

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea Magistrale

Progetto e soluzioni costruttive di una macchina per il recupero del rame in motori elettrici



Relatore

Prof.ssa Teresa Berruti

Relatore Aziendale

Ing. Riccardo Chiaro

Candidato

Andrea Beltramo

Ringraziamenti

Arrivato alla fine del mio percorso universitario, desidero ringraziare ed esprimere la mia riconoscenza all'Ing. Riccardo Chiaro per i preziosi insegnamenti e per avermi dato la possibilità di mettere in pratica le conoscenze teoriche acquisite.

Vorrei ringraziare la Prof.ssa Teresa Berruti, relatrice di questa tesi di laurea, per la disponibilità dimostratami durante tutto il periodo di stesura.

Ringrazio la mia famiglia per avermi dato l'opportunità di studiare e intraprendere questa esperienza formativa, supportandomi e motivandomi.

Ringrazio Chiara per il continuo incoraggiamento e fiducia dimostratemi, senza la quale non avrei raggiunto questo importante obiettivo.

*"Prodotto prodigioso la spazzatura:
basta non far niente e si produce da sé"*

P. Caruso

Indice

Sommario	1
Introduzione	3
I rifiuti	5
AEE e RAEE	7
Analisi costi e benefici della macchina	11
Caratteristiche chiave della macchina	18
Analisi dei principali gruppi.....	21
Risultato finale	69
Conclusioni	73
Allegati	75
Sitografia.....	77

Sommario

Il progetto di tesi magistrale qui presentato tratta l'ideazione di una macchina destinata alla valorizzazione di materiali preziosi presenti in rifiuti di tipo RAEE. L'Azienda Chiaro Macchine Speciali, in collaborazione con il DIMEAS del Politecnico di Torino, ha voluto sviluppare un'alternativa alla solita filiera di recupero, per la quale sono necessari grossi impianti.

Il lavoro a cui mi sono dedicato durante questa esperienza è iniziato con l'individuazione e la campionatura delle più comuni tipologie di motori, seguita poi dalla determinazione della procedura più idonea alla separazione dei singoli materiali. A questa fase, è seguita una fase sperimentale durante la quale, all'interno dell'azienda, sono stati realizzati i prototipi con i quali si sono svolte le varie fasi del ciclo. Tramite un'analisi FEM è stato possibile verificare il corretto dimensionamento di alcuni particolari critici.

Trovate le configurazioni ideali per le singole operazioni, si è realizzato il prototipo finale con il quale è stato possibile testare la funzionalità del macchinario.

I risultati ottenuti hanno confermato la bontà del progetto iniziale, riscontrando un incremento variabile, al netto dei costi di gestione, dal 25 al 55% del ricavato dovuto alla vendita dei materiali separati anziché dei motori interi. È plausibile che la metodologia con cui vengono processati i componenti possa essere applicata ad altri particolari di simile costruzione.

Introduzione

La popolazione mondiale è in costante aumento e con essa la richiesta di nuove apparecchiature tecnologiche, di mezzi di trasporto sempre più veloci e di impianti termici ed elettrici sempre più efficienti. Il rovescio della medaglia, quando si considera il progresso tecnologico, risiede nello sfruttamento intensivo di quelle che sono le risorse esauribili del nostro pianeta e che, di conseguenza, porta a un preoccupante consumo delle risorse naturali.

Proprio in virtù di queste considerazioni, l'Unione Europea si adopera per aggiornare costantemente la lista dei Critical Raw Materials (CRM), ovvero di tutte quelle risorse primarie, essenziali all'industria, alla tecnologia moderna e allo sviluppo di tecnologie per la salvaguardia dell'ambiente, a cui però viene associato un forte rischio di esaurimento.

Alcuni di questi materiali presentano bassissimi tassi di riciclo, mentre altri sono completamente riciclabili, come il rame.

Questo materiale non è presente in natura come metallo puro ma deriva dall'estrazione di minerali e dalla loro successiva lavorazione; l'ottenimento della materia prima è quindi molto dispendioso sia a livello energetico che economico.

Secondo lo US Geological Survey, dal 1950 i rapporti hanno regolarmente indicato che erano disponibili in media 40 anni di riserve, ovvero di depositi già scoperti, di rame e 200 anni di risorse disponibili, che includono riserve e depositi non ancora scoperti ma previsti da analisi geologiche.

Invece, il processo di riciclaggio del rame è ormai riconosciuto come vantaggioso, portando a risparmi energetici fino all'85%, rispetto al rame derivante dalla metallurgia estrattiva. L'elevato riciclo dei rottami rende praticamente trascurabile il contributo del rame all'incremento costante dei rifiuti solidi e industriali, sono però necessarie tecnologie e normative adeguate per il recupero. Quasi la metà del rame attualmente utilizzato in Europa proviene dal

riciclo. Tale percentuale dovrebbe salire, visto che la disponibilità di rottami è strettamente correlata al consumo di 20-30 anni prima e quest'ultimo è andato sempre aumentando.

Ma il rame è davvero necessario? Beh, sì!

Fin dall'antichità furono note applicazioni tecnologiche del rame e delle sue leghe principali, bronzo e ottone: per esempio Greci e Romani vi costruirono armi, utensili, ornamenti e vennero impiegati anche nell'edilizia in tutti quei casi in cui fosse necessaria una combinazione di resistenza e durata.

Queste proprietà del rame, insieme alla resistenza alla corrosione, data dalla formazione di prodotti passivanti, all'elevatissima conducibilità termica ed elettrica, fanno sì che sia di fondamentale importanza anche ai nostri giorni.

Il rame prevede quindi applicazioni in svariati settori, dalla microelettronica al settore automobilistico e navale. Inoltre, grazie alla sua altissima conduttività termica, viene impiegato anche negli impianti di condizionamento e refrigerazione sotto forma di tubi, distribuiti in modo tale da massimizzare lo scambio termico, in cui passa un liquido refrigerante.

La seguente trattazione riguarderà proprio questo aspetto: verrà proposto lo schema di un impianto atto a separare le componenti in rame da motori elettrici provenienti da elettrodomestici, nello specifico frigoriferi e lavatrici, a fine della loro vita utile.

I rifiuti

L'articolo 2 del Decreto del Presidente della Repubblica 915 del 10/9/1982 dà la prima e ufficiale definizione di rifiuto:

” Per rifiuto si intende qualsiasi sostanza od oggetto derivante da attività umane o da cicli naturali, abbandonato o destinato all'abbandono.”

Il decreto legislativo 152/06, all'articolo 184, fornisce una classificazione dei rifiuti, che vengono distinti secondo:

- **Origine**

- Rifiuti urbani. In questa classificazione rientrano i rifiuti domestici, rifiuti provenienti dallo spazzamento delle strade o giacenti sul suolo pubblico, rifiuti vegetali provenienti da aree verdi e rifiuti provenienti da attività cimiteriali.
- Rifiuti speciali. Rientrano i rifiuti da attività agricole, da attività di demolizione, costruzione e scavo, rifiuti da lavorazioni industriali e derivanti da attività di recupero e smaltimento di rifiuti, rifiuti derivanti da attività sanitarie, macchinari e apparecchiature obsoleti, veicoli a motore e combustibile derivato da rifiuti.

- **Caratteristiche di pericolosità**

- Rifiuti pericolosi. In tale elenco, alcune tipologie di rifiuti sono classificate come pericolose o non pericolose sin dall'origine, mentre per altre, la pericolosità dipende dalla concentrazione di sostanze pericolose e/o metalli pesanti presenti nel rifiuto. Per sostanza pericolosa s'intende qualsiasi sostanza classificata come tale ai sensi della direttiva 67/548/CEE e successive. I metalli pesanti sono: Sb, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Se, Te, Ta e Sn (questi possono essere presenti come composti o puri). I rifiuti pericolosi a loro volta si suddividono secondo caratteristiche di pericolo e in fase di identificazione occorre riportarle su appositi formulari e su registri di carico scarico rifiuti.

- Rifiuti non pericolosi. Tutti i rifiuti vengono identificati da un codice a sei cifre. L'elenco dei codici identificativi (CER 2002 e allegato alla parte quarta del D. Lgs 152/2006) è suddiviso in 20 classi: ogni classe raggruppa rifiuti che derivano da uno stesso ciclo produttivo. All'interno dell'elenco, i rifiuti pericolosi sono contrassegnati da un asterisco.

I rifiuti urbani e speciali, pericolosi e non pericolosi, infine, sono classificati secondo la loro destinazione finale:

- Non riutilizzabili, da avviare necessariamente a smaltimento
- Riutilizzabili, da avviare allo smaltimento o a recupero nei cicli produttivi secondo i casi

AEE e RAEE

Le Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche, come si è detto, sono in costante aumento e così anche i Rifiuti da Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche, i RAEE per l'appunto; questo aumento è dovuto da un lato all'aumento dei consumi, dall'altro alla riduzione del tempo di vita delle suddette apparecchiature. Nel nostro paese le previsioni indicano un passaggio da circa 970.000 tonnellate generate nel 2005 a circa 1.200.000 tonnellate nel 2015. Attualmente la produzione pro-capite italiana è di circa 17 kg/abitante, valore in linea con la produzione media nei Paesi dell'Europa. Recuperare correttamente i RAEE evita la dispersione nell'ambiente di sostanze tossiche e fornisce nuova materia prima, in modo che non sia necessario doverla produrre ex-novo. Il recupero viene considerato vantaggioso in termini di efficacia ed efficienza: innovazione tecnologica ed una maggiore razionalizzazione dei processi potrebbe contribuire a migliorare, nel futuro, i risultati sino ad ora ottenuti.

Si parla di RAEE riguardo ai rifiuti provenienti da apparecchiature che, per il loro funzionamento, utilizzano corrente elettrica o campi elettromagnetici; si è stimato che il 55-60% dei RAEE sono rifiuti pericolosi. Vengono classificati in due grandi categorie:

- Secondo il loro uso in ambito domestico o professionale, stabilendo diversi percorsi di recupero e smaltimento.
 - RAEE domestici
 - RAEE professionali
- Secondo la categoria merceologica del prodotto: grandi elettrodomestici, tra cui gli elettrodomestici per la refrigerazione, piccoli elettrodomestici, apparecchiature informatiche, apparecchiature di consumo e illuminazione, strumenti elettrici ed elettronici, giocattoli e apparecchiature per lo sport, dispositivi medici e distributori automatici.

Il quadro normativo e il sistema di gestione RAEE prevedono norme sia a livello europeo che strettamente italiano.

1.1. Normativa UE

La Direttiva Europea 2012/19/UE disciplina la corretta gestione dei RAEE ponendosi come obiettivi, la salvaguardia, la tutela e il miglioramento della qualità dell'ambiente, la protezione della salute umana e l'uso accorto e razionale delle risorse naturali.

Questa politica è basata sul principio di precauzione, sul principio dell'azione preventiva, e su quello della correzione del danno ambientale, in via prioritaria alla fonte, e sul principio «chi inquina paga».

1.2. Normativa italiana

Il Decreto Legislativo n. 49 del 14/3/14, a livello italiano, è la più recente regolamentazione in materia di RAEE. Si pone come finalità:

- La prevenzione o la riduzione degli impatti negativi derivanti dalla progettazione e dalla produzione delle apparecchiature elettriche ed elettroniche e dalla produzione e gestione dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche
- La riduzione degli impatti negativi e il miglioramento dell'efficacia nell'uso delle risorse per conseguire obiettivi di sviluppo sostenibile

Il finanziamento dei costi di gestione dei RAEE domestici può avvenire attraverso l'applicazione dell'eco-contributo, ossia un sovrapprezzo applicato alla vendita di nuovi prodotti, evidenziato in fattura, che racchiude le spese sostenute per il trattamento, recupero e smaltimento di questa categoria. La normativa definisce:

- Produttore: è la persona fisica o giuridica che, indipendentemente dalla tecnica di vendita utilizzata, fabbrica, rivende e immetta AEE sul mercato nazionale. I produttori adempiono ai propri obblighi derivanti dalle disposizioni del decreto mediante sistemi di gestione individuali o collettivi, operanti in modo uniforme sull'intero territorio nazionale. I cittadini hanno un ruolo importante all'interno di questa normativa; sono infatti tenuti a separare i RAEE dagli altri rifiuti, non togliere e/o smontare parte delle apparecchiature e non manometterle e conferire questi rifiuti alla distribuzione o in alternativa, al Centro comunale di raccolta o al servizio su chiamata attivato dal Comune.
- Distributori: sono obbligati a ritirare gratuitamente un RAEE domestico del quale l'utente/cliente intende disfarsi, nel momento in cui viene consegnata un'apparecchiatura nuova, a condizione che questa sia di tipo equivalente e la vecchia abbia svolto le stesse funzioni della nuova apparecchiatura fornita. I distributori hanno facoltà di provvedere ad organizzare luoghi di raggruppamento anche tramite un soggetto terzo) e/o scegliere l'opzione del ritiro da parte dei Sistemi Collettivi direttamente presso i luoghi di raggruppamento organizzati da altri distributori.
- Luogo di raggruppamento: può consistere in un magazzino, un deposito, locali di proprietà di un privato o locali di un centro logistico gestito anche da terzi e deve essere idoneo, non accessibile da parte di estranei e pavimentato. I RAEE devono essere protetti da pioggia e vento, con mezzi di copertura anche mobili; devono essere prese tutte le precauzioni necessarie per mantenerli integri, evitare il deterioramento e impedire la fuoriuscita di sostanze pericolose.

- Albo Nazionale Gestori Ambientali: è costituito presso il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ed è articolato in un Comitato Nazionale e in Sezioni regionali e provinciali.
- Diverse modalità di gestione dei RAEE:
 - Consegna del RAEE da parte del cliente direttamente al punto vendita del distributore
 - Ritiro dei RAEE dal cliente
 - Trasporto RAEE dal deposito preliminare alla raccolta al centro comunale di raccolta
 - Trasporto RAEE dal cliente al centro comunale di raccolta.
 - Trasporto RAEE direttamente dal cliente all'impianto o centro di raccolta

I RAEE domestici sono in genere conferiti a un Centro di Raccolta comunale o a un Centro di Raccolta privato, mentre quelli professionali sono destinati agli impianti di trattamento autorizzati indicati dal produttore. La normativa suddivide i rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche in 5 raggruppamenti, al fine di ottimizzare la logistica e il trattamento.

- R1: apparecchiature refrigeranti quali frigoriferi, condizionatori, ecc.
- R2: grandi elettrodomestici quali lavatrici, forni, cappe, ecc.
- R3: TV e monitor
- R4: elettronica di consumo
- R5: sorgenti luminose

Nei prossimi capitoli verrà presentato nel dettaglio il sistema progettato dall'azienda Chiaro Macchine Speciali in collaborazione con il Politecnico di Torino per la separazione delle parti in rame dai motori elettrici, in particolari quelli provenienti da frigoriferi e lavatrici.

Analisi costi e benefici della macchina

Nel 2017 in Italia la raccolta di materiale RAEE è stata di 296.274 tonnellate, così suddivise:

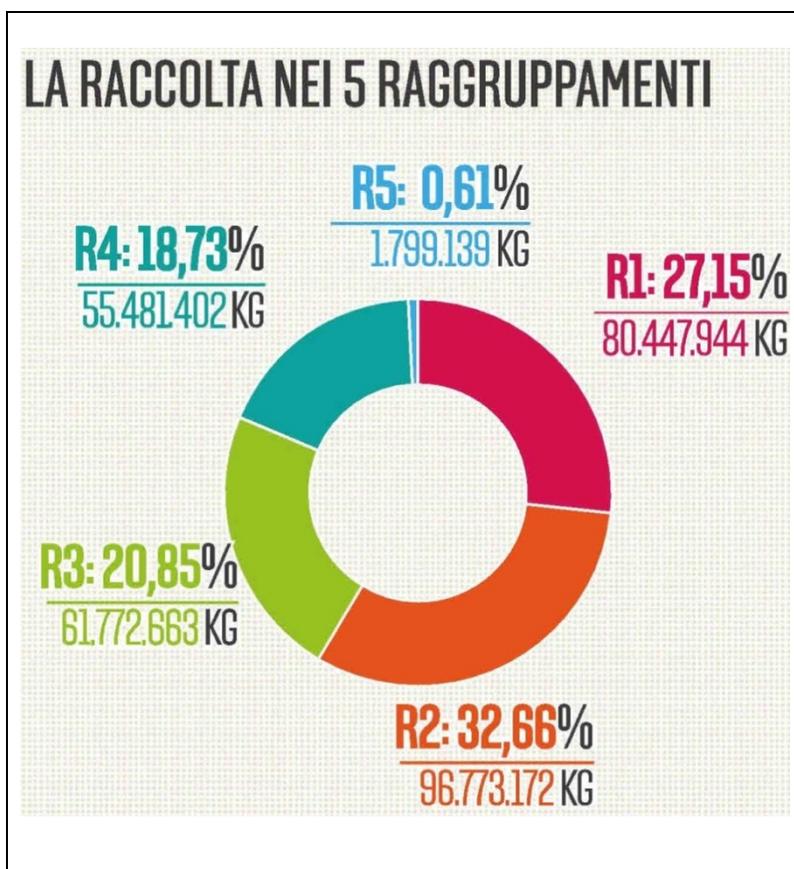


Figura 1. Dati raccolta RAEE 2017

Ogni anno circa un milione di frigoriferi e seicentomila lavatrici vengono raccolte nei centri autorizzati, destinati allo smaltimento. Sono numeri in costante aumento come confermato dai rapporti annuali forniti dal Centro di coordinamento RAEE.

