

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Meccanica

**Corso di Laurea
in Ingegneria Meccanica**

Tesi di Laurea Magistrale

**Trebbiatrice-Pulitrice ad azionamento
manuale assistito “Re-Thresher”
Messa in sicurezza e ottimizzazione del trasporto**



Relatore

Walter Franco

Candidato

Federico Serraglio

Luglio 2019

Indice

1	Scopo del lavoro	2
1.1	Allineamento disegni CAD	2
1.2	Messa in sicurezza della macchina	2
1.3	Trasportabilità	2
1.4	Prove di pulitura e trebbiatura finali	2
2	Introduzione storica	3
3	Trebbiatrice – pulitrice statica ad azionamento manuale assistito	8
3.1	Aspetto costruttivo	8
3.1.1	Rullo battitore a denti	12
3.1.2	Controbattitore	13
3.1.3	Paratie di contenimento	15
3.1.4	Ventola centrifuga	16
3.1.5	Setacci	17
3.1.6	Cassetto di raccolta	18
3.1.7	Rotismo e kit motore	19
3.1.8	Analisi cinematica	20
3.1.9	Carter	23
3.2	Aspetto funzionale	23
4	Sicurezza	26
4.1	Direttiva macchine	26
4.2	Progettazione sicura del macchinario	26
4.2.1	Fase 1: Valutazione dei rischi	26
4.2.2	Fase 2: Progettazione sicura e riduzione dei rischi	28
4.2.3	Fase 3: Misure tecniche di protezione	30
4.2.4	Fase 4: Informazioni all'utente sui rischi residui	30
4.2.5	Fase 5: Convalida generale	31
4.3	Applicazione Direttiva macchine per la Trebbiatrice – pulitrice	32
4.3.1	Area rotismo	32
4.3.2	Area ingresso covone	32
5	Progettazione	35
5.1	Prima proposta	36
5.2	Seconda proposta	37
5.3	Ribaltamento	38
5.4	Smontabilità	40
6	Trasportabilità	45
6.1	Forza necessaria al ribaltamento	46
6.2	Prima proposta	48
6.3	Seconda proposta	52
6.3.1	Alternativa fissaggio manici	58
6.3.2	Verifica statica	61
6.3.3	Linea elastica	67
7	Prove di trebbiatura e pulitura in laboratorio	70
7.1	Pulitura	70
7.1.1	Sostituzione setaccio	70
7.2	Trebbiatura – pulitura	74
7.2.1	Recupero materiale	74
7.2.2	Prove di trebbiatura - pulitura	75
8	Lista delle figure	78
9	Riferimenti	80

1 Scopo del lavoro

Nell'anno 2018 è stata ideata, realizzata e costruita dall'ingegner Walter Franco, Luigi Bartolucci e Federica Focanti al Politecnico di Torino, un prototipo di macchina Trebbiatrice – pulitrice (“Re-Thresher”), ad utilizzo familiare.

Lo stato progettuale e realizzativo in cui la macchina si trovava, necessitava di una serie di interventi relativi a vari aspetti funzionali e progettuali. A tal proposito, il mio contributo e lavoro si è focalizzato sui seguenti temi, oggetto della tesi:

1.1 Allineamento disegni CAD

I modelli CAD realizzati precedentemente, nella fase di progettazione della macchina, necessitavano di un aggiornamento ed allineamento; sono quindi stati revisionati e aggiornati al fine di poter correttamente riportare le modifiche implementate nelle successive fasi realizzative.

1.2 Messa in sicurezza della macchina

Studio e analisi del funzionamento della macchina con maggior attenzione sui possibili aspetti pericolosi per gli operatori; individuazione e mitigazione delle fonti di rischio attraverso la progettazione e prototipazione degli elementi risolutivi.

1.3 Trasportabilità

Studio e analisi della macchina al fine di facilitare la trasportabilità della stessa con relativa progettazione e realizzazione del sistema di trasporto.

1.4 Prove di pulitura e trebbiatura finali

Al seguito delle attività precedenti, al fine di validare le scelte fatte, sono stati realizzati test funzionali di “Trebbiatura e Pulitura” della macchina, in laboratorio.

2 Introduzione storica

Nell'antichità, gli attrezzi manuali per la trebbiatura del grano usati dai contadini erano: *correggiato ventilabro di vimini*, *crivelli di legno*, *palo da trebbiatura*, *forca*, *rastrello* e *pala spulatrice*. I covoni più piccoli venivano battuti a mano su una lastra di pietra o su un asse piatto o a forma di grondaia cava, appoggiato inclinato al muro. I resti delle spighe caduti al suolo venivano battuti con il *correggiato*. In alcune località, la trebbiatura veniva eseguita facendo calpestare il grano, posto nell'aia, da buoi, muli o cavalli. Gli animali potevano essere scarichi oppure trascinare una pesante roccia o rulli di legno muniti di lame di acciaio sporgenti.

