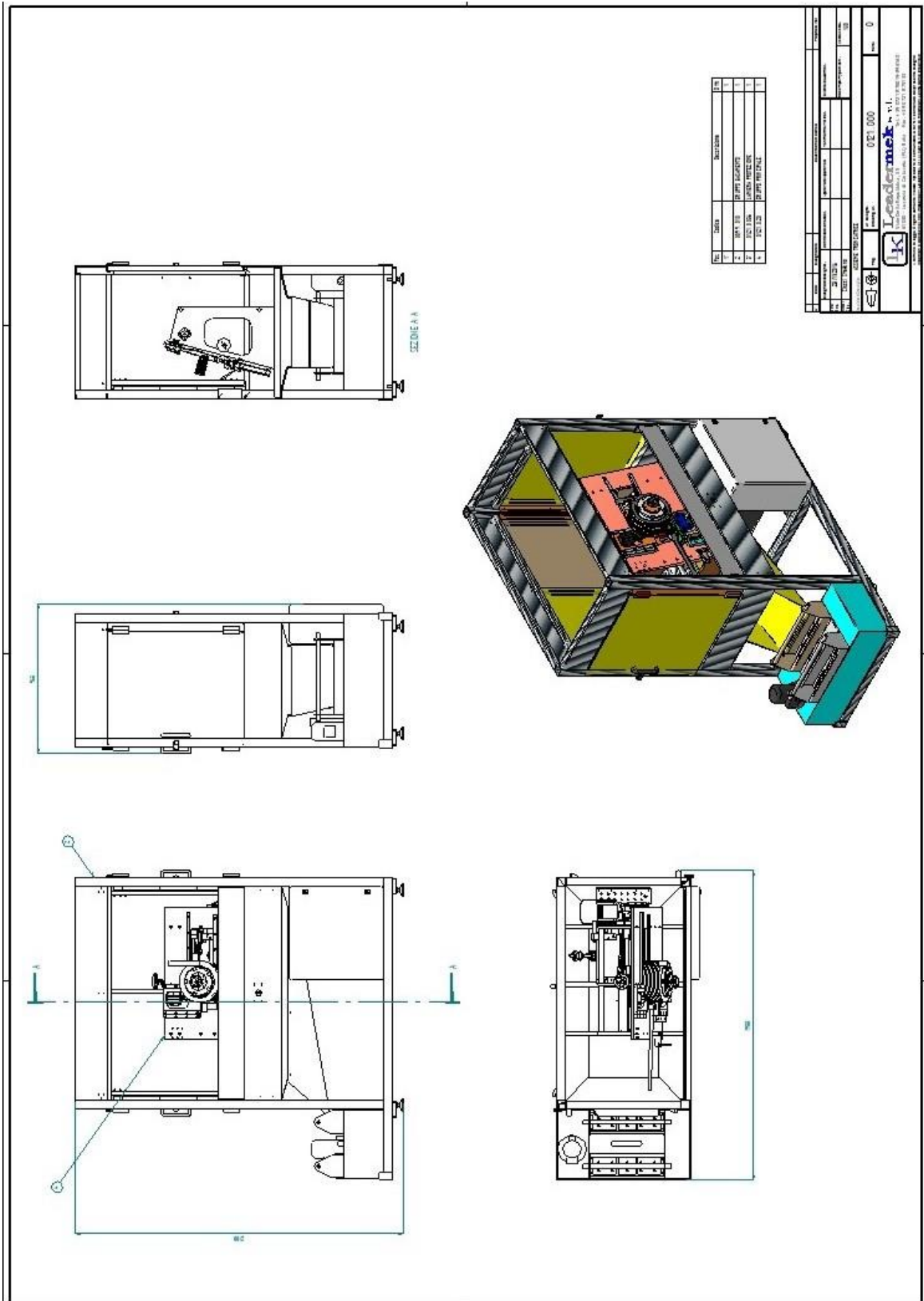
Si può affermare con precisione quasi assoluta che anche i cuscinetti hanno vita infinita.