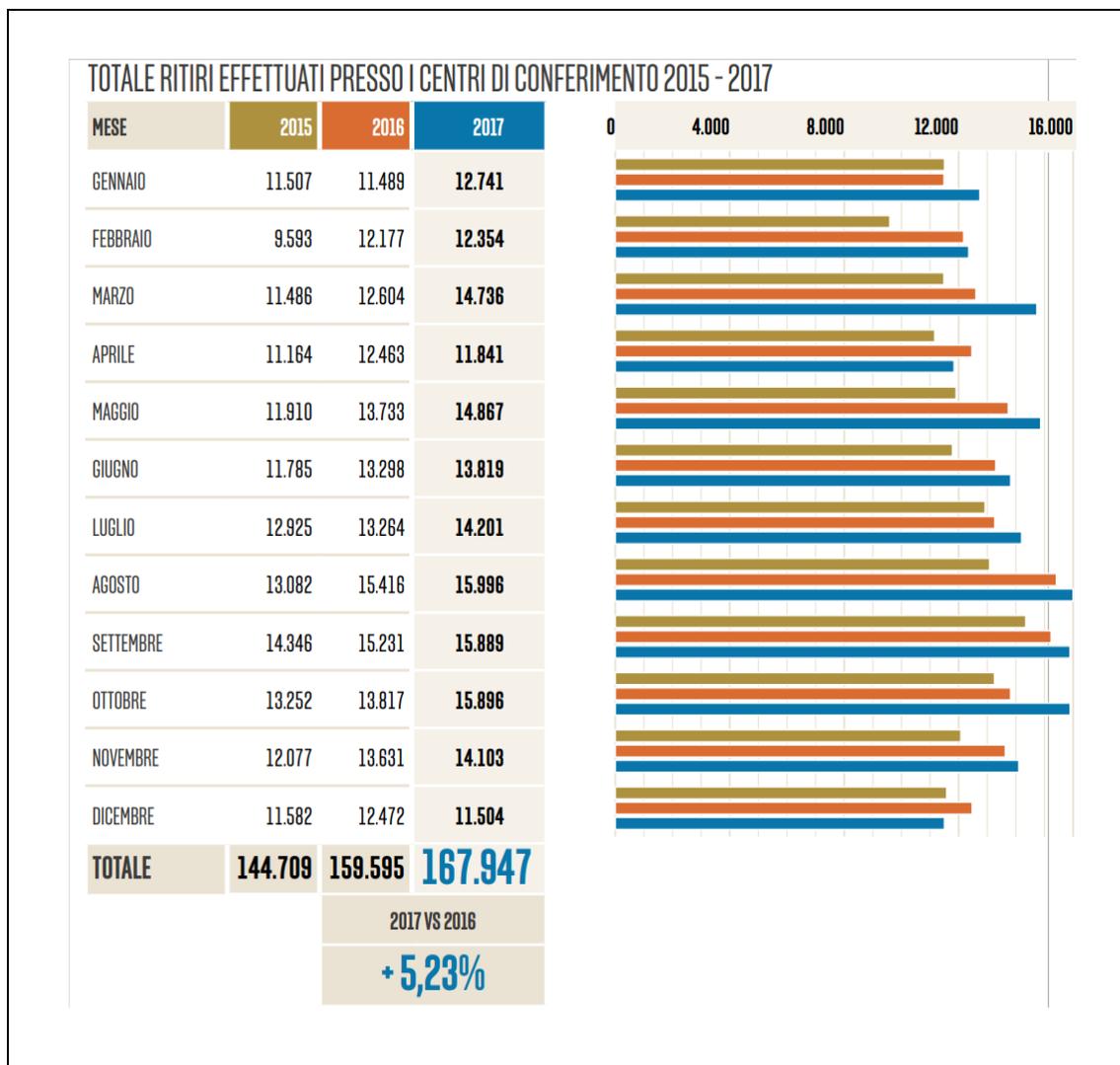


Figura 2. Ritiri RAEE 2015-2017

Per lo smaltimento di queste apparecchiature i centri di raccolta provvedono allo smontaggio manuale dei singoli componenti e alla suddivisione in base alla tipologia di materiale: materie plastiche, metalli, gomme ecc.

I motori elettrici così recuperati vengono venduti completi ad impianti di frantumazione dove una volta triturati, tramite un processo di raffinazione a vagli disposti in più stadi, vengono isolate le materie prime seconde.



Figura 3. Materiale frantumato

Queste macchine sono in grado di processare elevate quantità di materiale; necessitano però di notevoli potenze di gestione, grandi volumi di materia prima e aree d'installazione ampie; tutte condizioni che limitano fortemente l'ingresso in questa fetta di mercato.

L'obiettivo di questo studio è stato lo sviluppo di una macchina di modeste dimensioni, in grado di valorizzare i materiali presenti all'interno di questi elettrodomestici, fornendo così una valida alternativa alla filiera tradizionale.

Analizzando una campionatura dei motori, si sono ricavati i seguenti dati medi:

Parti costituenti il motore elettrico	Da frigoriferi	Da lavatrici
Gruppo rotore e carcassa [Kg]	3,0	2,0
Lamierini statore [Kg]	2,2	3,5
Avvolgimenti in rame [Kg]	0,8	1,2
Totale	6,0	6,7

In Figura 4 è possibile osservare quali sono le principali parti che costituiscono il componente.

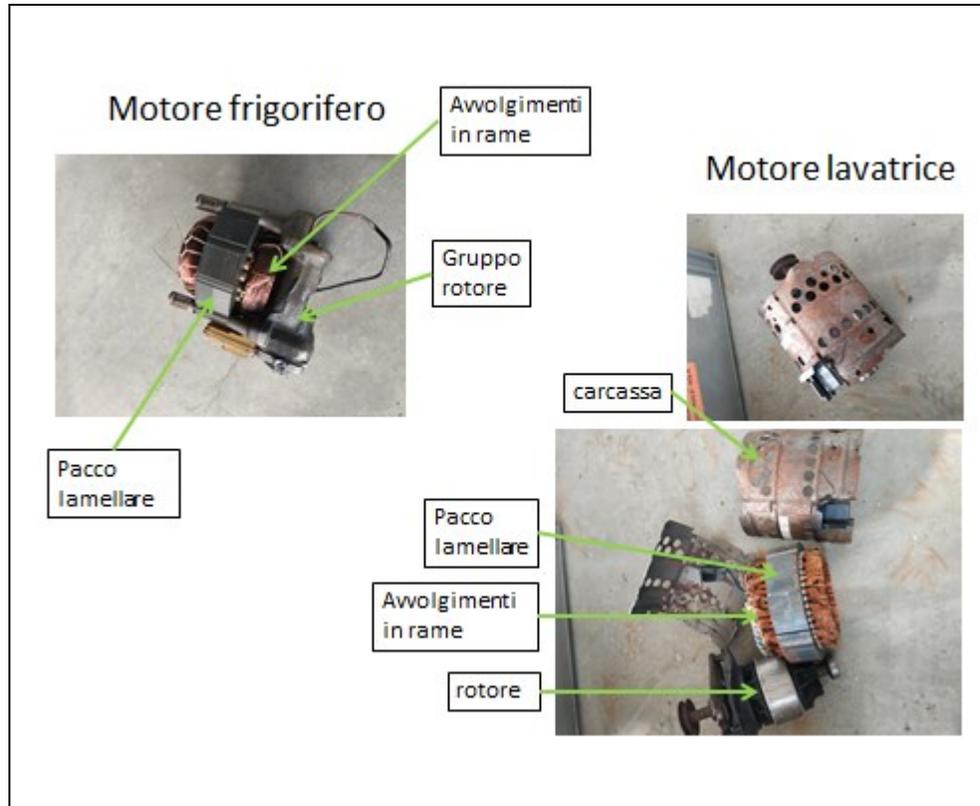


Figura 4. Componenti motori

Attualmente i centri di raccolta vendono i motori elettrici interi agli impianti di macinazioni ad un prezzo medio di 0.45€/Kg. Ipotizzando di effettuare la divisione delle singole materie prime seconde, all'interno del centro di raccolta, e venderle separatamente, si potrebbero ricavare:

Vendita rame 3° categoria	4€/Kg
Vendita pacco lamellare (acciaio al silicio)	0.20€/Kg
Vendita gruppo rotore rottame	0.18€/Kg

Che, ragionando sulle quantità presenti nelle due tipologie di componenti, porterebbero a dei prezzi di vendita pari a:

- **Motori frigoriferi:**

Vendita motore intero	Vendita separata materiali	Incremento vendita
2.7€	4.18€	+54%

- **Motori lavatrici:**

Vendita motore intero	Vendita separata materiali	Incremento vendita
3.015€	5.86€	+94%

Come mostrato l'incremento di ricavi ottenibile è notevole, soprattutto in merito alla lavorazione dei motori delle lavatrici che vede il prezzo di vendita quasi raddoppiato.

A fronte di questi risultati, si è continuata l'analisi dei costi di gestione del possibile impianto per poter verificare l'effettivo incremento del MOL (*margin operativo lordo*)

COSTI OPERATIVI GIORNALIERI MACCHINA		
costo acquisto motore	€/Kg	0,45
operatori	numero	2
ore impiegate per turno	numero	8
giorni di lavoro	numero	1
costo orario effettivo MDO	€/ h	15
costo utensile	€/motore	0,025
costi usura/manutenzione	€/motore	0,1
KW energia ora	numero	15
costo energia	€/ KW	0,12
Tempo ciclo	s	60

Con questi dati il conto economico risulta essere:

- **Motori frigoriferi**

CONTO ECONOMICO	GIORNO	ANNO
RICAVI	€	€
Cu	1.536,00	353.280,00
Fe lamierino	211,20	48.576,00
Fe nucleo	0,00	0,00
Fe involucro	259,20	59.616,00
TOT	2.006,40	461.472,00

COSTI	€	€
USURA	48,00	11.040,00
MDO	240,00	55.200,00
ENERGIA	14,40	3.312,00
UTENSILE	12,00	2.760,00
COSTO MATERIA PRIMA	1.296,00	298.080,00
TOT	1.610,40	370.392,00
MARGINE OPERATIVO LORDO	396,00	91.080,00

- **Motori lavatrici**

CONTO ECONOMICO	GIORNO	ANNO
RICAVI	€	€
Cu	2.304,00	529.920
Fe lamierino	336,00	77.280
Fe nucleo	0,00	0,00
Fe involucro	172,80	39.744
TOT	2.812,80	646.944,00

COSTI	€	€
USURA	48,00	11.040,00
MDO	240,00	55.200,00
ENERGIA	14,40	3.312,00
UTENSILE	12,00	2.760,00
ACQ	1.447,20	332.856,00
TOT	1.761,60	405.168,00
MARGINE OPERATIVO LORDO	1.051,00	241.776,00

Avendo stimato il costo del macchinario intorno a 75000€ si nota che anche processando solo statori provenienti da frigoriferi, ovvero nel caso meno redditizio, si avrebbe il rientro dell'investimento iniziale nel giro di 10 mesi.

Caratteristiche chiave della macchina

La macchina che si intende realizzare deve essere in grado di processare varie tipologie di statori provenienti sia da compressori di frigoriferi domestici che motori di lavatrici.

Le due tipologie risultano simili come forma costruttiva visibile in Figura 5, entrambe presentano un corpo metallico costituito da lamierini in acciaio al silicio e una serie di avvolgimenti in rame, ma differiscono abbastanza significativamente per quanto riguarda le dimensioni.

È stato quindi necessario eseguire una campionatura, sia degli statori provenienti dai frigoriferi che quelli provenienti dalle lavatrici, ricavando così le dimensioni principali che vengono rappresentate in Figura 6.

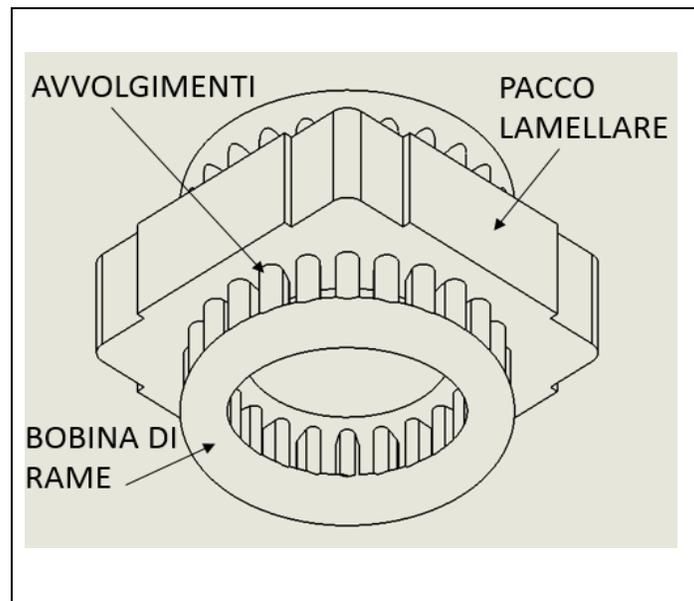


Figura 5. Forma costruttiva statore

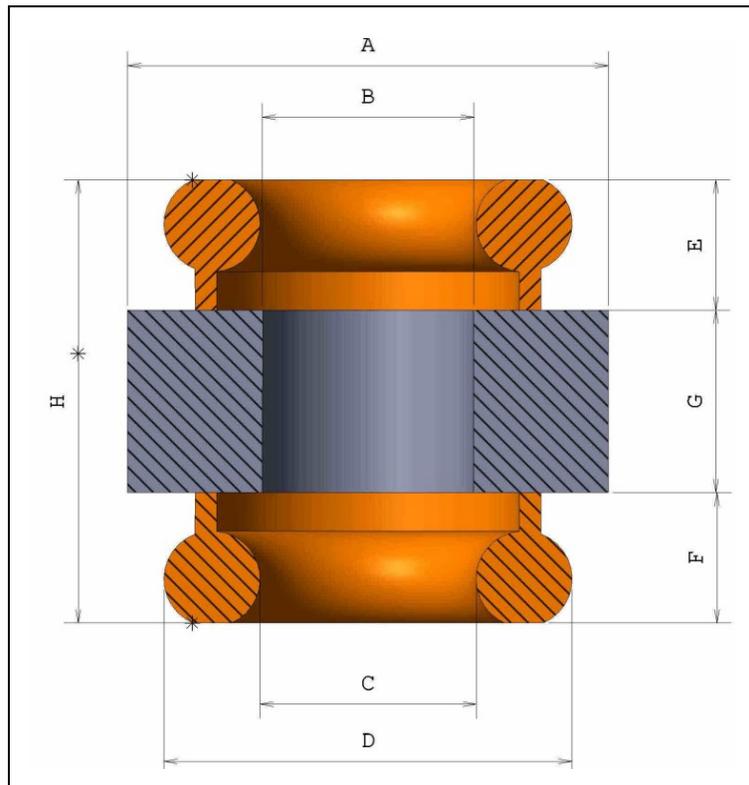


Figura 6. Dimensioni rilevati durante la campionatura

Nelle tabelle 1 e 2 presenti negli allegati sono riportate le dimensioni rilevate.

Come è possibile osservare dai dati rilevati all'interno delle due categorie, le dimensioni sono simili, il che permette di poter realizzare una macchina che sia in grado di adattarsi ai vari modelli.

Si è scelto di sviluppare la macchina che, tramite l'utilizzo di due setup, possa gestire gli statori provenienti dai frigoriferi e dalle lavatrici.

Volendo proporre sul mercato un'alternativa di più piccole dimensioni e minori costi di esercizio, ma al contempo più specifica, l'Azienda "Chiaro Macchine Speciali" si è posta come obiettivo la realizzazione di una macchina con dimensioni massime 4m x 2m x 3m di altezza, ed una potenza installata inferiore a 15kw.

La sequenza di operazioni che la macchina dovrà eseguire per ottenere una corretta separazione del pacco lamellare dai trefoli di rame è la seguente:

- bloccaggio preciso dello statore
- ancoraggio del trefolo di rame superiore
- taglio netto del trefolo di rame inferiore
- estrazione de trefolo superiore e avvolgimenti presenti all'interno delle cave statoriche
- deposito del pacco lamellare in un apposito contenitore
- deposito degli avvolgimenti di rame in un apposito contenitore

Analisi dei principali gruppi

Il macchinario sviluppato può essere suddiviso in 4 gruppi principali:

- Gruppo di taglio
- Gruppo di estrazione
- Gruppo di bloccaggio e movimentazione dello statore
- Gruppo di espulsione dei materiali separati

Di seguito verranno analizzati uno ad uno.

Gruppo di taglio

La scelta del sistema di taglio ottimale è stata effettuata a seguito di prove sperimentali eseguite attraverso la realizzazione di due prototipi. È stato fondamentale, nella scelta delle tipologie di taglio da sviluppare, effettuare alcune considerazioni sul materiale da tagliare.

Per la troncatura di particolari compatti, come barre e tondi, si utilizzano solitamente utensili dotati di taglienti in sequenza disposti su nastri o dischi. La distanza tra i denti, denominata vano, è adibita ad accogliere il truciolo che si forma durante l'operazione di taglio; più questa distanza è grande, più lungo potrà essere il taglio.

Dovendo tagliare fili di rame molto sottili, circa 0.5 mm di diametro, non è stato possibile utilizzare lame convenzionali in quanto non sarebbero in grado di effettuare l'operazione ma, al contrario, strapperebbero i singoli fili deformandoli, impedendo così la corretta estrazione dal corpo statorico.

Questa analisi ha orientato lo sviluppo dei due prototipi verso un sistema di taglio tramite disco abrasivo e uno utilizzante una lama di tranciatura.

L'obiettivo di tali prove è stabilire quale sistema riesca ed eseguire il taglio più netto possibile evitando sfilacciature e deformazioni plastiche dei fili, le quali creerebbero problemi durante l'estrazione del trefolo.

La prima attrezzatura di taglio sperimentata utilizza un disco abrasivo ed è stata realizzata modificando una troncatrice commerciale prodotta da Dewalt, installata poi su una robusta piastra base insieme ad un sistema di ganasce che ha permesso il bloccaggio di diverse tipologie di statori. Il prototipo può essere osservato in Figura 7, prima in ambiente CAD ed in seguito si mostra la sua realizzazione.

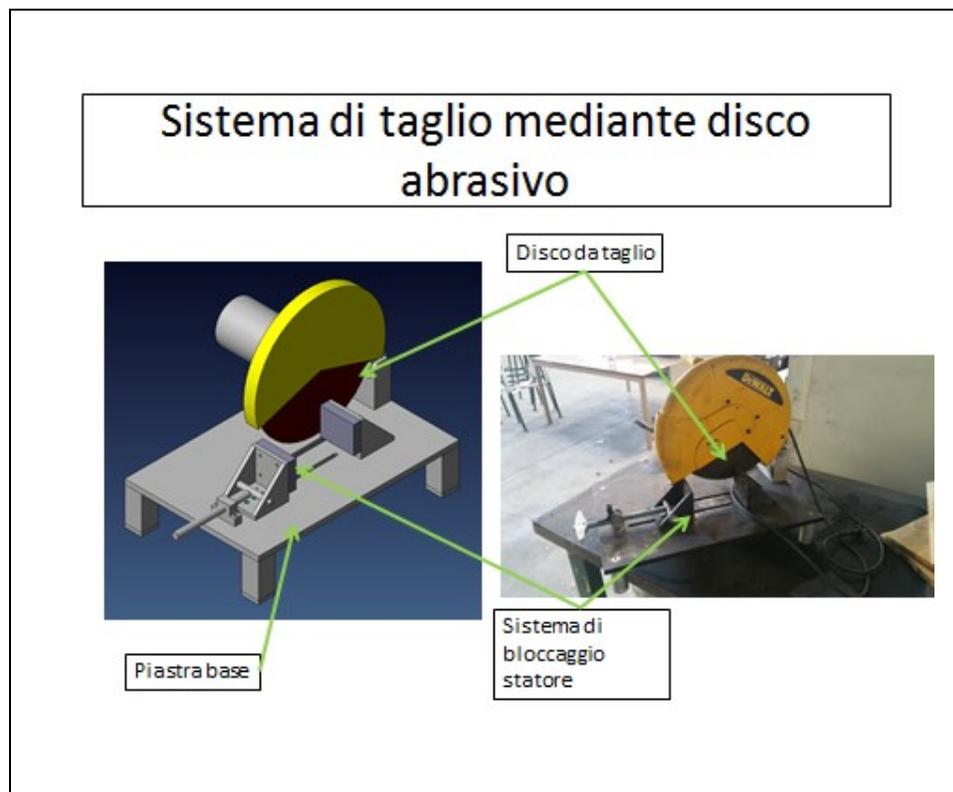


Figura 7. Prototipo per taglio mediante disco abrasivo

Effettuando il taglio tramite l'utilizzo di un abrasivo si è risolto il problema della distanza tra i taglienti; infatti, sulla periferia dell'utensile, i taglienti

sono disposti in modo casuale, non presentando vani abbastanza grandi da accogliere interamente il filo.

Come è possibile osservare in Figura 8 il taglio risulta essere netto senza alcuna deformazione dei trefoli di rame.



Figura 8. taglio dei trefoli di rame tramite disco abrasivo

Per ottenere buoni risultati con continuità ed una adeguata vita utile dell'utensile, è necessario utilizzare dischi destinati al taglio di materiali non ferrosi, caratterizzati da una bassa durezza ed elevata porosità.