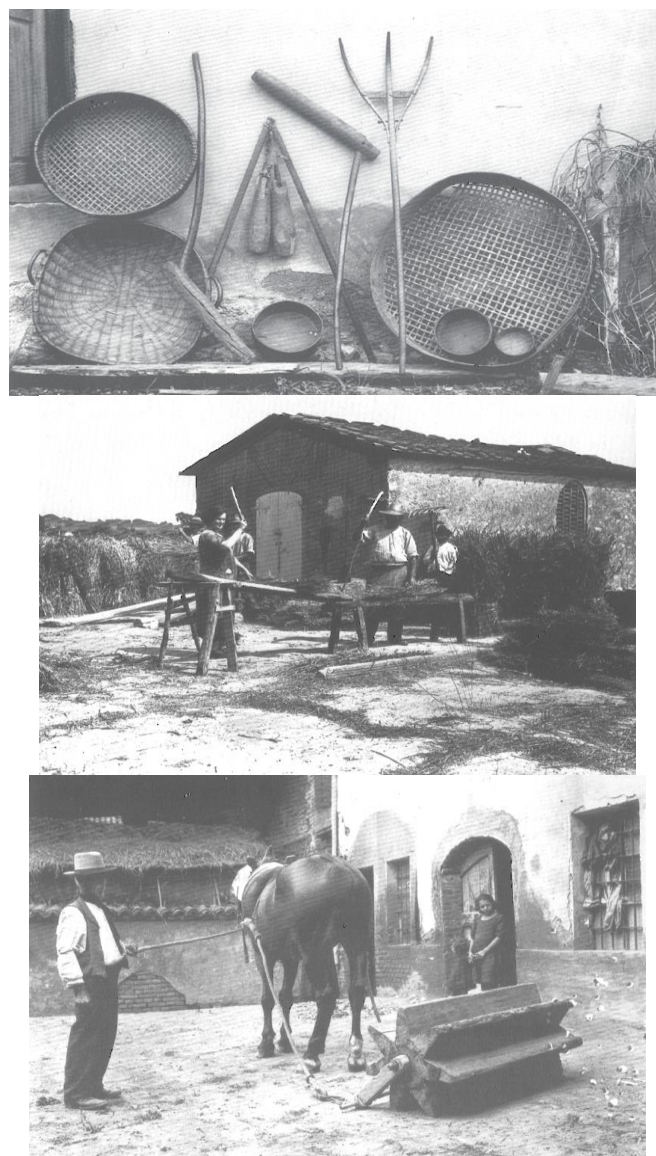


Figura 1 Antichi attrezzi per trebbiatura

La pulizia del grano, ovvero la separazione dei chicchi dalla pula eseguita dopo la trebbiatura, veniva eseguita facendo cadere a terra il grano da un crivello situato ad una certa altezza (tenendolo sopra la testa o salendo su un tavolo o sedia) cosicché al vento la pula venisse separata dai chicchi.

Da un punto di vista storico, le operazioni di trebbiatura sono state meccanizzate prima dei metodi di raccolta e sono state oggetto di analisi e studio per tutto il diciottesimo secolo. Nella sua più semplice forma la trebbiatrice è costituita da un tamburo dentato messo in rotazione manualmente o tramite pedale, che strappa i chicchi dal fascio di spighe tenute in mano dall'uomo. Successivamente, per questa operazione vengono utilizzati due elementi; il battitore e il controbattitore o griglia. Essi sono ancora oggi presenti, indipendentemente dalla struttura della trebbiatrice.