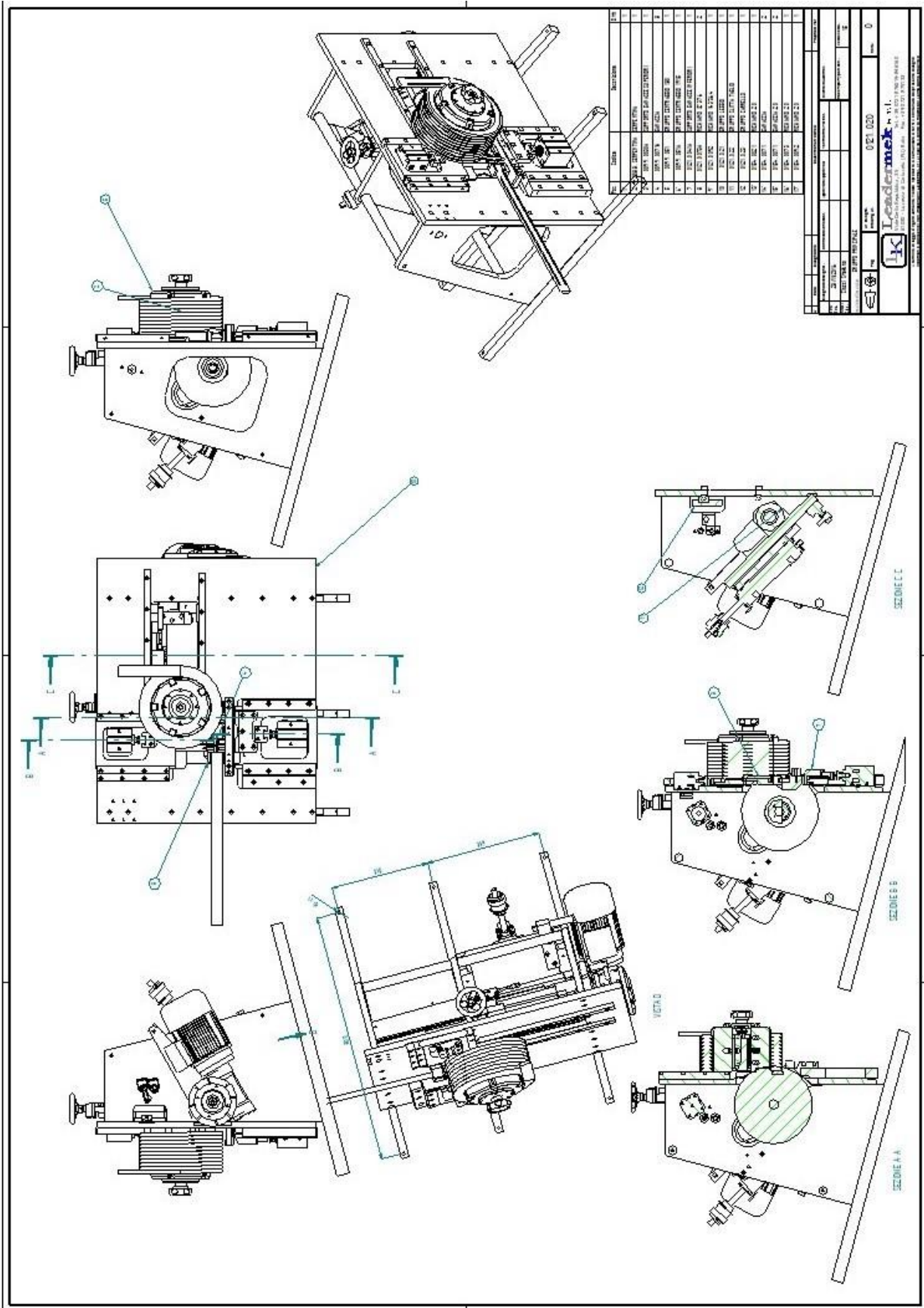
Documentazione tecnica

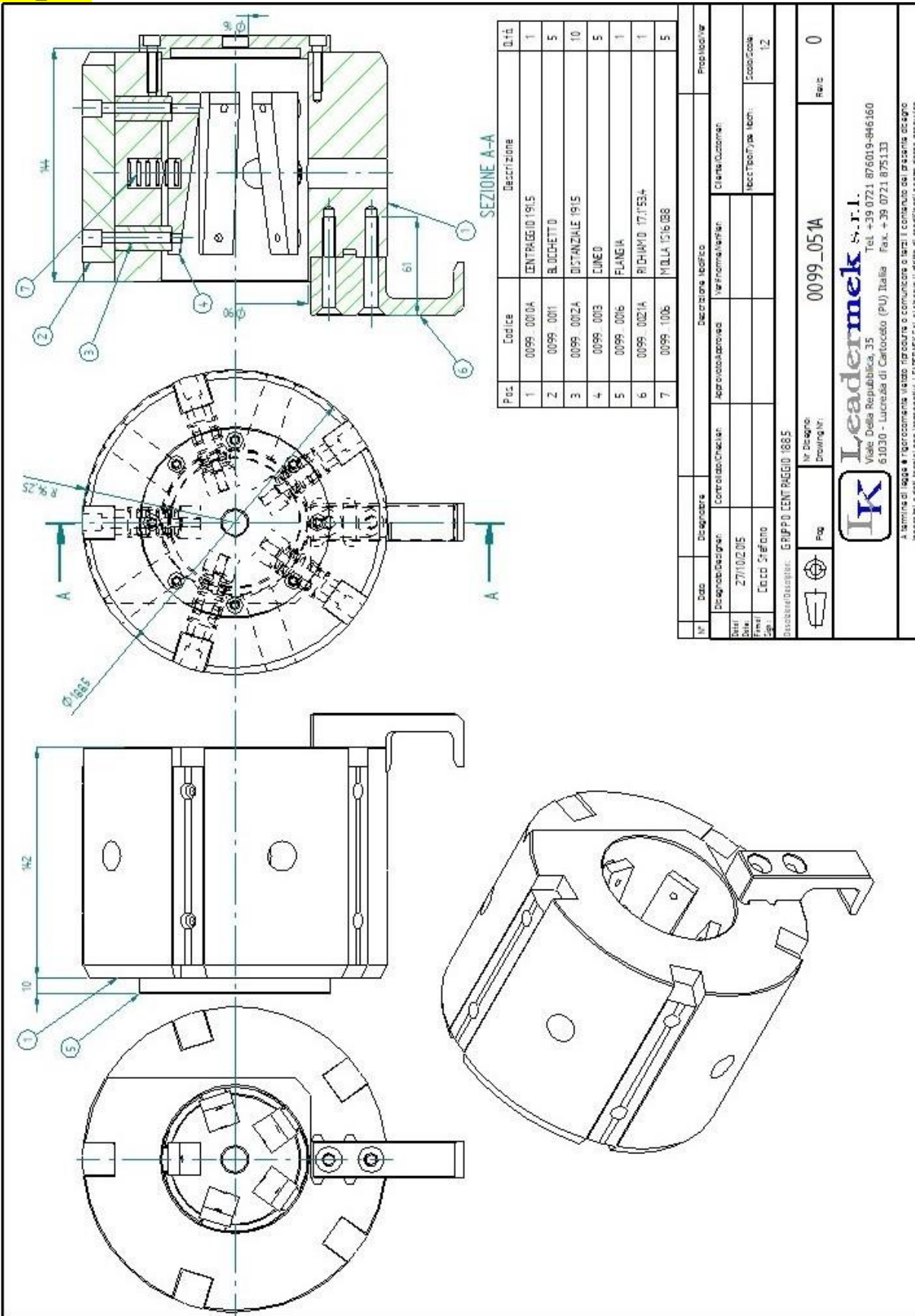
Allego alcune tavole della documentazione tecnica che ho realizzato durante l'attività di tirocinio con alcuni degli assiemi e dei componenti più importanti della macchina.