Nel caso sia scelta questa soluzione occorrerà valutare correttamente le dimensioni del disco e la posizione di taglio per riuscire a processare tutte le varie misure di statori riscontrate.

Il secondo prototipo vuole realizzare il taglio tramite un sistema a lama di trancia, vantaggio di questa tipologia è l'assenza dei vani tra i taglienti essendone uno solo continuo.

L'intenzione è quella sfruttare le cave statoriche come contrasto per i fili di rame e con una lama cuneiforme, penetrare tra i lamierini in

corrispondenza della mezzeria del pacco lamellare, ottenendo due metà uguali dalla quali effettuare poi l'estrazione del rame.

Per la realizzazione del prototipo si è preso sunto dalla classica forma dei porta stampi per le presse composti da:

- una piastra di base
- una piastra superiore
- una piastra mobile porta lama
- un supporto per gli statori
- un attuatore idraulico per la movimentazione

Di seguito è visibile prima il progetto CAD del prototipo dopo il sistema realizzato.

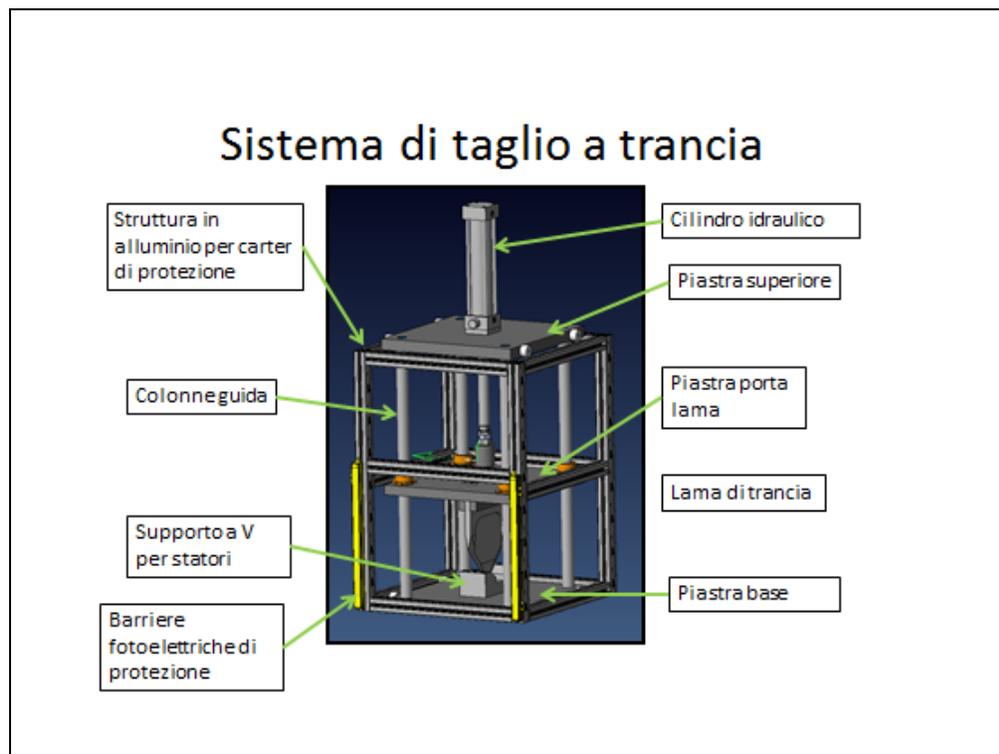


Figura 9. Prototipo macchina di taglio a trancia



Figura 10.
Prototipo sistema taglio a trancia

Si sono effettuate diverse prove di taglio con questa macchina su diversi statori, sia di frigoriferi che di lavatrici. Per la maggior parte degli statori, la lama di tranciatura riesce ad effettuare un taglio dello statore ma non in modo netto, deformando irreversibilmente lo statore come visibile nell'esempio di Figura 11. Una volta deformato il pacco lamellare risulta ancora più difficoltoso estrarne il rame rimasto a causa delle irregolarità geometriche.



Fig. 11.

Deformazione del pacco lamellare dopo taglio con la lama di tranciatura

Le prove sui diversi tipi di statore hanno dimostrato che la lama di tranciatura non è adatta come sistema di taglio di questi statori.

A fronte di tutte le prove eseguite con i due prototipi realizzati all'interno della ditta Chiaro Macchine Speciali si è riscontrato che: il taglio con disco abrasivo si è dimostrato essere molto valido in particolar modo per gli statori dei frigoriferi; buoni risultati anche se migliorabili sono stati ottenuti per gli statori delle lavatrici dove il diametro del filo di rame e il numero maggiore di avvolgimenti hanno reso più difficoltosa l'operazione.

Il taglio con lama di tranciatura è invece da scartare in ogni caso, in quanto provoca deformazioni sia dei fili di rame che dei lamierini in tutti i tipi di statore rendendo impossibile l'estrazione del rame dal pacco statorico.

La soluzione che si è scelto di adottare utilizza un disco abrasivo come utensile per il taglio ma, a differenza del prototipo, il disco viene mantenuto in una posizione fissa mentre lo statore viene movimentato.

Lo schema di funzionamento della macchina viene rappresentato in Figura 12.

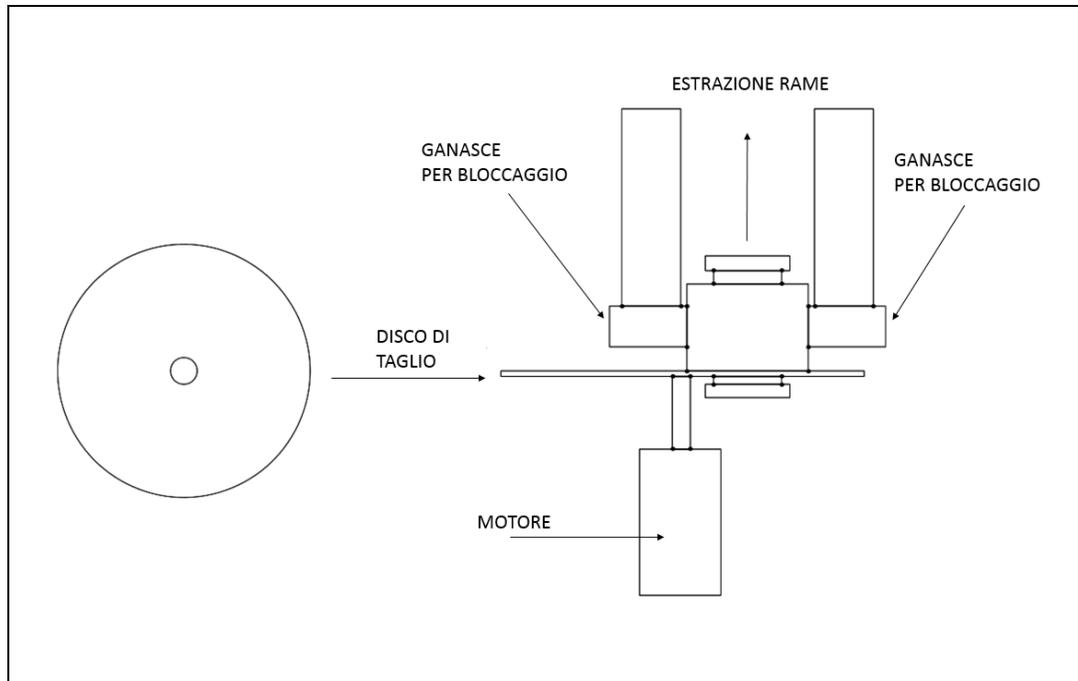


Fig. 12. Schema di funzionamento della macchina per l'estrazione

Come è possibile osservare il disco di taglio è posizionato orizzontalmente ed è mantenuto fisso.

Lo statore, dopo essere stato bloccato da un meccanismo dedicato, viene portato contro l'utensile rotante dove verrà eseguito il taglio. Successivamente sarà possibile effettuare l'estrazione degli avvolgimenti ancora presenti nello statore. È ipotizzabile che il sistema di estrazione sarà predisposto in modo da essere solidale con il meccanismo di bloccaggio ed il movimento sarà in direzione ortogonale rispetto all'avanzamento dello statore.

Dalla campionatura eseguita in precedenza si è valutato l'utilizzo di un disco per il taglio avente diametro 350mm ed uno spessore di 3mm. La scelta del diametro è stata funzione delle varie misure di avvolgimenti riscontrate. Il diametro maggiore che deve essere processato è di 147mm, di conseguenza il diametro del disco deve essere almeno il doppio, a cui è aggiunto un margine di sicurezza che è stato valutato di 25mm, in modo da non avvicinarsi troppo all'asse di rotazione ed al sistema di bloccaggio sull'albero.

Dovendo soltanto consentire la rotazione alla corretta velocità, il sistema è stato realizzato nel modo più semplice possibile, in un'ottica di facile manutenzione e migliore affidabilità delle singole componenti. Esso è composto esclusivamente da un motore elettrico a 2 poli da 7 kW a cui è stato prolungato l'albero del rotore per poter arrivare ad una determinata quota di taglio rispetto alla piastra base della macchina. In Figura 13 viene mostrato il sistema in ambiente CAD installato sulla piastra base

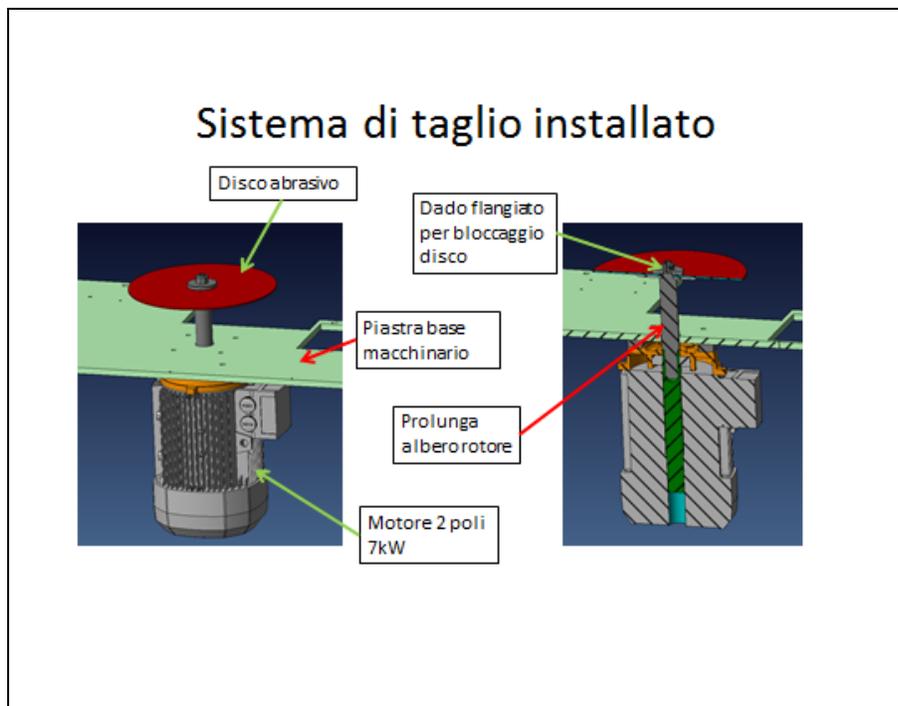


Figura 13. sistema di taglio in ambiente CAD

Per poter eseguire una migliore regolazione della velocità di taglio il motore viene alimentato attraverso un convertitore AC/AC, sistema elettronico, che alimentato ad una certa frequenza, è in grado di generare un'uscita a frequenza regolabile. Altro vantaggio presentato da questo accorgimento è stato la possibilità di realizzare rampe di accelerazione dolci, onde evitare picchi di assorbimento elettrico eccessivi in fase di accensione della macchina.

In Figura 14 viene mostrato il sistema di taglio installato sulla macchina.

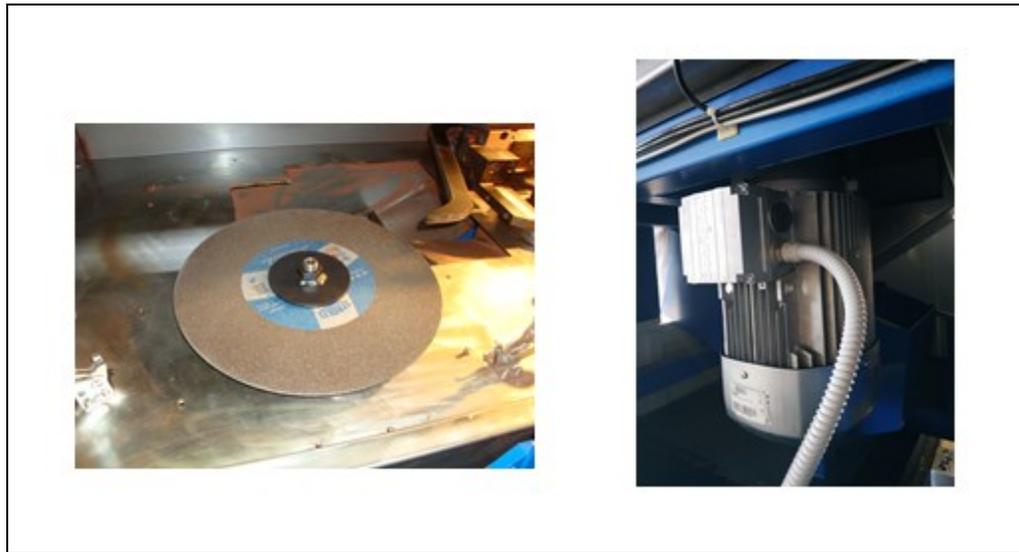


Figura 14. Dettaglio motore e disco del sistema di taglio

Essendo sempre in rotazione il disco, anche durante le fasi non attive della macchina, è stato realizzato un apposito carter di protezione visibile in Figura 15, che in modo automatico si apre e si chiude durante l'operazione di taglio.

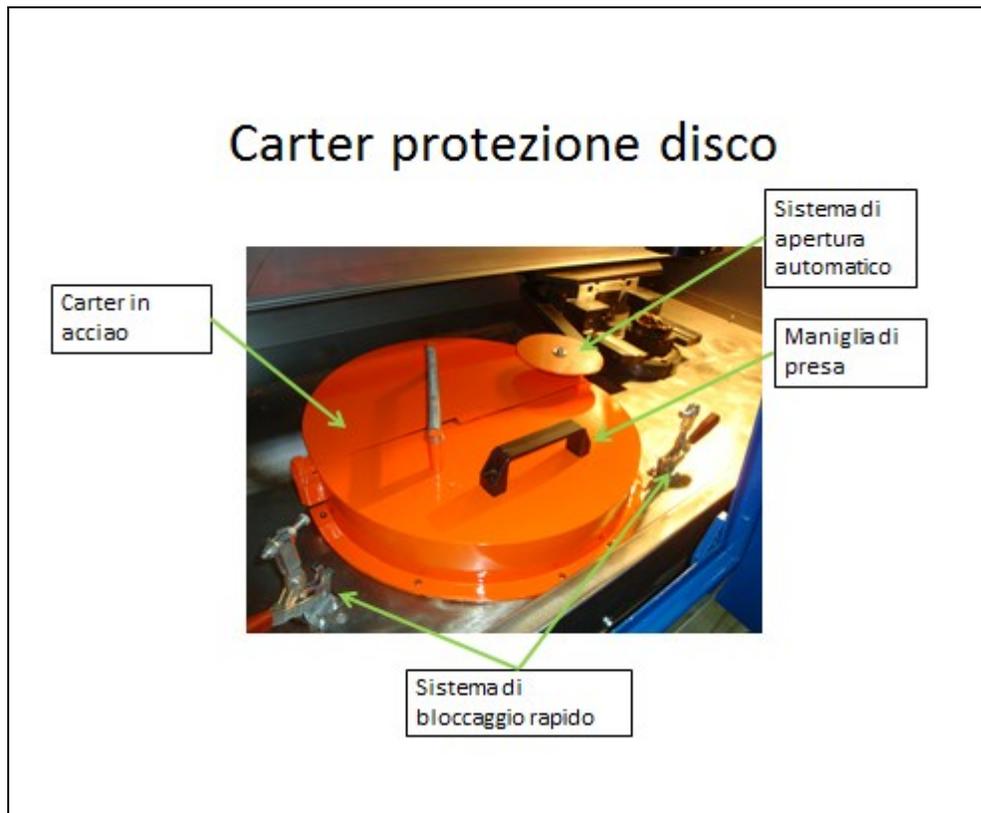


Figura 15. carte di protezione del disco

Gruppo di bloccaggio e movimentazione

Decidendo di mantenere fisso l'utensile di taglio per il bloccaggio e la movimentazione dello statore è stato realizzato un apposito gruppo.

	A	B	C	D	E	F	G	H	N
max	163	98	110	147	30	31	78	195	48
min	110	55	62	86	20	20	25	12	16
max-min	53	43	48	61	10	11	53	183	32

Come evidenziato dalla precedente tabella questo sistema deve essere in grado di compensare il gap tra diametro massimo e minimo del pacco lamellare e garantire una presa salda sul particolare senza deformarlo.

In Figura 16 viene riportato lo schema di funzionamento che si intende realizzare.

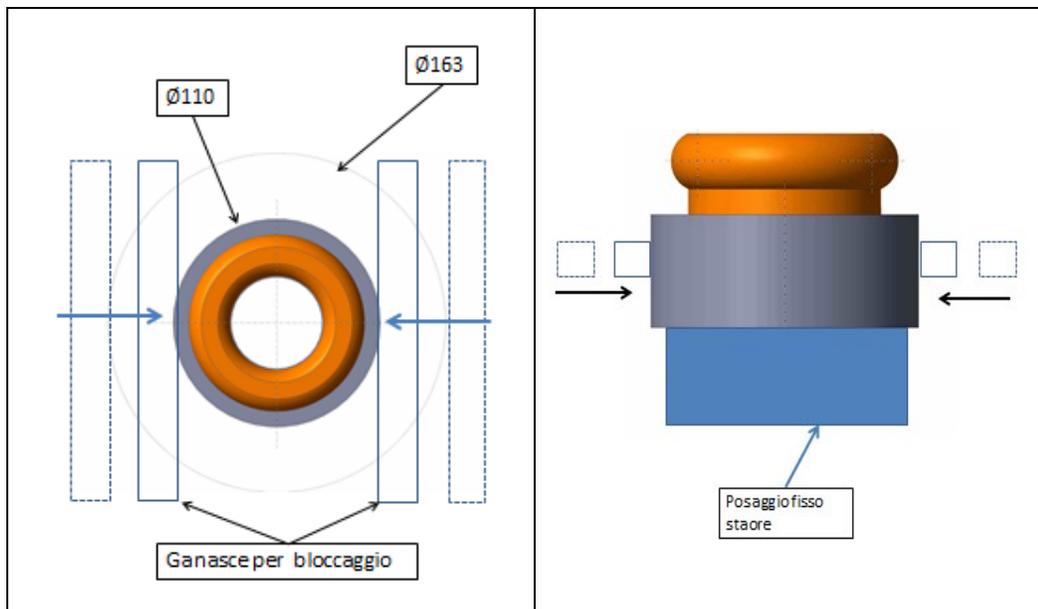


Figura16.1

Vista in pianta sistema bloccaggio

Figura 16.2

Vista frontale sistema bloccaggio

A bordo della macchina sarà predisposto un posaggio fisso, adeguatamente progettato, per poter accogliere tutte le misure di statori con l'ausilio di due setup facilmente intercambiabili.