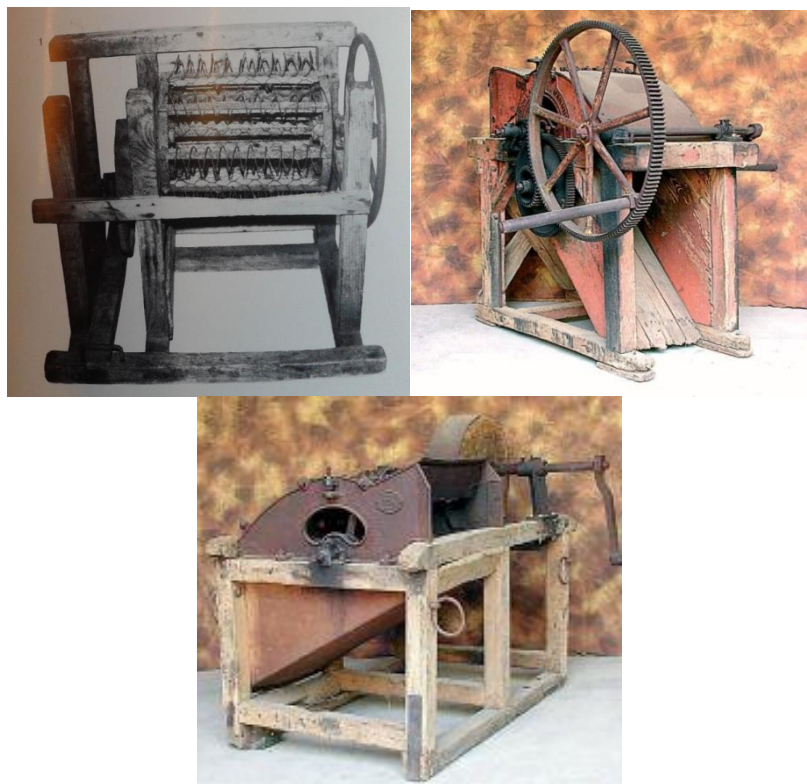


Figura 2 Trebbiatrici a mano dell'800, di costruzione orientale, tedesca e francese

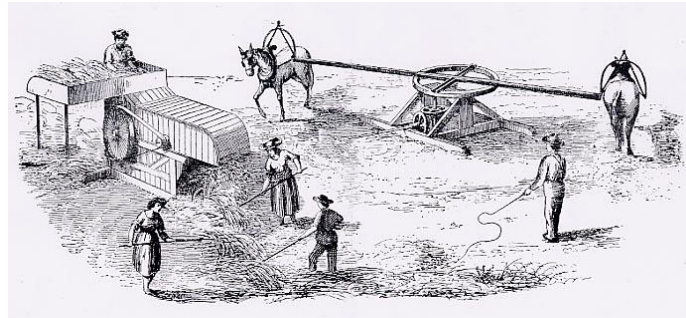


Figura 3 Trebbiatrice a trazione animale dell'800

I ventilatori o *tararà*, servivano invece per le operazioni di pulitura (spulatura) e scelta dei chicchi (crivellatura). Il grano trebbiato viene versato nella tramoggia posizionata nella parte superiore e si deposita su vagli posti uno sopra l'altro e sfalsati. Questi sono animati da moto alternativo che va a riprodurre quello frenetico del setaccio. Il tamburo di latta o legno, messo in moto manualmente, genera un flusso d'aria che trascina via le impurità (Scheuermeier, 1980)

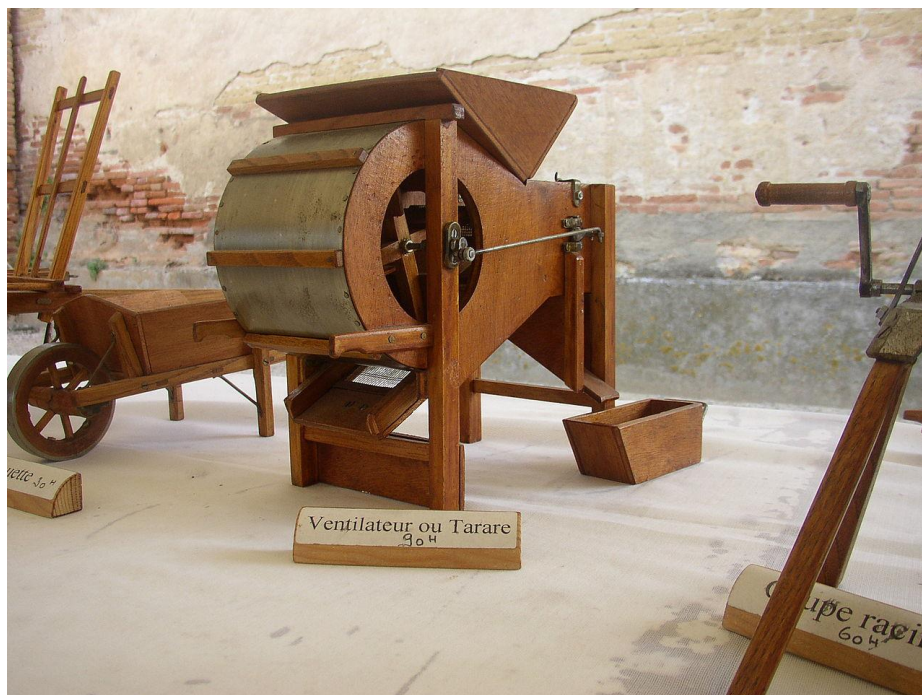


Figura 4 Tararà francese

Successivamente si cercò di unire tutte queste operazioni in un unico macchinario. La prima esigenza era quella di poter separare meccanicamente gli steli, ossia la paglia, che rappresentava la parte dal maggiore ingombro di tutta la pianta. Gli organi adibiti a questo scopo sono gli scuotipaglia. Nella loro forma più comune essi si presentano