Disegno di complessivo .asm

0121_000





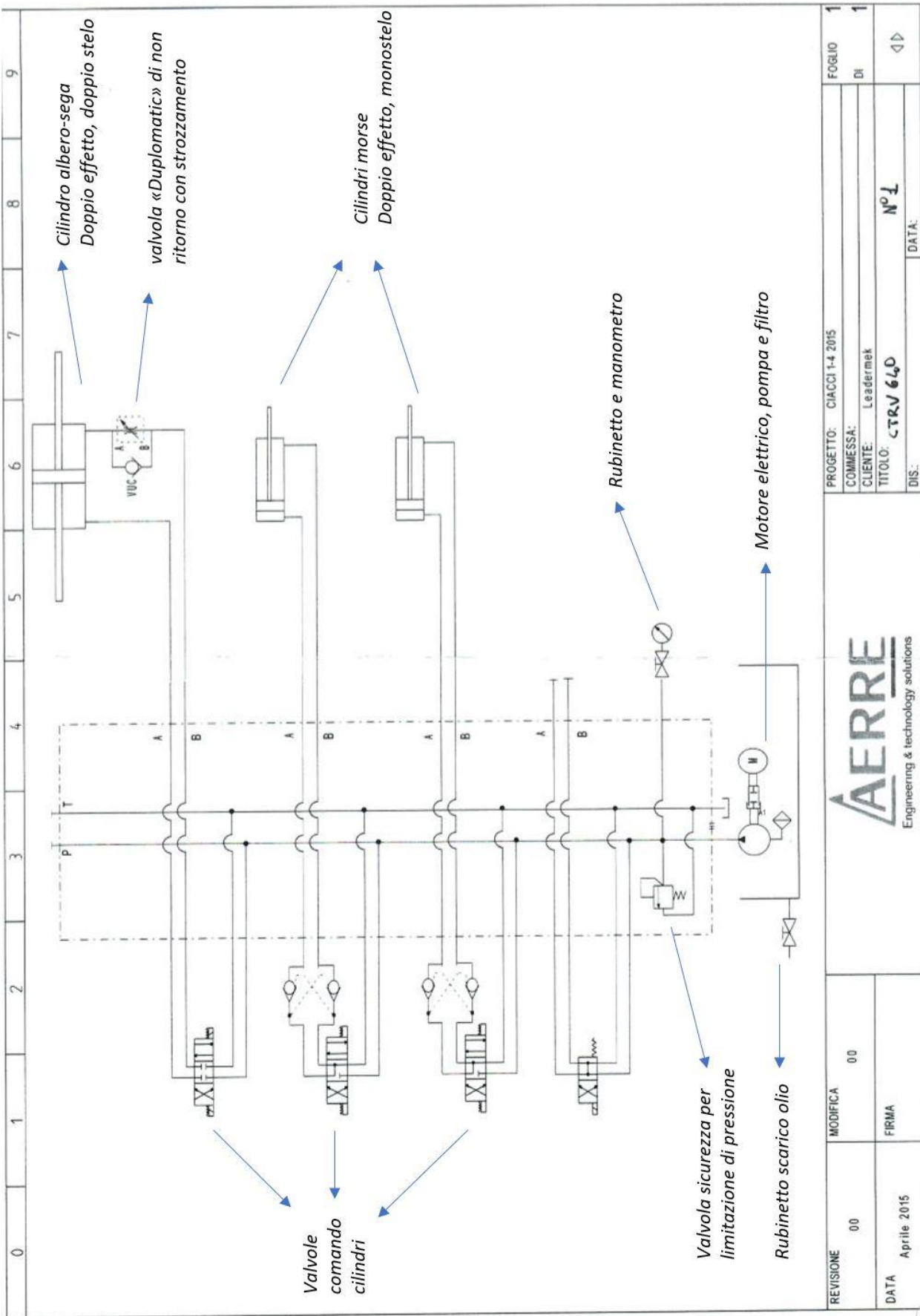


Leadermek S.p.A.
 Viale Della Repubblica, 35
 61030 - Lucrezia di Carotello (PU) Italia Fax. +39 0721 875133

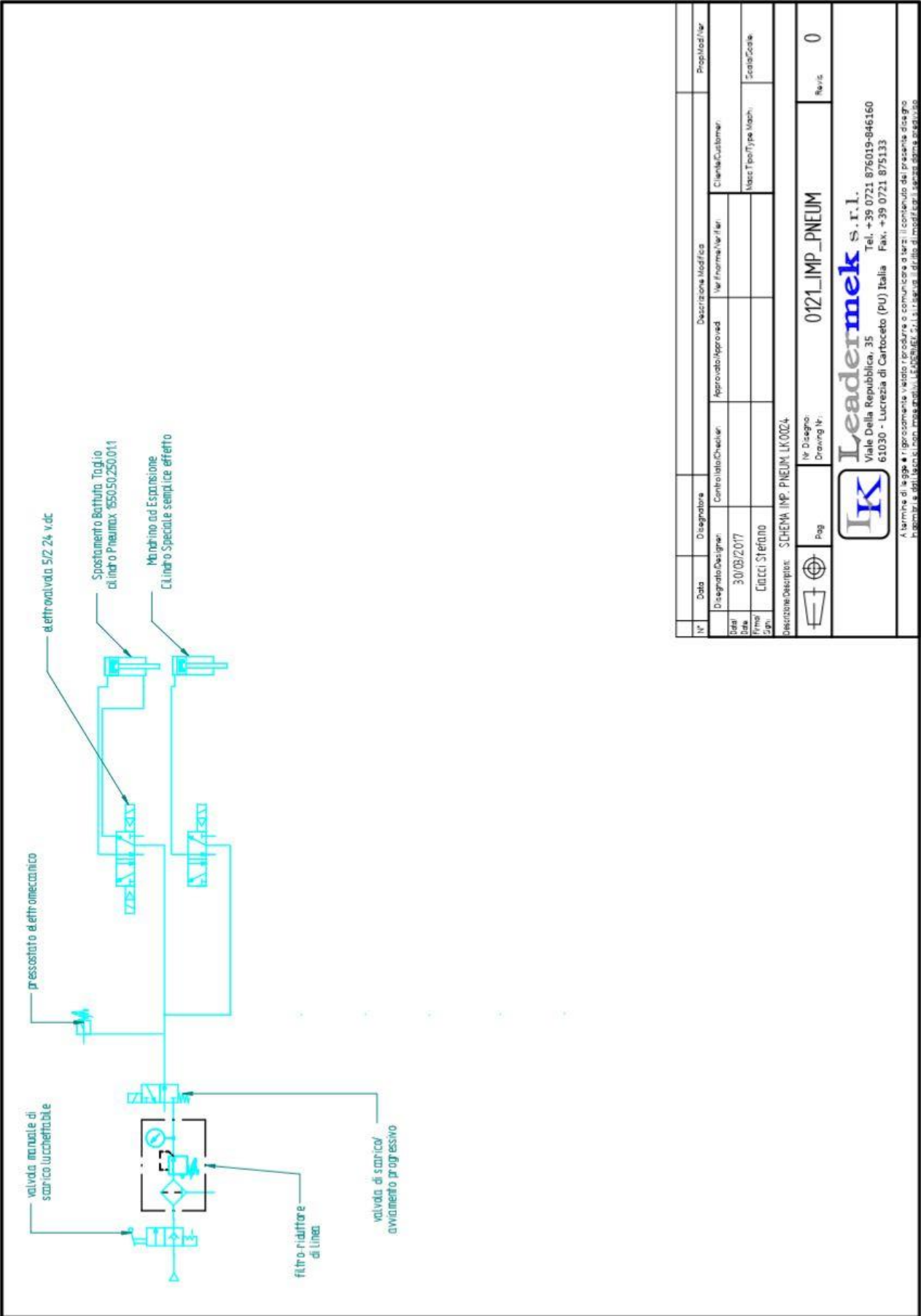
A meno di legge e rigorosamente in Italia riproduce o comunica a terzi il contenuto del presente disegno senza il permesso scritto dalla Leadermek S.p.A. e senza autorizzazione di alcun ente pubblico.