Il sistema è visibile in figura 17

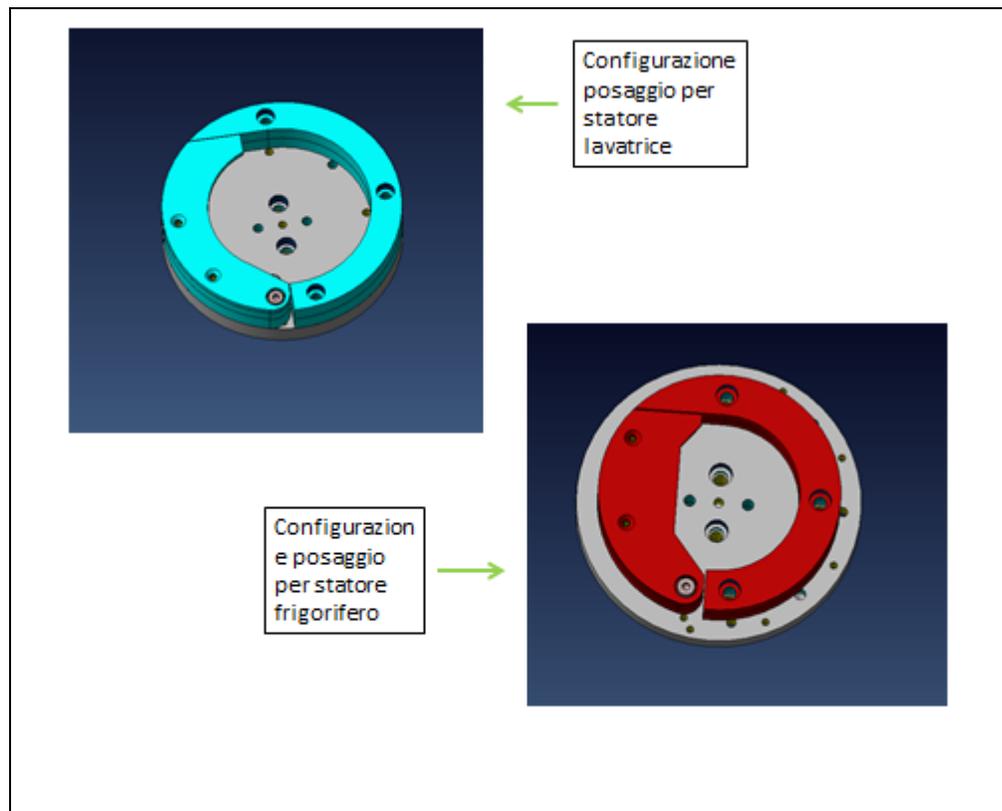


Figura 17. Posaggio statore nelle due configurazioni

Una volta in posizione, lo statore sarà bloccato da un paio di ganasce mobili azionate mediante attuatori pneumatici o idraulici che dovranno esercitare una forza massima stimata, grazie allo studio eseguito dal dipartimento DIMEAS del Politecnico di Torino, pari a 6000N.

Applicando forze maggiori si provocherebbe una deformazione eccessiva delle cave statoriche che impedirebbe l'estrazione dei trefoli di rame.

Dovendo pensare di movimentare le due ganasce di presa, si è preferito adottare un sistema di apertura simmetrico che presenta il vantaggio di auto centrare lo statore: in questo modo è possibile recuperare ogni possibile errore di posizionamento iniziale del particolare.

Cercando di utilizzare meccanismi disponibili sul mercato, quindi già collaudati, è stata scelta la base di bloccaggio statica idraulica **MIA-G2** prodotta dalla **OMIL** taglia 60 visibile in Figura 18.



Figura 18. Base di bloccaggio Omil MIA-G2

Questo tipo di morsa è caratterizzata da una forza di chiusura massima pari a 12540 N; per la nostra applicazione sarà alimentata attraverso un regolatore di pressione che ne limiterà l'intensità.

Per quanto riguarda la capacità di apertura delle slitte questo modello è in grado di sviluppare una corsa complessiva di 50 mm, non sufficienti a coprire il gap tra statore grande e piccolo per il quale sarebbe necessario almeno una corsa utile di 53 mm.

La taglia 80, successiva a quella presa in esame, garantirebbe un'apertura di 60 mm, ma risulta essere eccessivamente grande per questo tipo di applicazione: il peso stesso del componente raddoppia.

Considerando la difficoltà nel reperire statori con dimensioni esterna inferiore a 120 mm (nella nostra campionatura solo uno statore è stato riscontrato) si è preferito utilizzare il modello **MIA-G2 60**, più adeguato alle nostre esigenze, ed avere la possibilità di inserire dei distanziali dietro le ganasce per bloccare, qualora fosse necessario anche gli statori più piccoli.

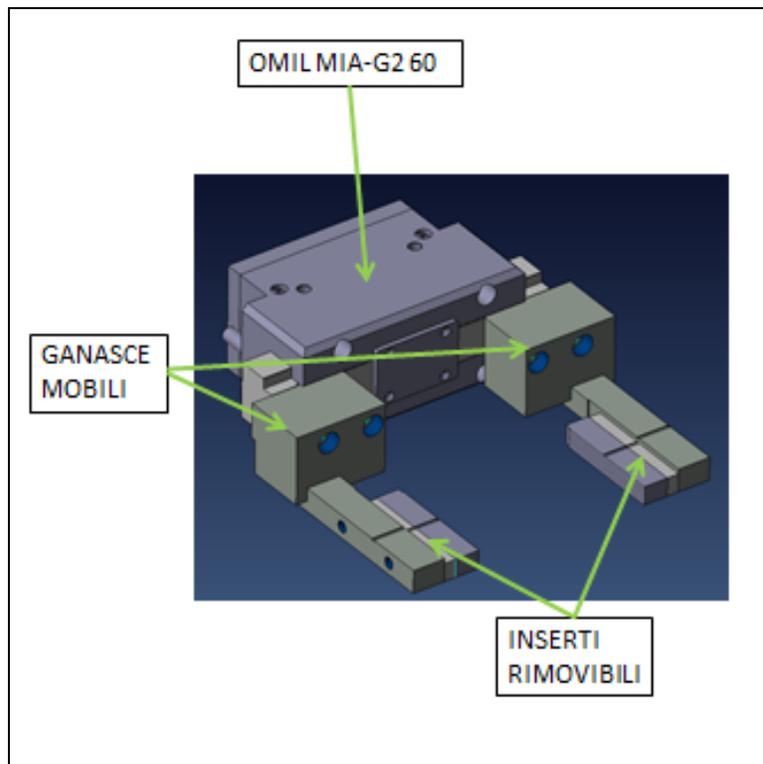


Figura 19. Progetto cad pinza con ganasce modulari

In Figura 19 è possibile osservare la morsa OMIL a cui sono state fissate le ganasce progettate per il bloccaggio degli statori.

Questo gruppo oltre a garantire un corretto serraggio dei particolari deve anche gestirne la movimentazione verso la zona di taglio e le zone di scarico dei singoli materiali.

Per adempiere a questo compito è stato progettato un sistema a portale rappresentato in Figura 20.

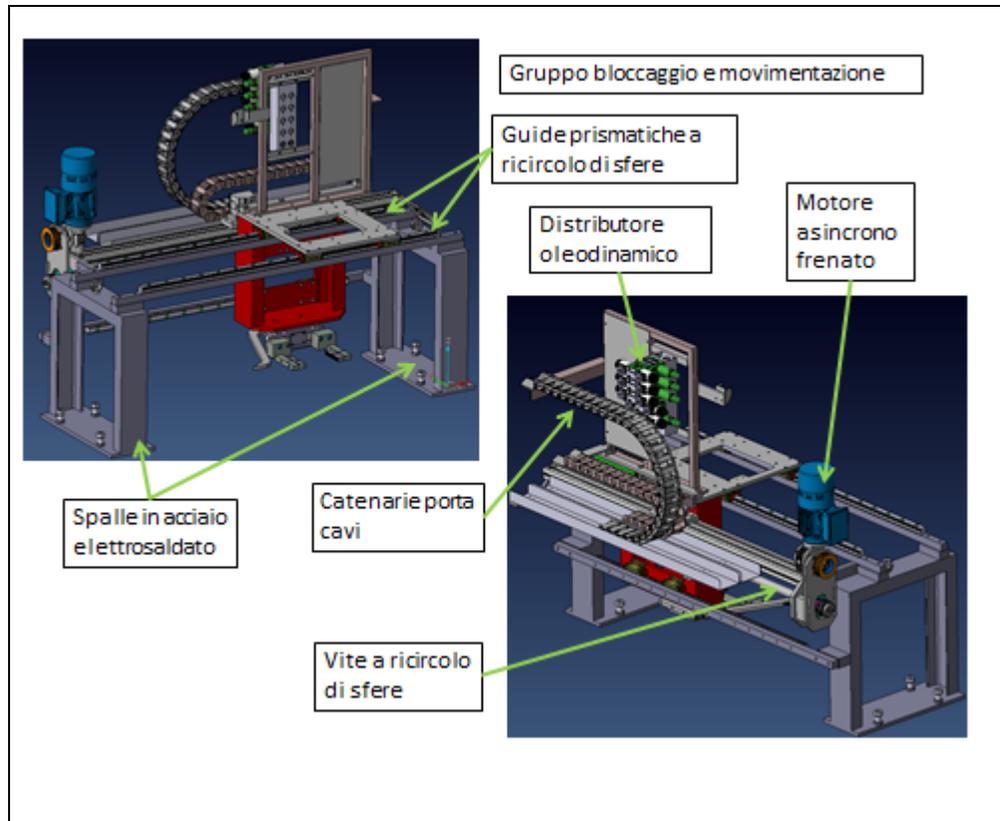


Figura 20. Sistema di movimentazione e bloccaggio

Il gruppo è sorretto da due strutture in acciaio elettrosaldato fissate alla piastra base, al di sopra delle quali vengono fissate 3 guide prismatiche su cui scorrono 6 pattini a ricircolo di sfere, che serviranno per il fissaggio del telaio, il quale sorreggerà il sistema di estrazione. Per il dimensionamento è stato valutato un carico complessivo dell'attrezzatura da movimentare pari a 250 kg ed una freccia di inflessione ammissibile pari a 0.5mm nella

mezzeria. Questa condizione è stata imposta poiché, durante la fase di taglio, la quota a cui si deve effettuare l'operazione deve essere il più costante possibile in modo da non provocare la flessione dell'utensile e la sua conseguente rottura. Per ragioni cautelative, durante la fase di progetto è stato ipotizzato che tutto il carico fosse applicato alle due travi superiori, mentre è noto che una parte si scarica anche sulla terza trave posta sul retro del portale. Il corretto dimensionamento delle travi ha trovato conferma anche nella verifica eseguita utilizzando il software di analisi Ansys 19.0, che ha valutato essere di 0.35 mm.

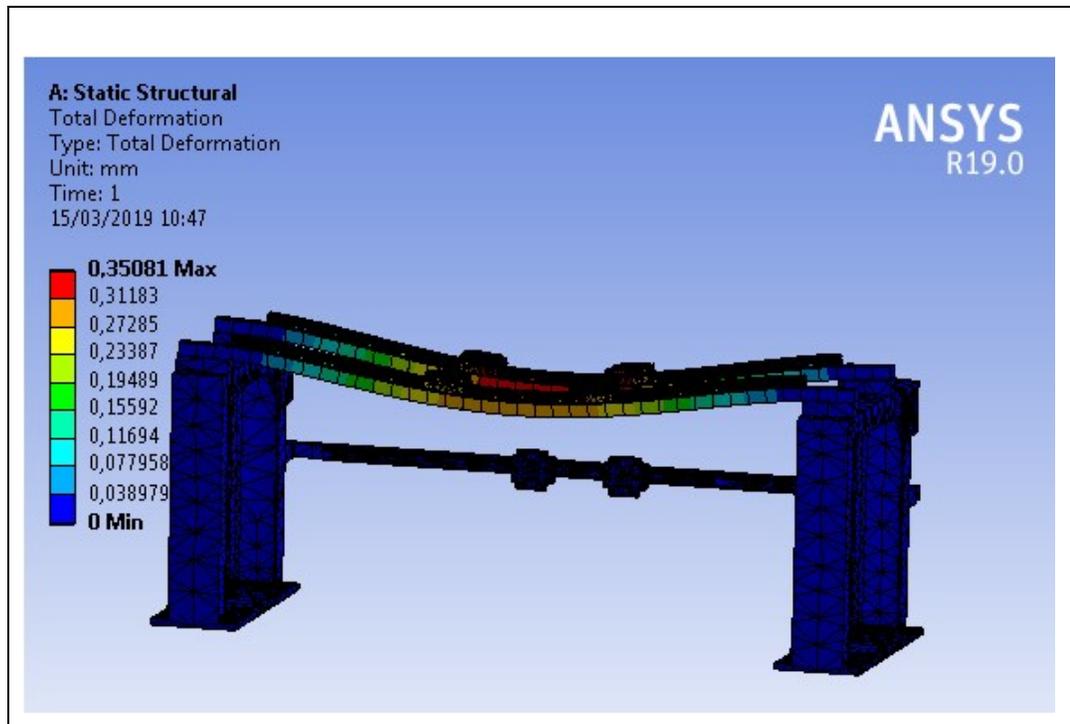


Figura 21. verifica freccia massima con Ansys 19

La movimentazione del sistema è stata realizzata utilizzando una vite a ricircolo di sfere accoppiata ad un motoriduttore asincrono trifase tramite un rinvio di pulegge dentate.

Questo cinematismo ha permesso, tramite l'utilizzo di un convertitore AC/AC, posto sulla linea di alimentazione del motore, di variare le velocità di avanzamento a seconda dell'operazione da eseguire; una lenta per la fase di taglio e un movimento rapido per gli avvicinamenti, in modo da migliorare il tempo ciclo.

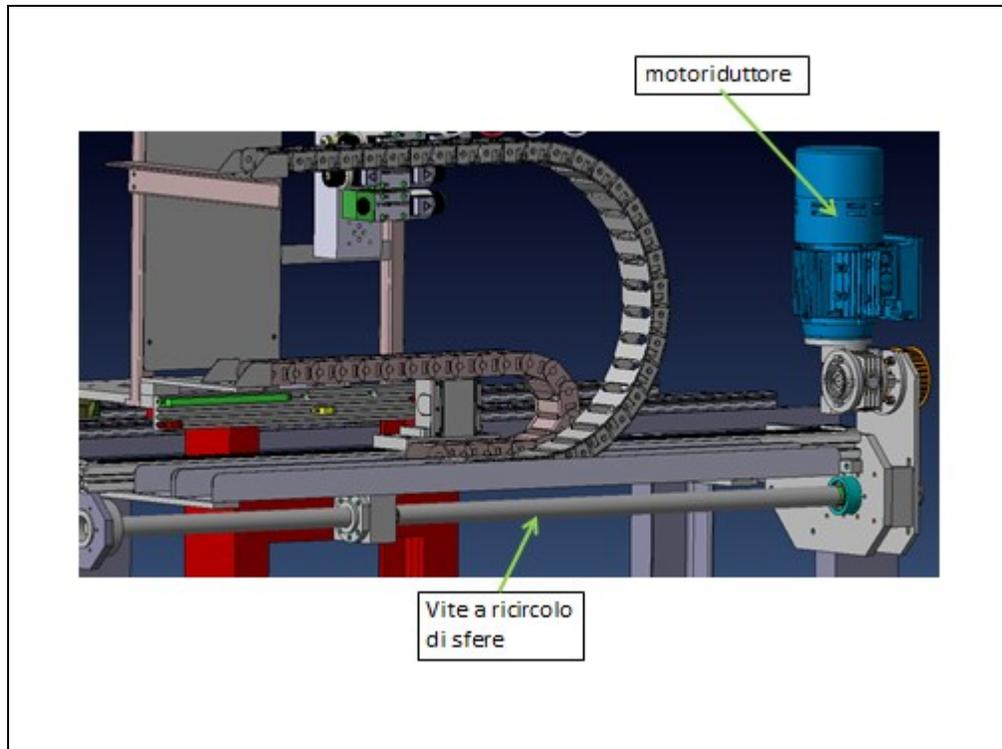


Figura 22. Motorizzazione telaio mobile

Gruppo di estrazione

Si è visto che, una volta tagliato correttamente uno dei due trefoli di rame, è possibile eseguire l'estrazione degli avvolgimenti facendo presa sul trefolo rimanente; sono state quindi condotte varie prove e realizzati alcuni prototipi fino ad ottenere una configurazione all'altezza delle aspettative.

I vari sistemi realizzati sono stati studiati in modo da essere implementati sul telaio mobile del meccanismo di bloccaggio e movimentazione dello statore.

Essendo i trefoli molto diversi a seconda della provenienza, frigo o lavatrici, si è preferito dotare i prototipi di due kit di griffe dedicate piuttosto che tentar di realizzare un sistema universale, sicuramente più complesso e senza garanzie di funzionamento.

Il primo prototipo è costruito sulla base di una pinza pneumatica ad apertura angolare disponibile in azienda e mostrata in Figura 23.



Figura 23. Pinza pneumatica angolare

Sulla struttura esistente sono state realizzate apposite griffe di presa in acciaio, che, sfruttando l'apertura, si adattano alle varie misure degli avvolgimenti. In corrispondenza dell'asse del sistema pneumatico, è fissato un dispositivo conico atto ad effettuare un pre-centraggio dello statore.

Il progetto Cad del Prototipo descritto è visibile in Figura 24

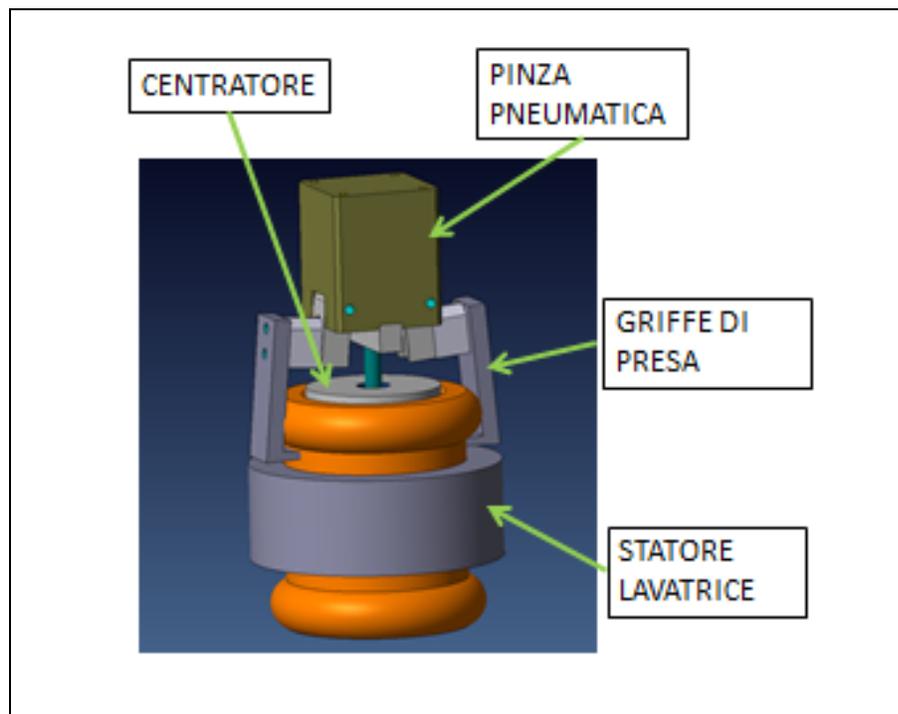


Figura 24. Sistema di estrazione trefoli di rame statori frigoriferi

In seguito al bloccaggio del trefolo, la separazione dal pacco lamellare viene effettuata da un cilindro pneumatico fissato sul retro della pinza. Esso presenta un alesaggio di 100 mm che permette di applicare una forza di estrazione di circa 3600 N ad una pressione di esercizio standard di 5 bar. Per evitare ogni possibile scivolamento dello statore sulle griffe della morsa di bloccaggio, è stato utilizzato un tubo metallico come contrasto, il quale, appoggiandosi sui lamierini, consente lo scorrimento al suo interno solo della pinza in presa sugli avvolgimenti.