come scatole rettangolari allungate, aperte agli estremi e dotate nella parte superiore di listelli o di reti apposite per far scorrere i semi e fermare la paglia. Essi sono posti all'uscita del battitore, avvicinati in un numero variabile da tre a cinque e sono animati da un moto sussultorio e ondulatorio per mezzo di uno o due alberi a gomiti. Un'altra esigenza molto sentita era quella di eliminare le parti più piccole e leggere. Questo veniva svolto nel gran cassone, dotato di un gran crivello per eliminare la maggior parte delle pagliuzze, spighe vuote e pula. Un ventilatore allontanava le parti più leggere e la polvere. Il problema più rilevante era la perdita dei semi che si mescolavano alla paglia e, anche se in quantità minore, alla pula, tanto che la qualità di una macchina era valutata dal grado di perdita del seme. I tentativi per ridurre queste perdite furono molteplici; la controprova fu il progressivo allungamento degli scuotipaglia e di conseguenza delle macchine per cercare di ridurre al massimo il problema. Non mancò chi invece ideò organi specifici per migliorare l'efficienza degli scuotipaglia pur riducendone molto la loro lunghezza. Uno di questi elementi era applicato subito presso il battitore ed era chiamato spagliatore. Attualmente viene regolarmente applicato alle moderne mietitrebbiatrici (Cianni, s.d.)

Le trebbiatrici stazionarie sviluppate nell'età moderna sono principalmente di due tipologie. (FAO Agriculture and Consumer Protection Department (AG))

- trebbiatrice "hold-on", di design giapponese, chiamata in questo modo perché i fasci sono trattenuti da un trasportatore a catena che li movimenta e presenta solo le spighe verso il cilindro trebbiante, mantenendo lontano la paglia. Secondo le condizioni del raccolto, i tassi di lavoro possono variare tra 300 e 700 kg/h. Il principale svantaggio di questi macchinari è la loro fragilità.

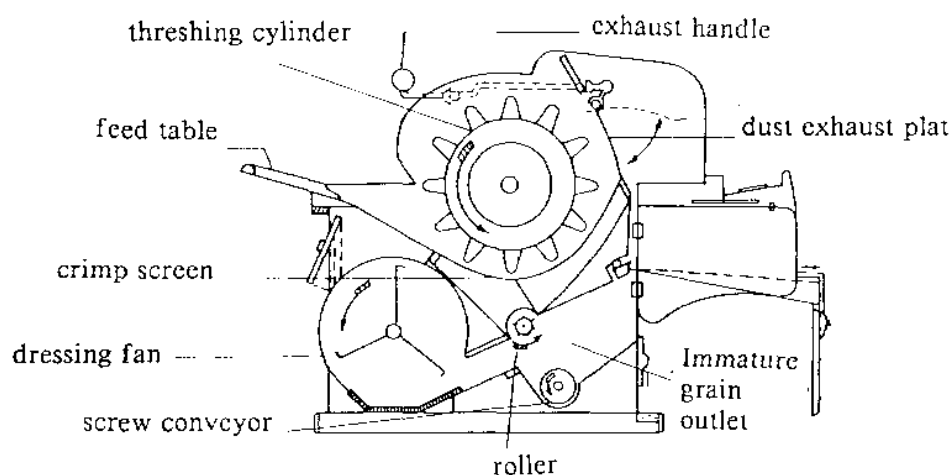


Figura 5 Design trebbiatrice orientale

- macchine di design occidentale, conosciute come trebbiatrici “through-flow” poiché gli steli e le spighe passano attraverso la macchina. Sono costituiti da un elemento trebbiante con pioli, denti o anelli e, nei modelli più complicati, un meccanismo di pulizia-vagliatura basato su agitatori, setacci e ventola centrifuga. Le capacità dei modelli dei produttori europei (ad es. Alvan Blanch, Vicon, Borge) o dei paesi tropicali (Brasile, India, ecc.) vanno da 500 a 2000 kg/h.