Aggiungo inoltre gli schemi oleodinamico e pneumatico del progetto.

IMPIANTO IDRAULICO



IMPIANTO PNEUMATICO



N°	Data	Disegnatore	Descrizione Modifica		Proprietà/Ver
Data	30/08/2017	Controllo/Checkin	Approvato/Approved	Veri/Normal/Verifi	Clienti/Customer
Firma/Sign.	Lincci Stefano				Nome/Type/Name
Descrizione/Description:		SCHEMA IMP. PNEUM. LK0024			Scale/Scala
		Pag	0121_IMP_PNEUM		Revis
				0	
		 Leadermek S.r.l. Viale Della Repubblica, 35 61030 - Lucrezia di Cartoceto (PU) Italia Tel. +39 0721 876019-846160 Fax. +39 0721 875133			
A termine di legge e rigorosamente vietato produrre o comunicare a terzi il contenuto del presente disegno ingombrare ed il tecnico non è autorizzato a modificare o a ristampare il diritto di modifica è riservato					

Conclusioni: collaudo ed evoluzione

Una volta concluso il progetto l'azienda ha provveduto al reperimento dei componenti, al montaggio, al collaudo e al trasporto della macchina fino al punto di consegna.

Durante il *collaudo* le verifiche effettuate sono state:

- Verifica tempo ciclo (≈ 20 sec.).
- Verifica qualità taglio a misura e senza formazione di bava.
- Assorbimento corrente del motore inferiore a 1/3 del massimo consentito (per scelta di progetto).
- Verifica che la temperatura dell'olio non superi i 70°C durante il funzionamento.
- Verifica sistemi di sicurezza.

Con l'aumento di domanda, l'azienda "Valmex S.p.a." ha richiesto altre quattro macchine "Troncatrici Circond", per un totale di cinque. Nella versione più moderna sono stati riportati, su richiesta, numerosi aggiornamenti.

La macchina adesso non è più asservita da un operatore umano per le operazioni di carico/scarico/lavaggio, ma da un robot industriale. Questo porta sicuramente delle semplificazioni sotto l'aspetto della sicurezza ed elimina la necessità di ergonomia, ma richiede un PLC più complesso con stesso protocollo di comunicazione del robot, in più sono stati aggiunti sensori analogici di controllo pressione, temperatura e livello olio.

Altra importante novità consiste nell'aggiunta di un Inverter sul motore dell'albero-sega; esso varia la frequenza di ingresso della corrente nel motore e quindi la velocità di rotazione, nel caso in cui cambiasse il materiale da lavorare e perciò la velocità ottimale di taglio.