In Figura 25 è rappresentato il sistema di estrazione completo installato sul telaio mobile.

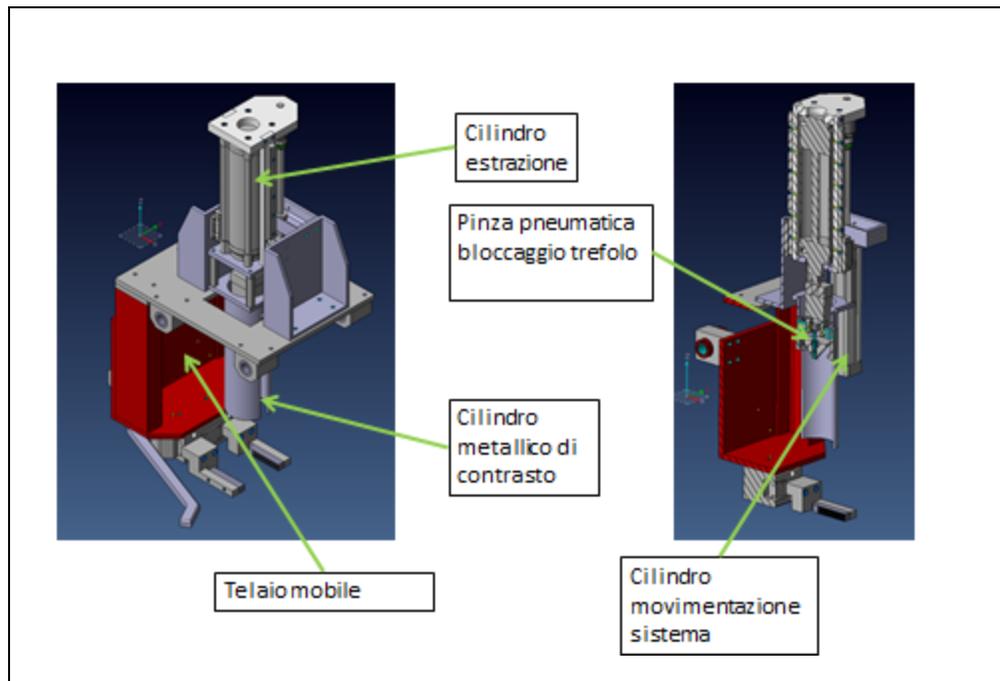


Figura 25. primo prototipo sistema di estrazione completo

Come è possibile osservare, anche la movimentazione del gruppo di presa viene realizzata tramite l'utilizzo di un secondo cilindro pneumatico.

Il ciclo di funzionamento del prototipo realizzato è descritto dalle seguenti fasi.

Fase1: il cilindro di estrazione estendendosi porta la pinza pneumatica in posizione di lavoro.

Fase2: il cilindro di movimentazione del gruppo ritraendosi porta il cilindro di contrasto a contatto con il pacco lamellare ed il cono di centraggio della pinza entra all'interno della bobina superiore.

Fase3: la pinza pneumatica si chiude facendo penetrare le griffe tra gli avvolgimenti al di sotto della bobina.

Fase4: il cilindro di estrazione si ritrae movimentando la pinza che, ancorata sugli avvolgimenti, ne provoca la fuoriuscita dalle cave statoriche.

Fase 5: la pinza si apre e deposita i trefoli di rame su di un nastro trasportatore che convoglierà il materiale all'esterno della macchina apposito sistema di trasporto che lo depone in un contenitore posto eternamente alla macchina.

Con questo prototipo si sono eseguiti numerosi test dimostrando che il metodo di separazione è efficiente. I risultati migliori sono stati ottenuti processando gli statori provenienti dai frigoriferi, riuscendo ad eseguire sempre una corretta estrazione e quindi ottenendo una buona qualità di materie prime seconde visibili in Figura 26.



Figura 26. Separazione materie prime seconde statori

Non è stato altrettanto positivo il risultato ottenuto processando il materiale derivato dalle lavatrici. Si è constatato che i trefoli di rame presenti in questi statori sono molto più compatti rispetto a quelli dei frigoriferi, comportando una scarsa penetrazione delle griffe tra gli avvolgimenti e quindi una presa poco efficace per l'estrazione.

Attribuendo lo scarso risultato all'insufficiente forza di chiusura del dispositivo pneumatico si realizzò un secondo prototipo utilizzando una pinza più performante per poter esercitare una presa più salda sugli avvolgimenti.

In Figura 27 è visibile la nuova pinza utilizzata prodotta da OMIL modello PGC 50, avente una forza di chiusura pari a 600N quasi doppia rispetto alla precedente.



Figura 27. Pinza angolare Omil PGC 50

Si è scelto questo modello in quanto si è constatato essere quello che offriva le migliori prestazioni pur essendo abbastanza compatto da essere installato sullo stesso equipaggiamento del precedente.

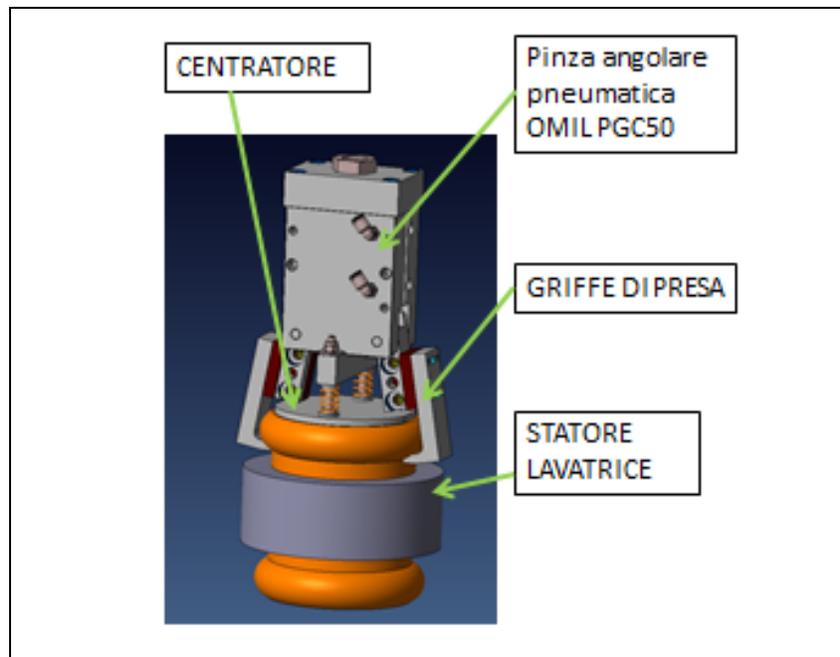


Figura 28.

Progetto cad sistema afferraggio trefoli con Pinza Omil PGC50



Figura 29. Prototipo realizzato

Nelle Figure 28 e 29 si può osservare il progetto e la realizzazione del prototipo del nuovo sistema, e di seguito la sua installazione sul telaio mobile.

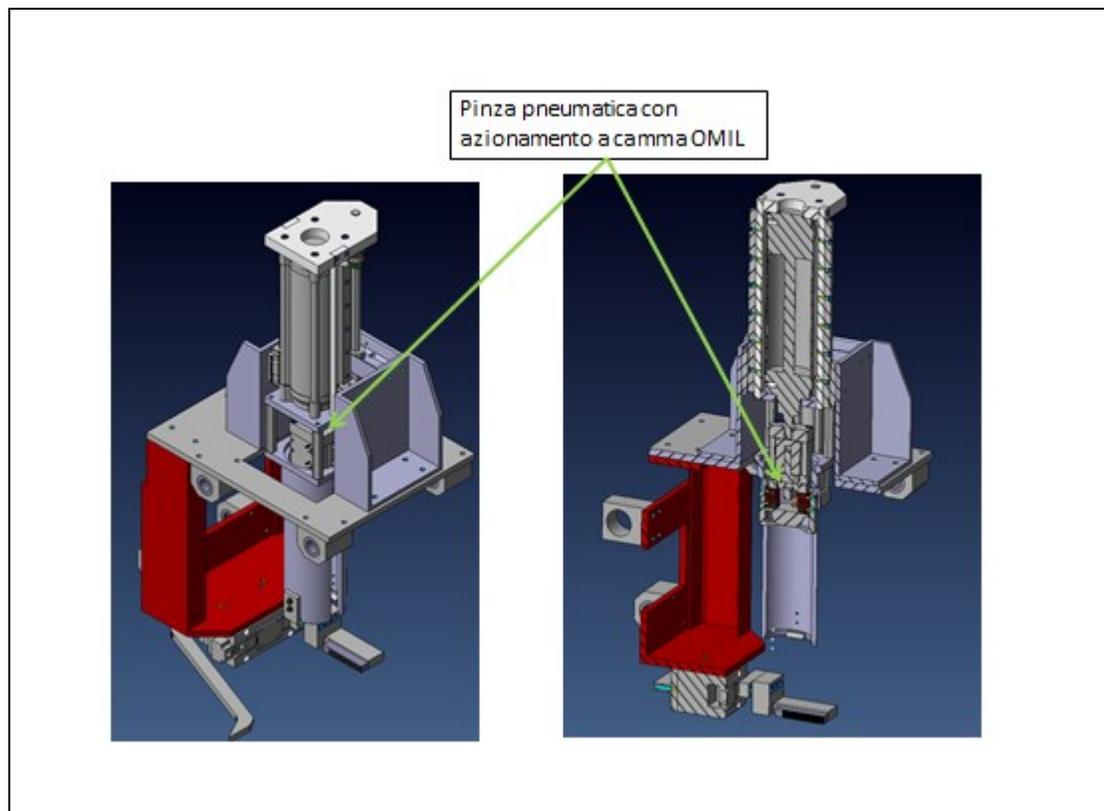


Figura 30. Secondo prototipo installato su telaio mobile

Come è possibile osservare non sono state necessarie modifiche sulla struttura portante.

Eseguendo vari test con questa configurazione, si è dimostrato che l'incremento di forza ha migliorato notevolmente il bloccaggio, presentando però un ulteriore problema: a differenza degli statori dei frigoriferi, il metodo con cui gli avvolgimenti di rame sono disposti all'interno del pacco lamellare è più uniforme.

Come è visibile in Figura 31, negli statori dei frigoriferi i trefoli di rame sono tutti raggruppati in due zone distinte, indi per cui, facendo presa in quelle determinate zone, si è quasi certi di afferrare tutti i singoli trefoli.

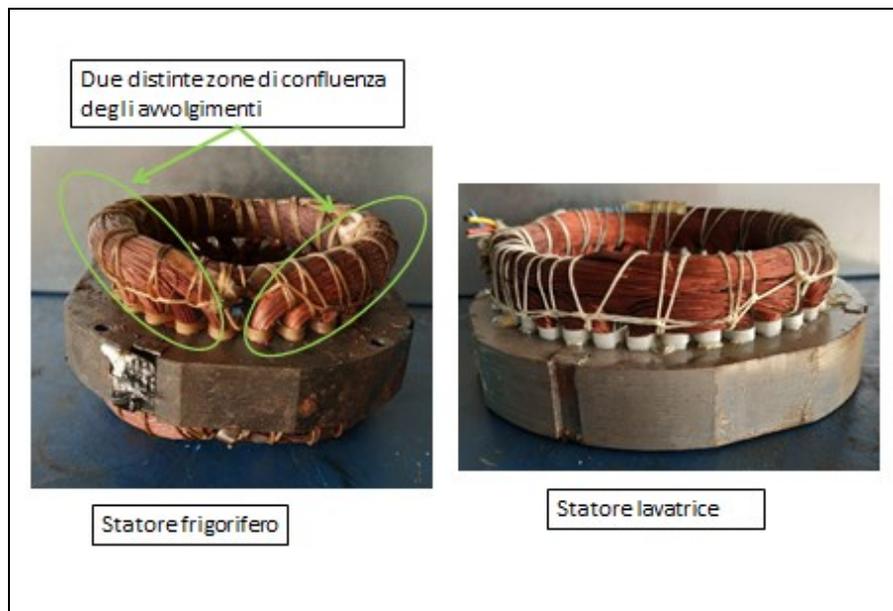


Figura 31. Differenza avvolgimenti statori frigoriferi e statori lavatrici

Al contrario si può osservare che negli statori delle lavatrici non vi sono zone simili e i trefoli sono disposti in modo più regolare. Questo comporta una distribuzione della forza di presa su un numero limitato di trefoli, compromettendo la corretta estrazione dei fili di rame.

In Figura 32 viene mostrato uno statore per il quale è stato utilizzato il sistema sopra descritto. Risulta evidente che nella zona di bloccaggio dei trefoli è stata possibile l'estrazione, mentre, nelle zone più lontane, i fili di rame non presentano particolari deformazioni.

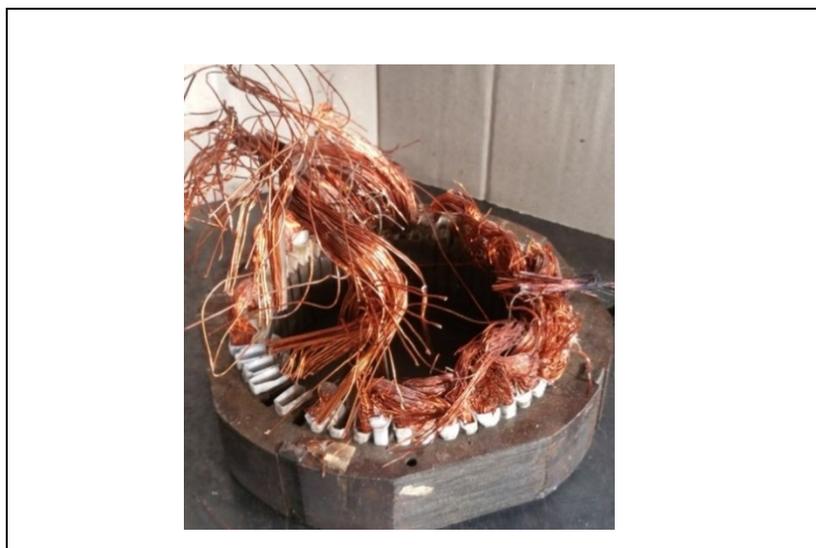


Figura 32. Statore dopo estrazione con Pinza OMIL PGC50

In seguito a questa esperienza, si è deciso di raddoppiare i punti di afferraggio sugli avvolgimenti.

Per la realizzazione di questo prototipo non è stato possibile utilizzare componenti commerciali a causa dei limitati ingombri disponibili sulla struttura esistente; si è quindi proceduto alla realizzazione e costruzione in azienda di una pinza a 4 griffe con azionamento idraulico.

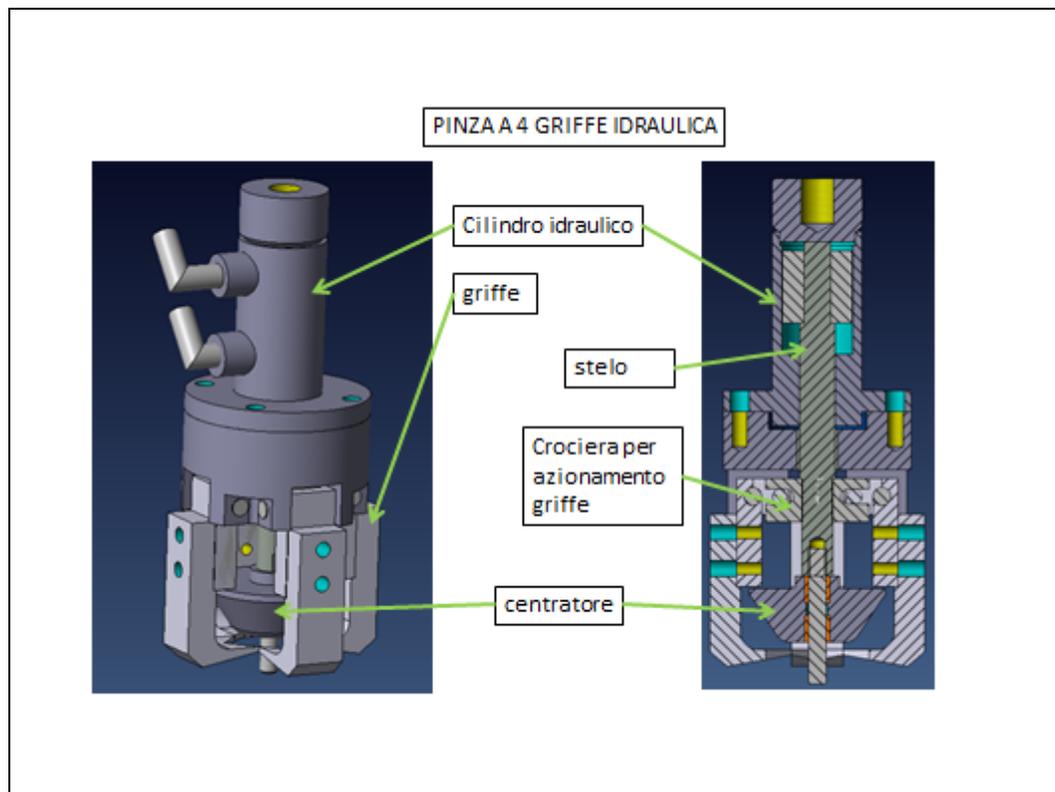


Figura 33. Progetto cad Pinza idraulica a 4 griffe sincrone

L'utilizzo di 4 punti di ancoraggio ha confermato che, distribuendo in maniera più uniforme la forza sugli avvolgimenti, si ottengono risultati migliori nell'estrazione seppur non ancora ottimali.

Continuando a sviluppare quest'idea, sono state sostituite le estremità delle griffe con una tipologia che fosse in grado di abbracciare in modo completo l'intero trefolo di rame.