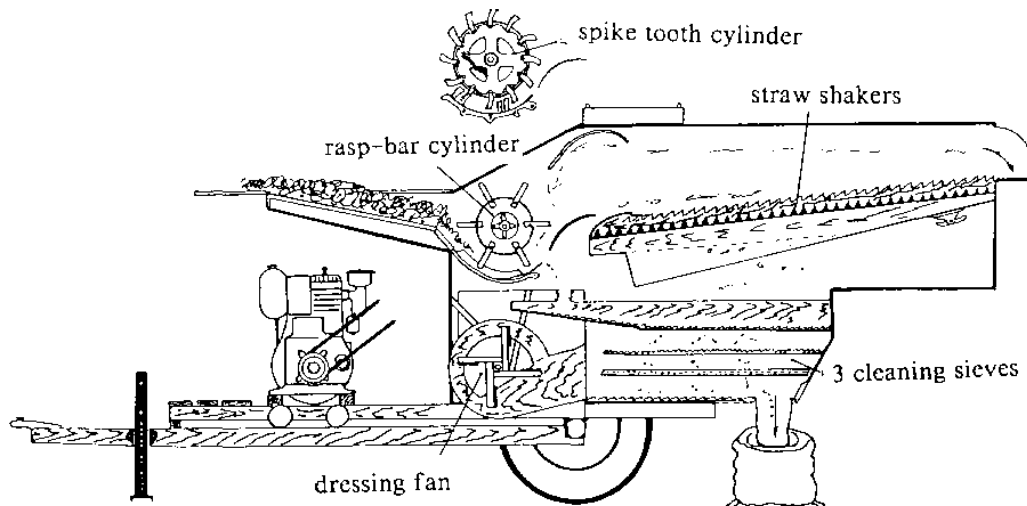


Figura 6 Design trebbiatrice occidentale

3 Trebbiatrice – pulitrice statica ad azionamento manuale assistito

Nella nostra società oramai, macchinari per trebbiare e pulire il grano che puntano a produttività ed efficienza elevate, ve ne sono molteplici. Con l'avanzare della tecnologia sono state realizzate macchine (mietitrebbiatrici) sempre più grandi ed efficienti, che puntano ad elevate quantità di produzione per poter competere nel mercato.

Esistono però delle realtà molto diverse, con esigenze di gran lunga differenti, in cui le attività di trebbiatura e pulitura del grano, sono di natura per lo più familiare. In questi casi l'utilizzo di questa tipologia di macchine per loro natura, ingombranti e costose, sarebbe difficoltoso.

A tal proposito quindi, ispirandosi a design moderni, è stata progettata e realizzata al Politecnico di Torino una macchina trebbiatrice – pulitrice (“Re-Thresher”) che fosse:

- Per l'utilizzo familiare
- Affidabile
- Versatile
- Trasportabile

Nel prossimo capitolo si andrà a descrivere il macchinario dal punto di vista funzionale e costruttivo.

3.1 Aspetto costruttivo

La macchina nel complesso si presenta così:

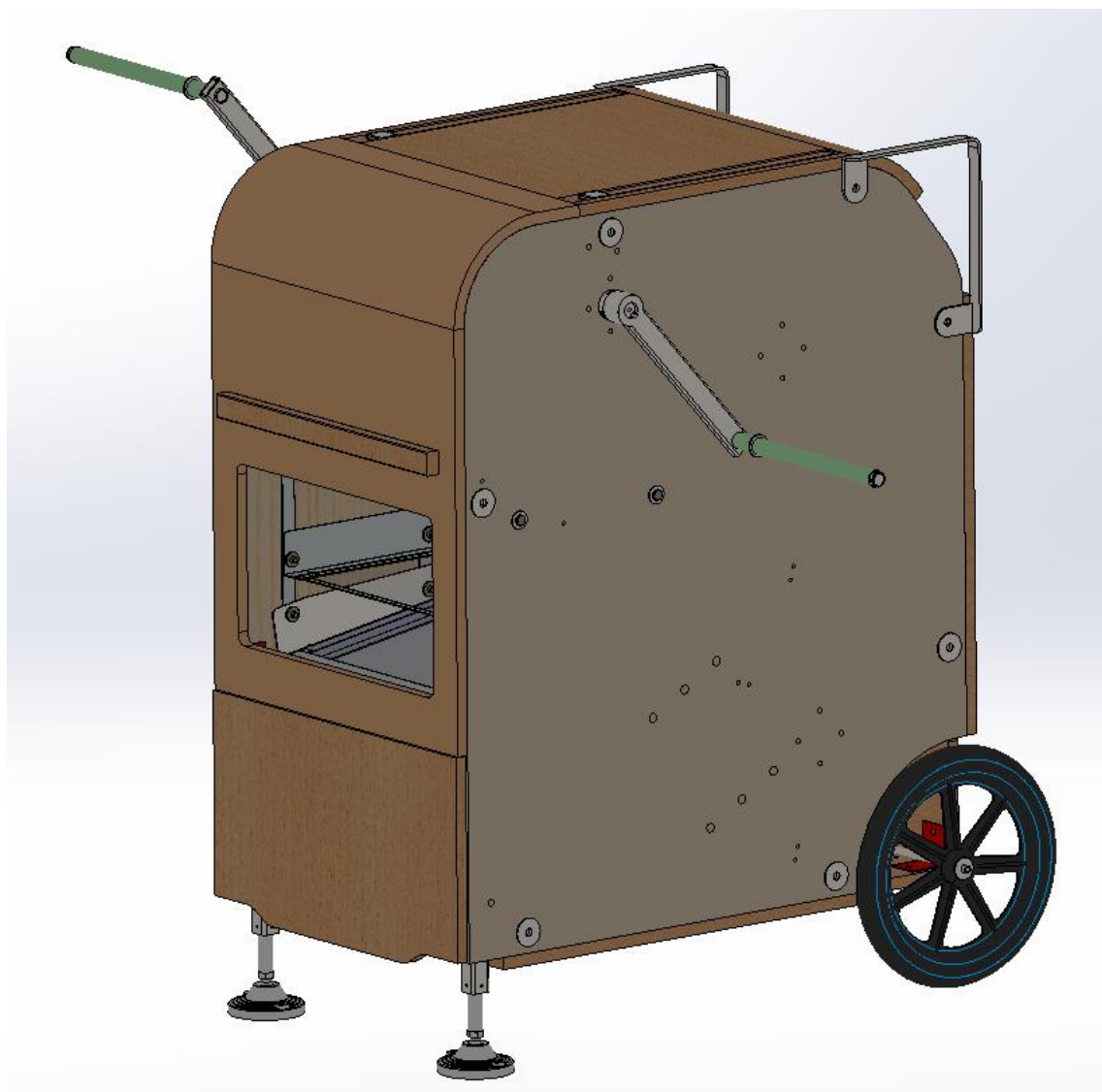


Figura 7 Complessivo vista 1



Figura 8 Complessivo vista 2

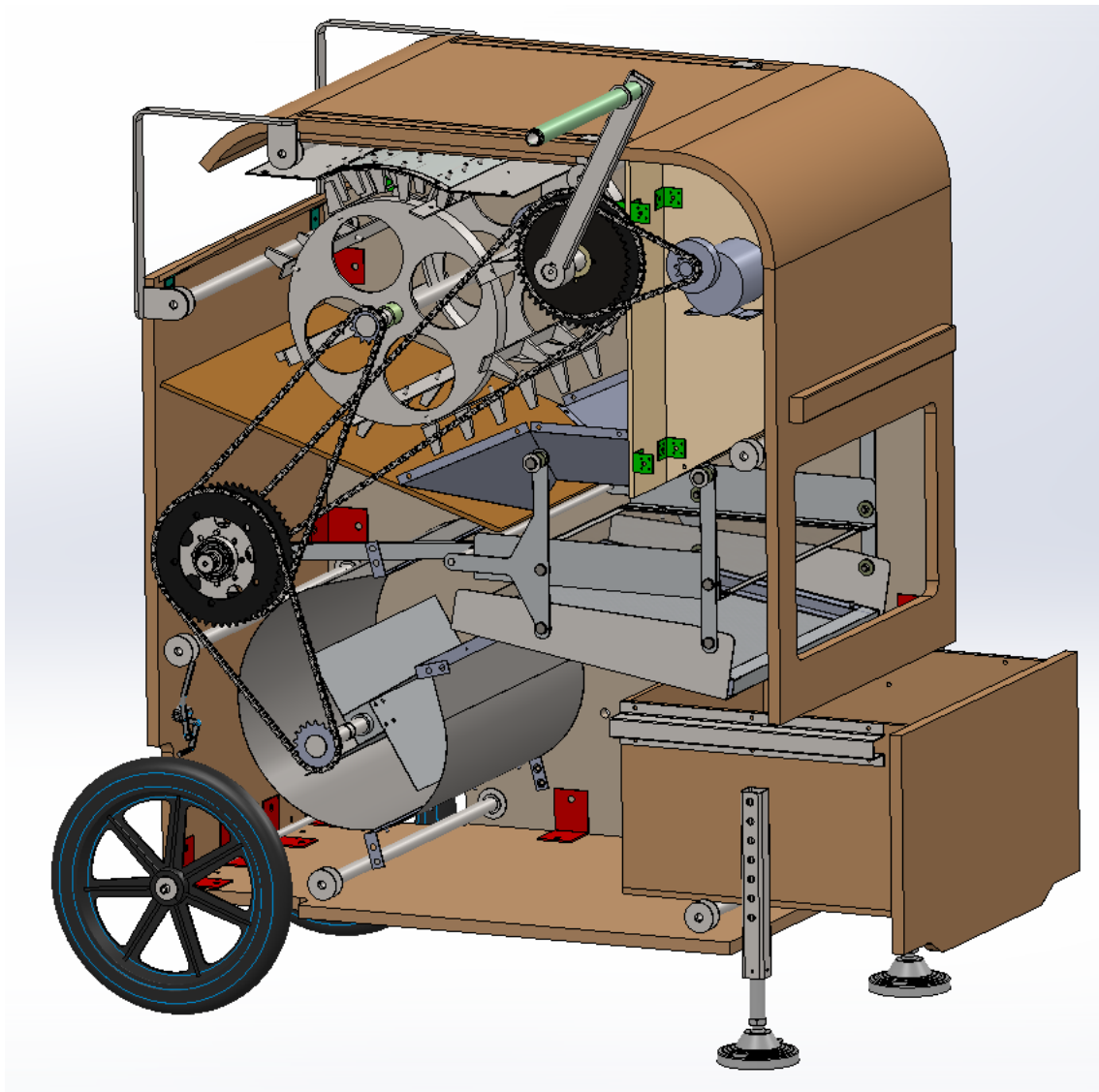


Figura 9 Vista interna - componenti

Gli elementi principali costituenti la macchina sono:

3.1.1 Rullo battitore a denti

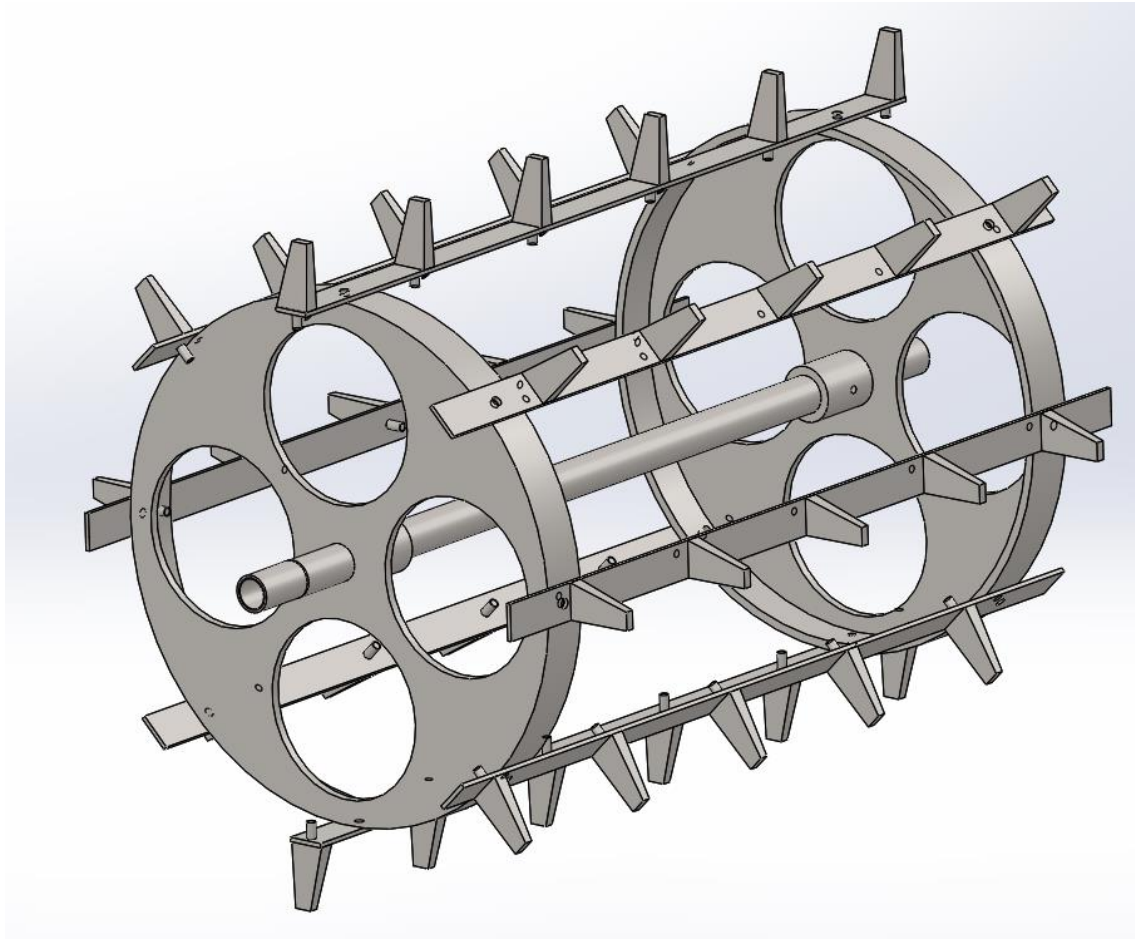


Figura 10 Rullo battitore a denti

È l'elemento principale per lo svolgimento della funzione di trebbiatura. Posto in rotazione, grazie alla presenza dei denti fissati su di esso, strappa i chicchi dal fascio di spighe tenute in mano dall'operatore, separandoli.

3.1.2 Controbattitore

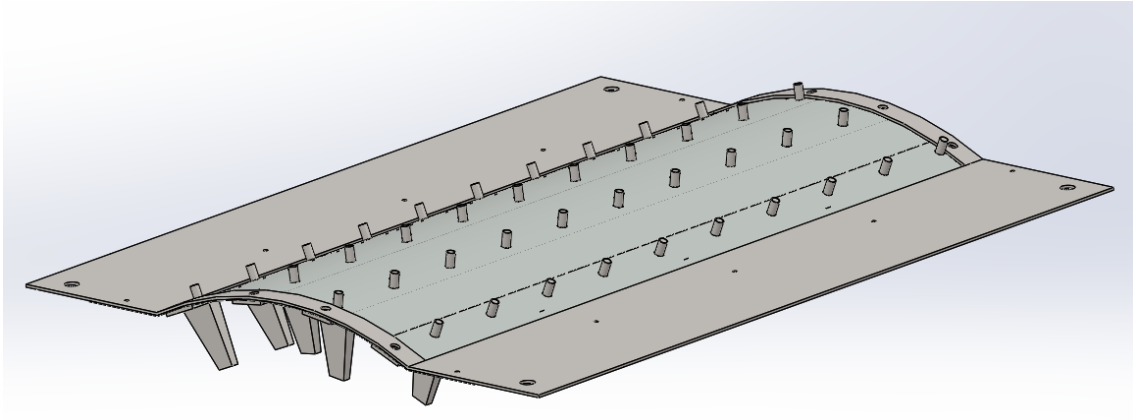


Figura 11 Controbattitore regolabile

Permette, insieme al rullo battitore di trebbiare più efficacemente. Esso infatti presenta una serie di file di denti, distanziate in modo tale che non urtino i denti del battitore, così da creare una fitta “rete” di denti.