Questa modifica è visibile in Figura 34

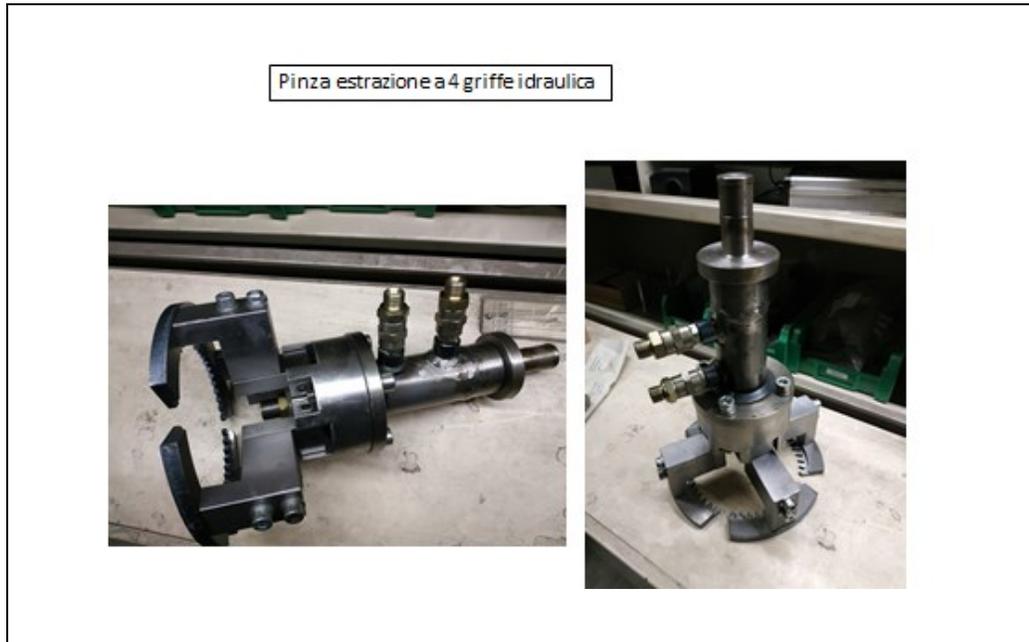


Figura 34. Prototipo pinza idraulica a 4 griffe maggiorate

Effettuando vari test con questa configurazione si sono ottenuti buoni risultati in termini di capacità estrattiva; tuttavia si è notato che in alcuni casi non è sufficiente un bloccaggio del trefolo solo sulla parte esterna ma è necessario fornire un contrasto interno che ne impedisca il collasso ed il conseguente scivolamento dalle griffe di presa visibile in Figura 35.



Figura 35. Statore lavatrice con rame collassato verso l'interno.

A fronte dei risultati ottenuti dai vari test, eseguiti utilizzando i prototipi realizzati, si è evidenziato la necessità di ancorare il trefolo in modo più uniforme sulla parte esterna ed inserire nella sua parte interna un contrasto necessario per poter applicare forze maggiori senza far collassare su sé stesso l'avvolgimento.

Il concetto che si è sviluppato viene schematizzato in Figura 36.

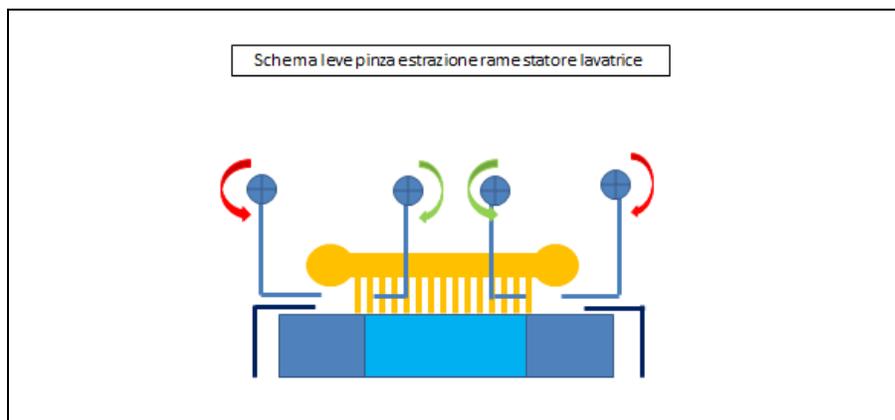


Figura 36.

Schema funzionamento pinza a bloccaggio esterno ed interno

In figura 37 viene mostrato il nuovo progetto del sistema di bloccaggio trefoli.

Più in dettaglio è possibile notare che la pinza è composta da un sistema dedicato al bloccaggio esterno degli avvolgimenti, composto da 4 cilindri idraulici, che azionano indipendentemente le 4 griffe esterne, ed un cilindro posto al centro della pinza che ha il compito di movimentare i contrasti interni.

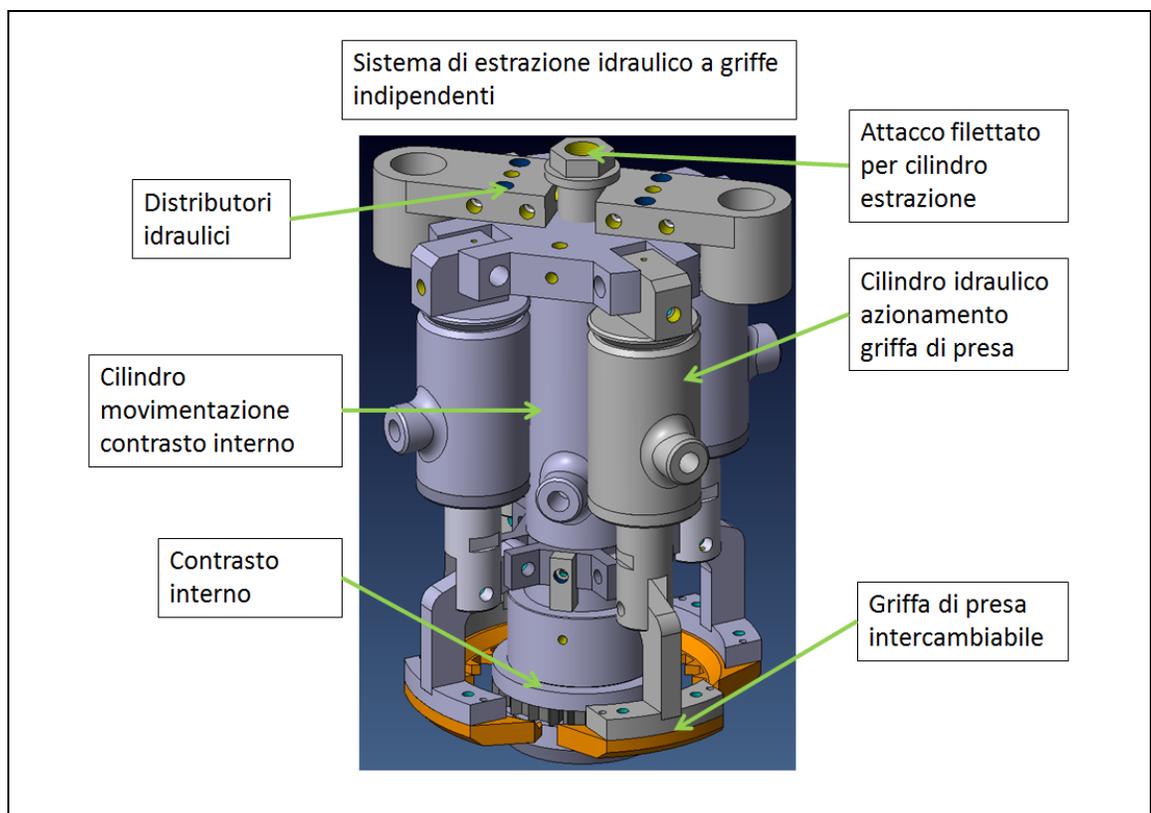


Figura 37. Progetto cad della nuova pinza a bloccaggio interno ed esterno

Si è preferito utilizzare un sistema a griffe indipendenti per meglio adattarsi ai trefoli di rame che frequentemente risultando essere deformati.

In Figura 38 è visibile una sezione del nuovo sistema, dalla quale si nota che il cilindro interno è stato ricavato nella struttura portate del meccanismo per ridurre al minimo gli ingombri.

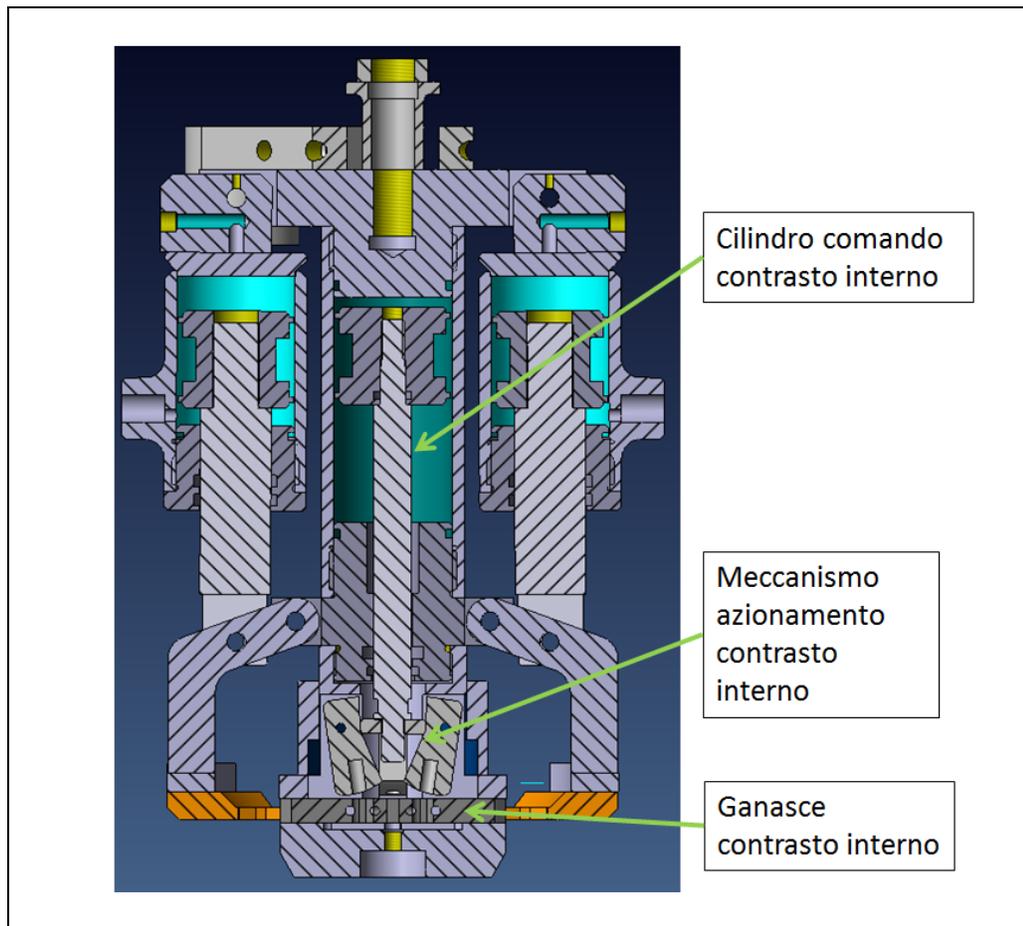


Figura 38. Sezione sistema di presa

Come per i prototipi precedenti, anche questa soluzione è stata progettata per assumere due configurazioni atte a processare le due tipologie di statori presi in considerazione.

In Figura 39 vengono mostrate entrambe.

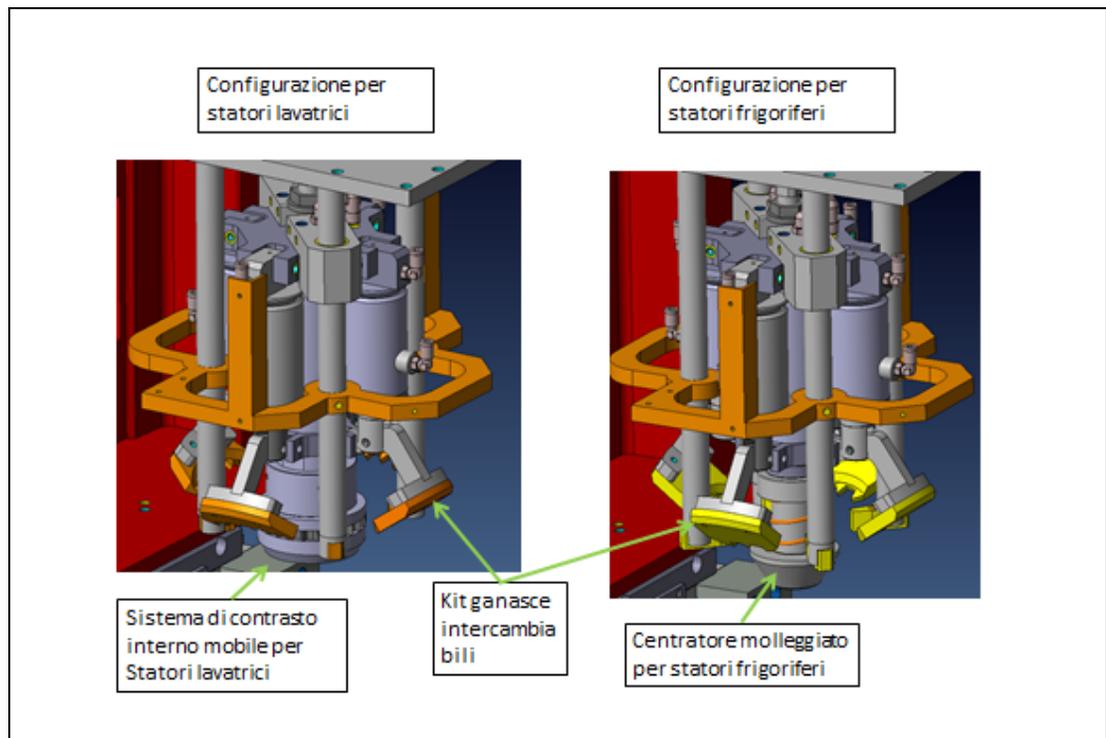


Figura 39. Confronto setup statori lavatrice/frigoriferi

La differenza maggiore tra le due configurazioni è situata nella parte centrale, infatti, per l'estrazione degli avvolgimenti dagli statori dei frigoriferi, sono sufficienti le ganasce esterne ed un centratore conico, mentre per processare quelli provenienti da lavatrici è necessario un contrasto interno. Le ganasce, come i piedini di contrasto, posti all'estremità delle colonne, sono state realizzate in due versioni dedicate alle due varianti di statori.

Essendo la pinza azionata da un circuito idraulico in grado di sviluppare pressioni molto elevate, è stato necessario verificare la stabilità dei singoli componenti per evidenziare eventuali criticità del sistema.

In seguito ad un'analisi del meccanismo, è stato identificato come componente più sollecitato la leva che movimenta la chiusura della ganascia esterna, visibile in Figura 40.



Figura 40. Dettaglio leva ganascia esterna

Questo componente si presenta incernierato ad un supporto fisso ed è collegato mediante un perno allo stelo di un cilindro idraulico che movimenta l'apertura e la chiusura della ganascia.

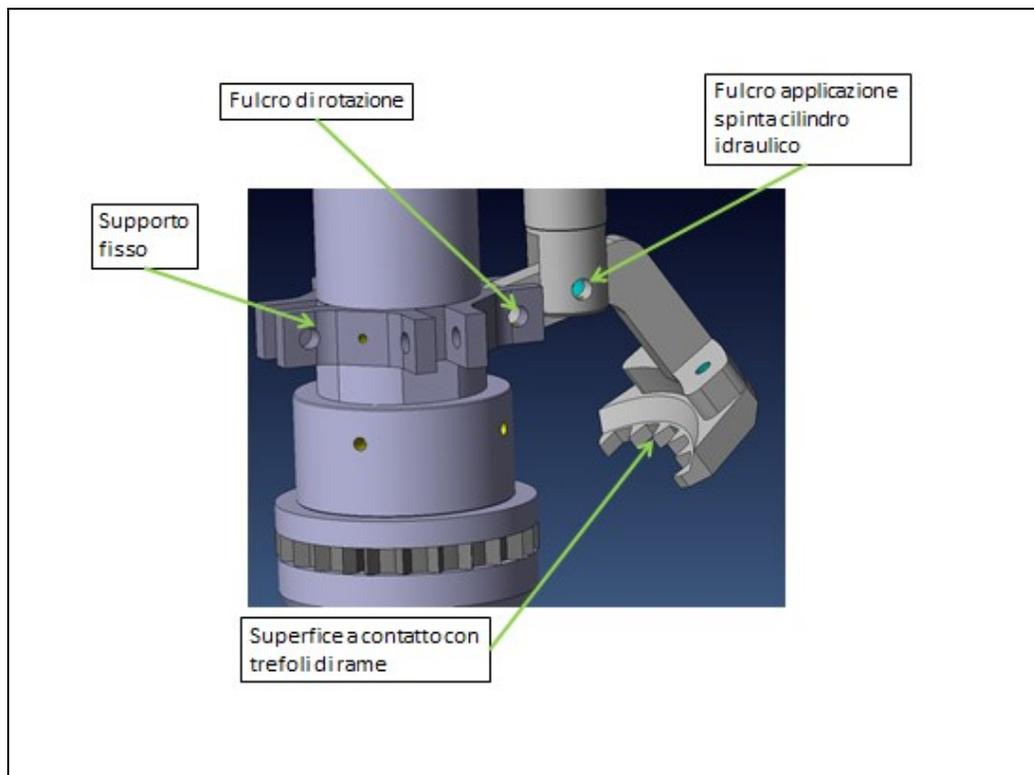


Figura 41. Installazione leva all'interno del meccanismo

Per la verifica strutturale del componente è stato utilizzato il software Ansys 19, nello specifico l'applicativo Workbench, con cui si è condotta l'analisi FEM.

In ambiente Workbench, è possibile importare non solo la geometria del singolo componente, ma anche un insieme di particolari e, in modo automatico, il software riconosce le facce di contatto alle quali è possibile attribuire diversi tipi di accoppiamento.

Sfruttando questa caratteristica, si sono importati la leva comprensiva di ganascia e i due perni di fissaggio, come visibile in Figura 42.

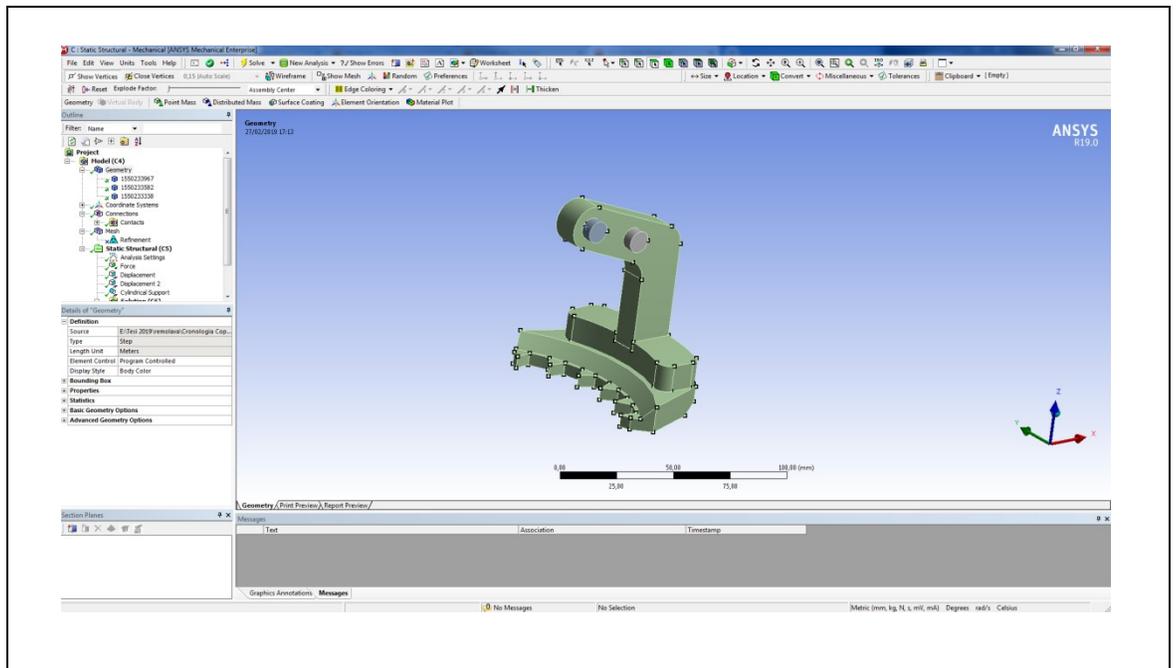


Figura 42. Geometria modello in ambiente Workbench

Come si può osservare dal colore delle entità, il software ha identificato i diversi componenti e ha associato alle facce di contatto il vincolo definito “bonded” che rende solidali i relativi particolari. Per il caso studiato, questo vincolo non è corretto poiché non permette la rotazione del perno all’interno del foro; viene quindi sostituito con il vincolo “no separation” che impedisce il solo distacco degli elementi.

Successivamente è stata realizzata una mesh preliminare utilizzando i parametri di default proposti da software.

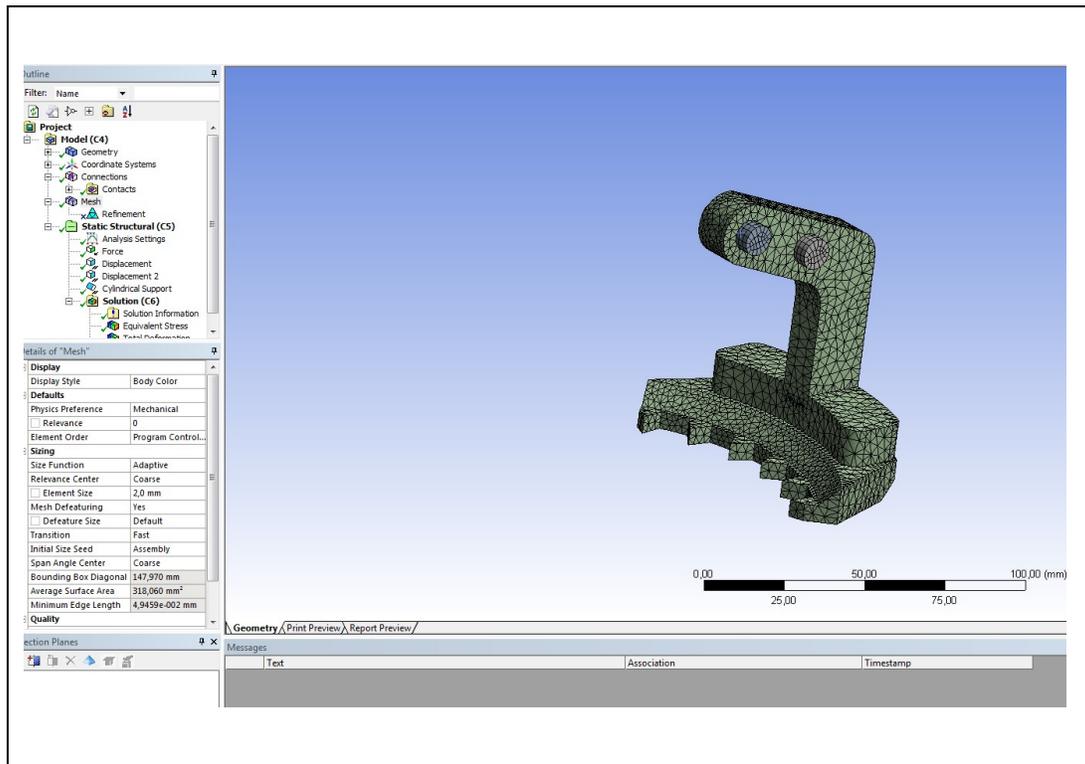


Figura 43. Mesh preliminare

I vincoli utilizzati per eseguire lo studio sono visibili in Figura 44:

- A. Carico applicato dal cilindro idraulico
- B. Spostamento bloccato, delle facce a contatto del rame, lungo la direzione X
- C. Spostamento del perno lungo Y bloccato
- D. Perno di collegamento leva-telaio fisso

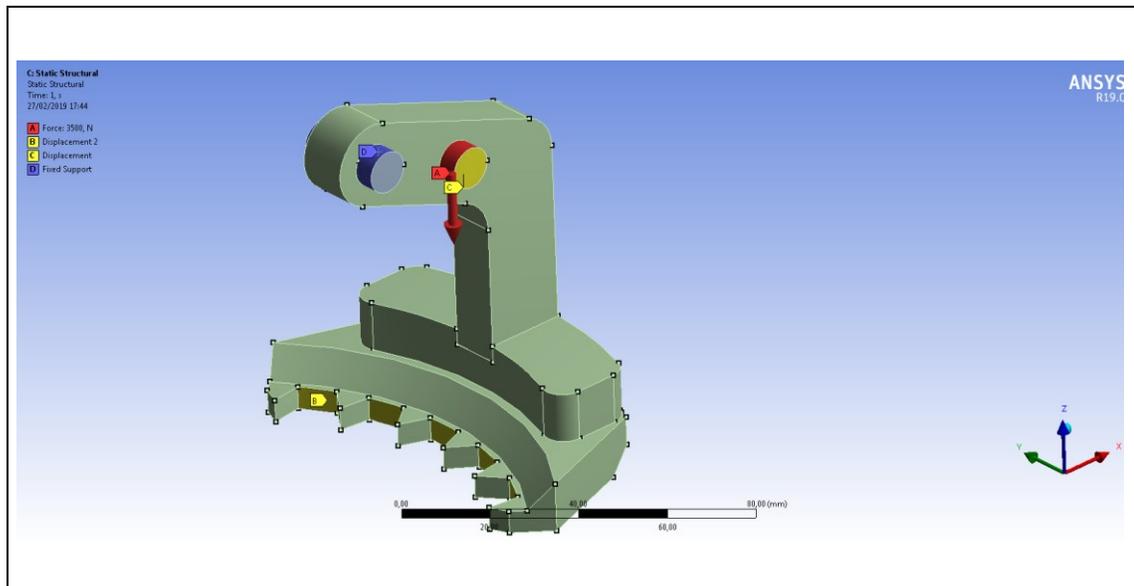


Figura 44. Condizioni al contorno

La forza applicata è stata valutata 3500N, valore ottenuto risolvendo l'equazione di equilibrio sul fulcro di rotazione e sapendo, da prove sperimentali, che la forza necessaria alla penetrazione del trefolo di rame è pari a 1000N.

L'obiettivo di questa analisi è stato individuare la zona più sollecitata del componente e valutare la tensione massima a cui è sottoposta. In Figura 45 sono rappresentati i risultati ottenuti.

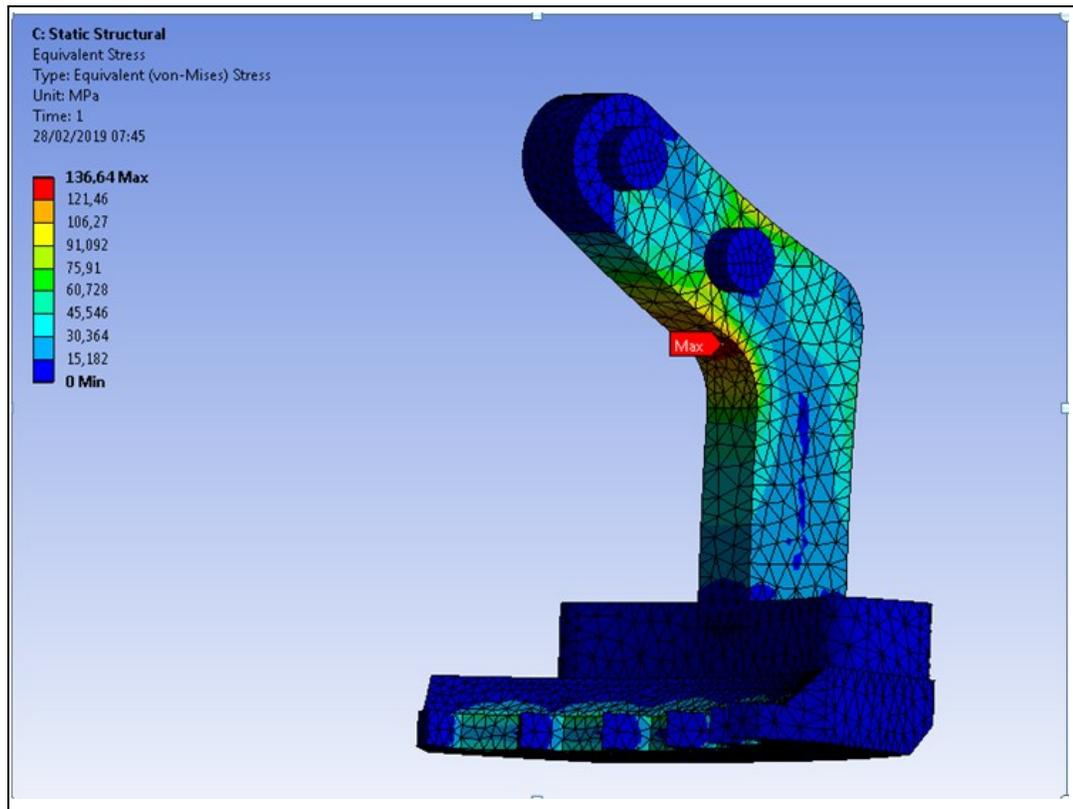


Figura 45. Tensione equivalente von-Mises

Come è possibile osservare la zona più sollecitata è direttamente sotto il perno di collegamento al cilindro idraulico e presenta una tensione equivalente di 136 MPa.

Avendo intenzione di costruire le leve in acciaio strutturale S275JR, per il quale si assume una tensione di snervamento di 265 MPa ed un coefficiente di sicurezza pari a 1.5, si ha che la tensione massima equivalente risultante dallo studio FEM è inferiore a quella ammissibile pari a 175 MPa.

In seguito, si è rielaborato il problema affinando la Mesh nella zona di tensione massima, operazione visibile in Figura 46.

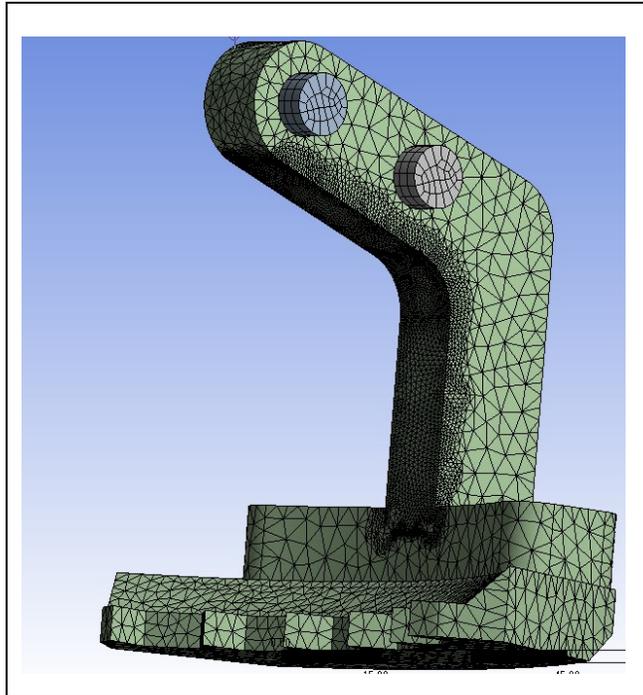


Figura 46. Raffinamento Mesh

Il nuovo risultato, come si osserva in Figura 24, è molto simile al precedente la variazione è di 1 MPa.

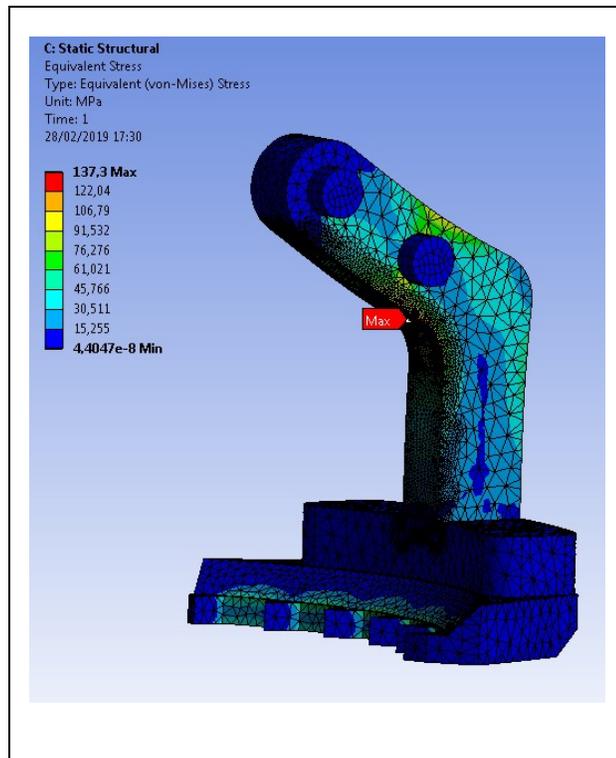


Figura 47.
Tensioni equivalenti con Mesh migliorata.

Per poter installare il nuovo sistema è stato necessario rivedere il supporto che lo colloca sul telaio mobile, in particolar modo lo si è irrobustito. Il cilindro pneumatico che prima era adibito all'estrazione, è stato sostituito da uno idraulico; anche il contrasto metallico tubolare per via degli ingombri della nuova pinza è stato sostituito da 4 colonne poste simmetricamente rispetto all'asse del sistema, esse fungono anche da guida nella discesa e salita del meccanismo.

In Figura 48 viene mostrato il progetto Cad del nuovo gruppo di estrazione installato

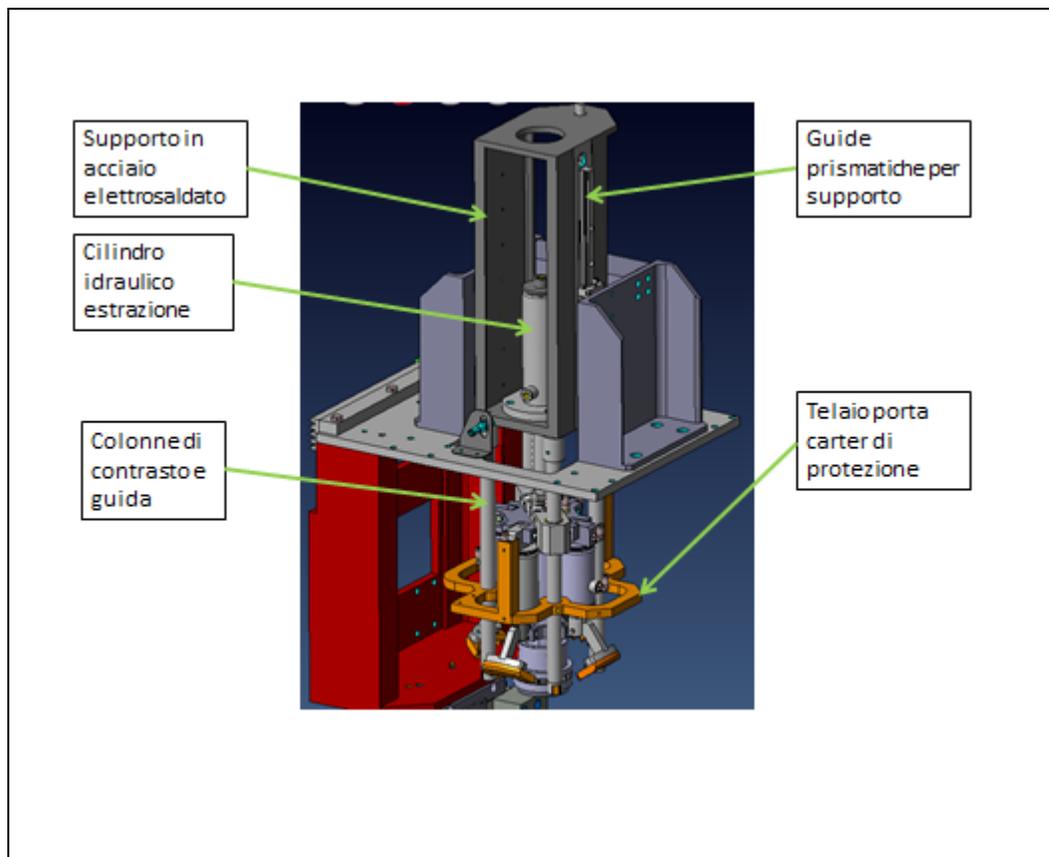


Figura 48.

Pinza idraulica a griffe indipendenti installata sul telaio mobile

Terminata la fase di progettazione, si è costruito il nuovo gruppo di cui è possibile osservare alcune immagini qui di seguito.

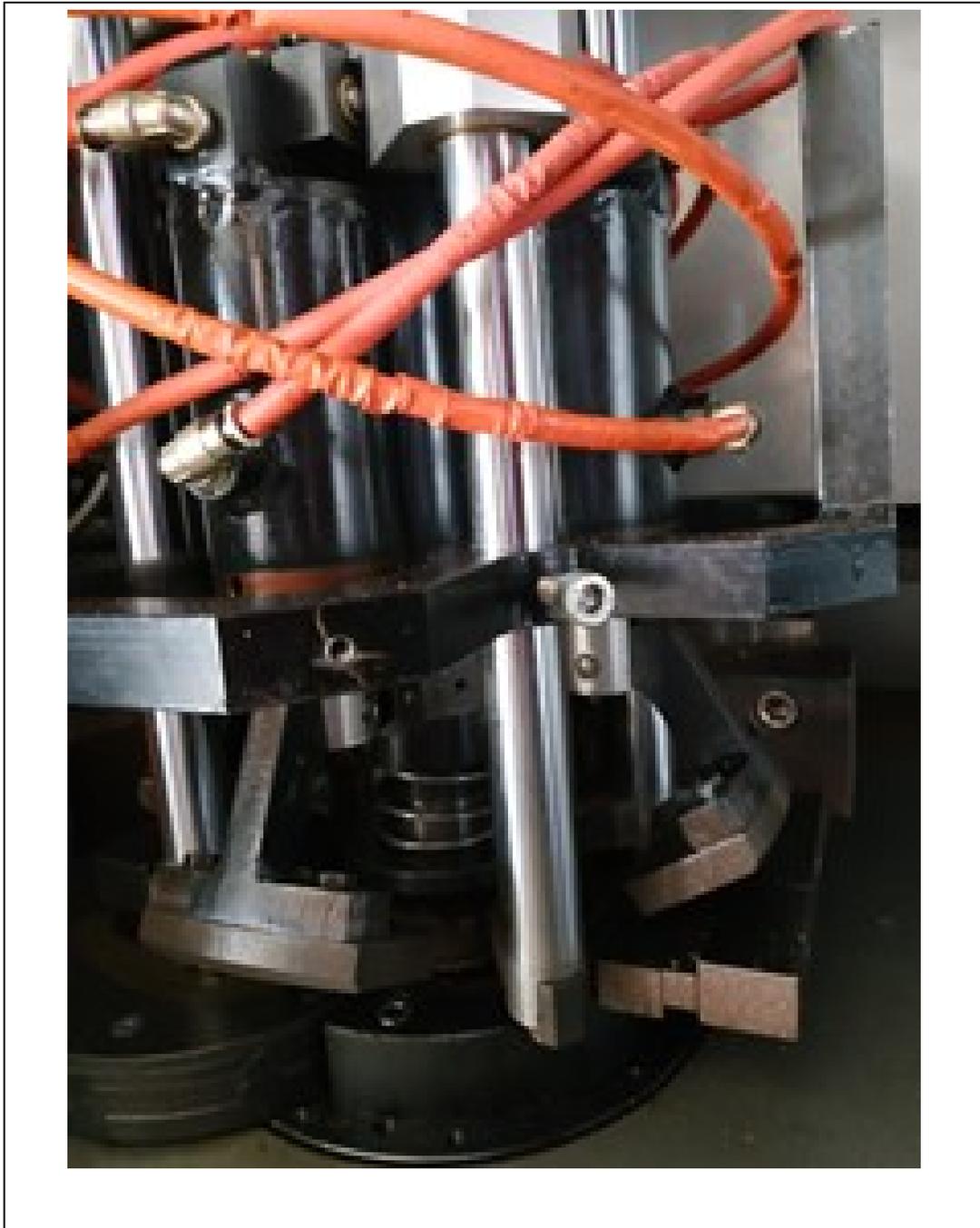


Figura 49. pinza idraulica griffe indipendenti con setup frigo



Figura 50. Vista frontale pinza idraulica setup lavatrici

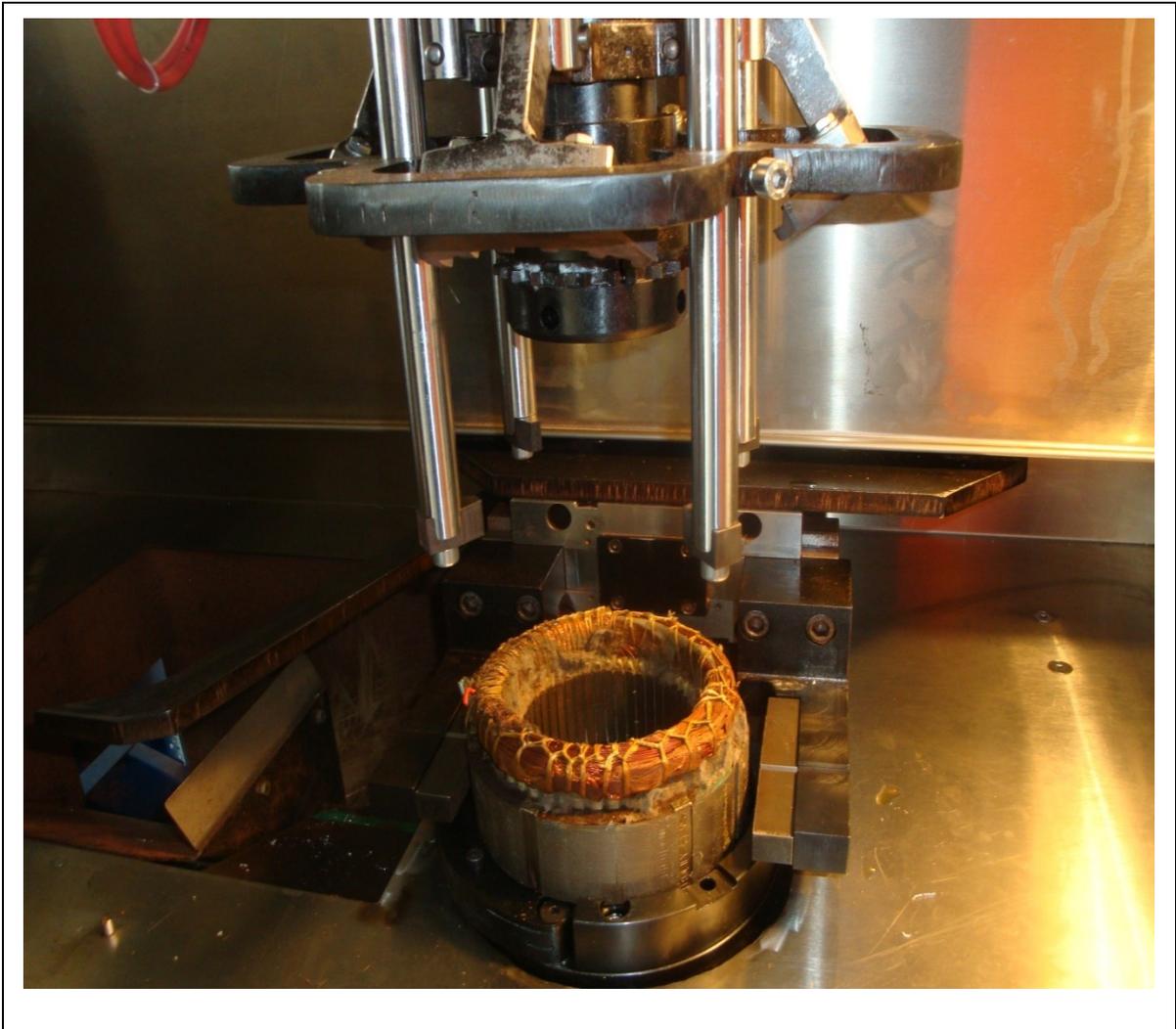


Figura 51. Vista pinza in posizione di carico statore lavatrice



Figura 52. Vista contrasto interno per statori lavatrici

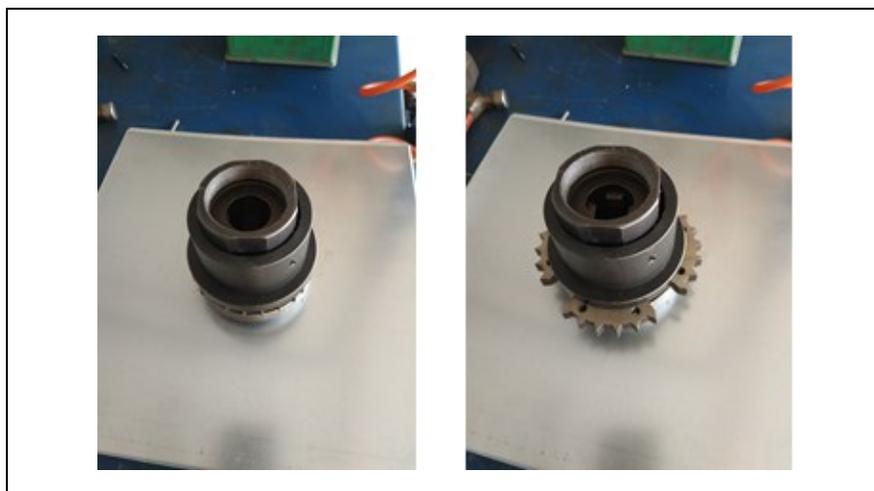


Figura 53.

Dettaglio contrasto interno statore lavatrice chiuso e aperto

Effettuando numerosi test con la nuova soluzione, si sono ottenuti risultati molto soddisfacenti: si è riuscito a processare statori di varie dimensioni senza problemi e, in tutti i casi, è stato possibile effettuare una corretta estrazione.

In Figura 54 si riporta una parte della campionatura di collaudo.



Figura 54. Statori processati con pinza idraulica

Gruppo espulsione materiali separati

Una volta eseguita la separazione dei trefoli di rame dal pacco statorico è stato necessario sviluppare un adeguato sistema di trasporto del materiale verso l'esterno della macchina. Nell'ottica di utilizzare sempre soluzioni semplici ed affidabili sono stati realizzati due nastri trasportatori a palette. La zona di carico dei nastri è stata posizionata al di sotto del piano di lavoro della macchina in modo tale che, tramite l'utilizzo di scivoli metallici, semplicemente lasciando cadere le varie parti vengano incanalate verso l'esterno.

In Figura 55 viene mostrato il gruppo sopra descritto.

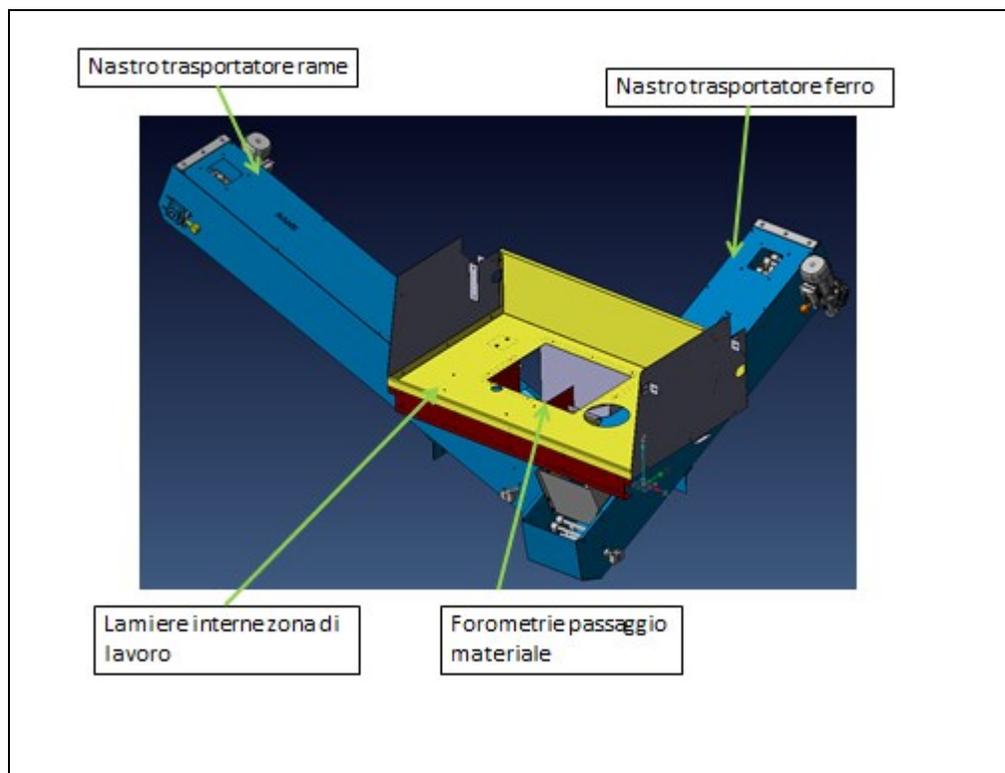


Figura 55. Gruppo estrazione materie prime seconde

Risultato finale

I vincoli di progetto prefissati sono stati ingombri limitati e piccole potenze d'esercizio, caratteristiche chiave per attrarre un numero maggiore di possibili utilizzatori.

La nuova macchina richiede al cliente una potenza di alimentazione di appena 10 kW ed una superficie di 10 mq esclusi i contenitori dei materiali in entrata ed uscita.

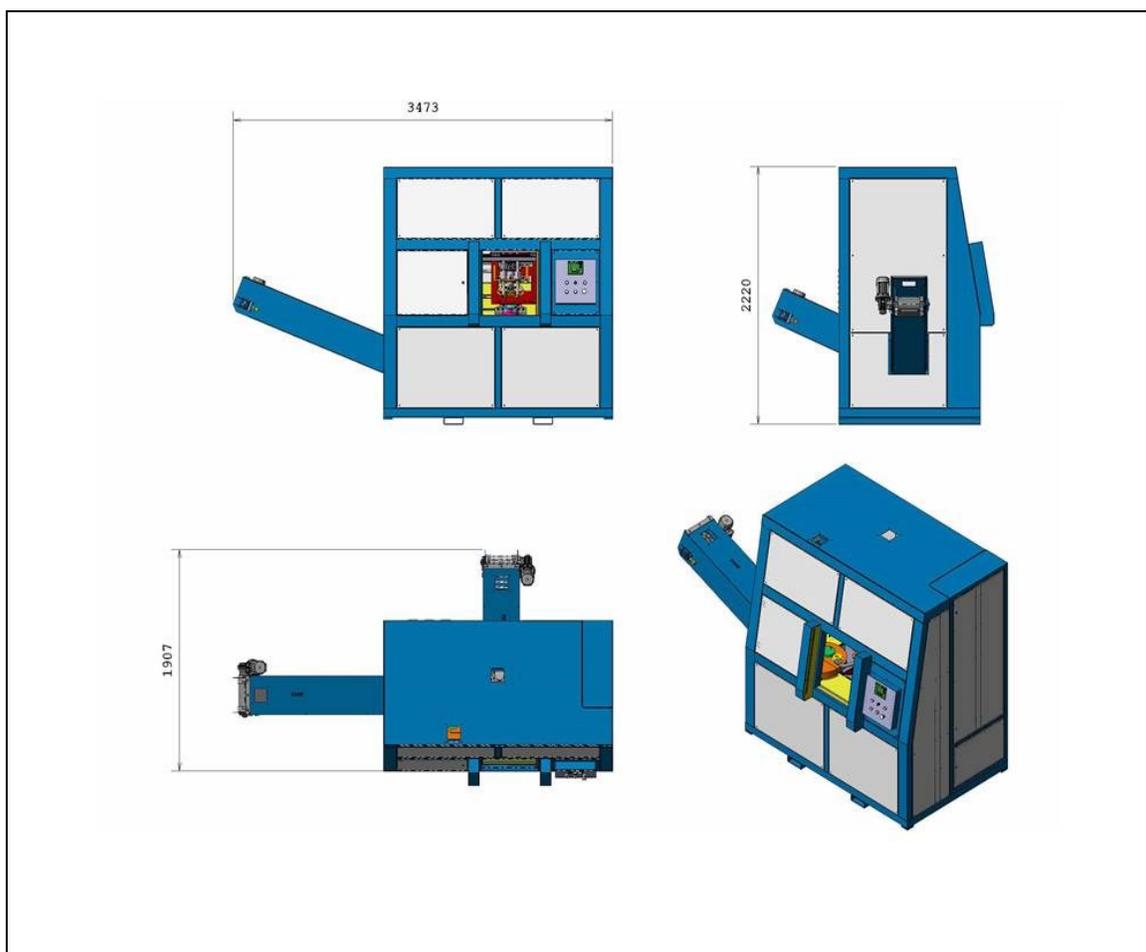


Figura 56. Ingombri macchina

Tutti i gruppi sopra descritti sono stati installati all'interno di un telaio realizzato in acciaio elettrosaldato e verniciato, progettato e garantire elevati standard ergonomici ed antinfortunistici. Tutta la pannellatura esterna è removibile per semplificare le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria.



Figura 57.

Macchina per separazione motori elettrici installata per fase di collaudo



Figura 58. Macchina per separazione motori elettrici vista laterale



Figura 59. Vista della zona di lavoro

Conclusioni

Il rame non emette sostanze nocive per l'ambiente e risulta riciclabile al 100%. Le nazioni tecnologicamente più avanzate recuperano i prodotti contenenti rame al termine della loro vita utile per recuperare il prezioso metallo, riducendo così la dipendenza dalle importazioni.

A fronte della sempre maggior richiesta di materia prima e alla disponibilità di rottame rosso, si stanno sviluppando metodi di recupero più efficienti e specializzati.

È con questo proposito che L'azienda Chiaro Macchine Speciali in collaborazione con il dipartimento DIMEAS del Politecnico di Torino ha progettato e realizzato una macchina in grado di fornire ai centri di raccolta RAEE la possibilità di separare e quindi valorizzare i materiali costituenti motori elettrici presenti in elettrodomestici come frigoriferi e lavatrici.

Un'analisi economica ha reso possibile stimare un incremento nei ricavi, dovuti alla vendita dei singoli materiali separati, variabile tra il 28 e 59% al netto di tutti i costi dovuti alla produzione.

Dapprima si sono realizzati prototipi dedicati alle singole operazioni.

Trovate le migliori soluzioni sono state combinate tra loro ricercando una configurazione semplice e funzionale.

Il risultato ottenuto ha dimostrato essere conforme alle aspettative e, in seguito ad un primo collaudo, non ha mostrato grandi criticità.

Sebbene questo macchinario si stato realizzato con l'obbiettivo di estrarre gli avvolgimenti di rame da una ristretta tipologia di motori elettrici, è plausibile pensare di applicare la stessa tecnologia, con un'adeguata revisione della macchina, ad altri componenti simili.

Allegati

Tabella 1 Dimensioni principali dei diversi tipi di statore per lavatrici									
	Dimensioni principali (da Fig. 3b)								
TIPO DI STATORE	A	B	C	D	E	F	G	H	N.SPIRE
1	160	98	107	147	27	27	40	96	48
2	157	95	102	145	25	31	40	95	48
3	158	98	104	141	24	26	40	91	48
4	158	98	106	141	24	24	46	106	48
5	158	95	100	146	26	26	25	75	48
6	158	98	105	142	30	30	40	98	48
7	158	98	108	135	25	26	30	81	36
8	158	98	108	138	28	27	36	90	48
9	158	90	98	132	25	25	35	86	24
10	156	98	103	145	28	28	40	100	48
11	160	98	105	138	24	28	30	82	36
12	158	98	106	136	28	28	50	108	48
13	158	98	108	135	25	25	25	78	36
14	158	95	102	138	25	30	50	105	48
15	158	95	107	139	22	25	40	90	48
16	158	95	105	138	28	28	35	98	48
17	158	98	110	137	28	25	40	100	48
18	157	95	100	134	25	25	30	78	48
19	163	90	95	137	30	30	78	142	24
20	158	98	102	137	28	28	40	96	48
21	158	93	102	135	25	25	25	75	48
22	158	95	105	133	26	28	40	195	48
23	158	98	105	137	28	28	35	90	48
24	158	98	105	139	26	26	25	80	36
25	158	98	107	140	28	28	35	90	48
26	157	95	105	135	25	25	40	90	48
27	158	98	105	134	25	26	30	80	36
28	157	95	103	135	25	25	30	78	48
29	158	95	105	135	23	25	30	85	48
30	158	95	100	137	25	30	30	80	36
31	157	95	107	137	25	25	40	90	48
32	158	95	105	141	23	25	40	90	48
33	158	95	105	141	23	25	40	90	48
34	156	90	102	130	26	26	35	88	24
35	158	98	108	135	27	25	30	85	36
36	158	98	105	137	23	24	40	88	36

Tabella 2 Dimensioni principali dei diversi tipi di statore per frigoriferi									
	Dimensioni principali (da Fig. 3b)								
TIPO DI STATORE	A	B	C	D	E	F	G	H	N.SPIRE
1	146	70	80	110	29	26	55	110	16
2	140	67	78	110	24	23	70	120	24
3	142	67	75	108	20	24	65	112	24
4	141	67	80	112	24	24	70	120	24
5	110	55	66	90	25	20	40	85	24
6	136	65	72	93	20	20	40	83	24
7	136	65	70	97	20	20	45	85	24
8	136	65	72	97	20	20	42	82	24
9	136	65	72	97	20	20	32	72	24
10	132	55	62	86	22	22	50	98	24

Sitografia

<http://www.copperalliance.it/il-rame/riciclo>

<http://www.amiat.it/cms/azienda/115-impianti/trattamento-beni-durevoli-raee>

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52017DC0490>

http://www.sicet.it/archivio-web/pages/urbanistica/leggi_urb/DPR_915-82.html

http://www.bosettiegatti.eu/info/norme/statali/2006_0152.htm

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32012L0019&from=it>

<https://electrek.co/2018/02/24/tesla-electric-motor-research-group-greece/>

<https://www.engineerlive.com/content/refurbishment-roosevelt-dam-hydropower-generator>

<https://www.stokkermill.com/it/macchine-riciclaggio/riciclaggio-motori-elettrici/>

<https://www.bronneberg-recycling.co.uk/en/products/customised-solutions/engine-wrecker/electric-motor-wrecker-bronneberg/>

<https://www.panizzolo.it/prodotti/serie-flex-mobile>

<https://www.registroaee.it/Normativa#2019-decreto-9-marzo-2017-n-68>