Il controbattitore è, inoltre, regolabile in altezza tramite l'utilizzo di una vite e una molla. In questo modo è possibile modificare la disposizione dei denti nel caso si volessero trebbiare colture diverse.

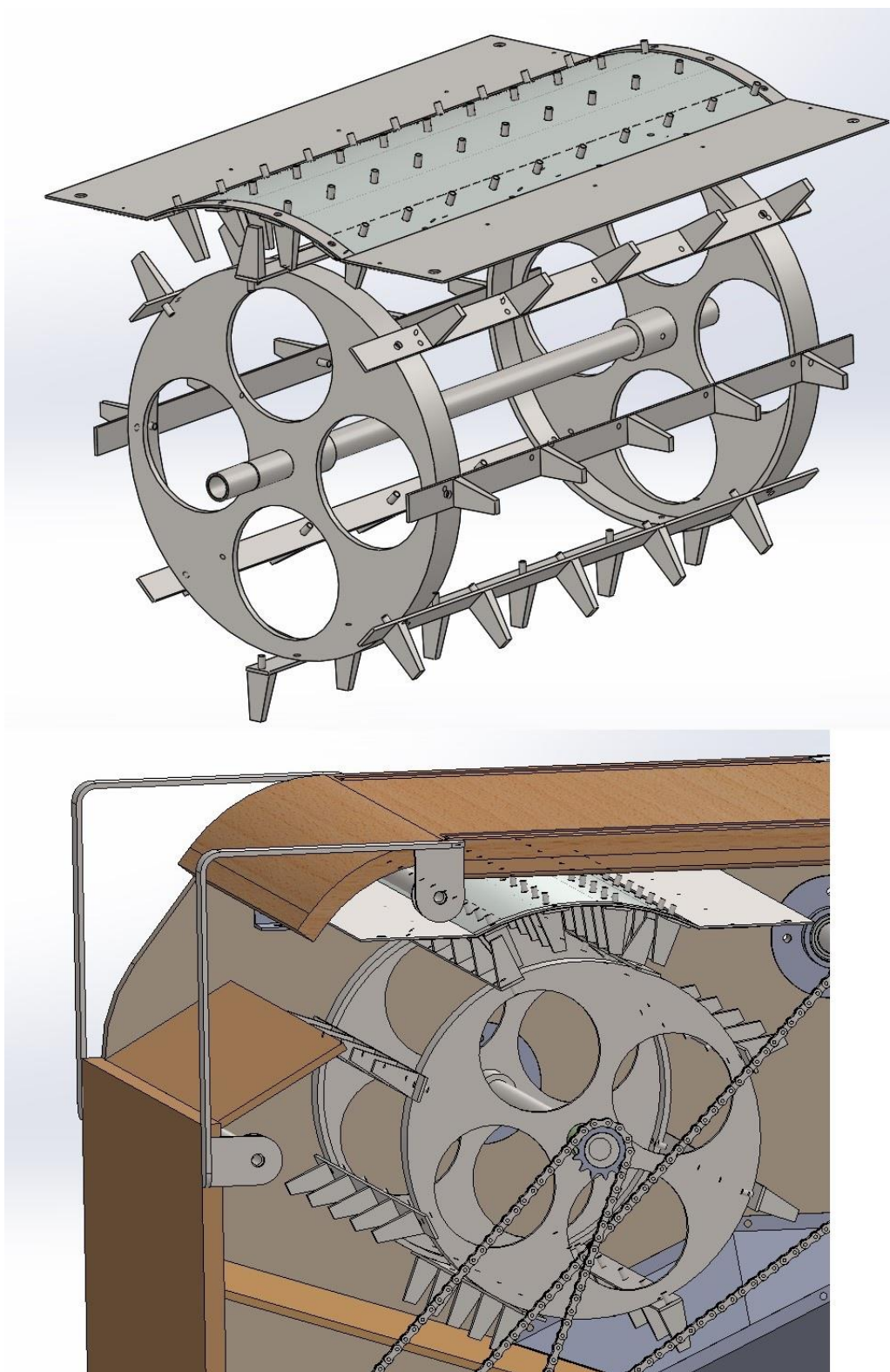


Figura 12 Gruppo battitore-controbattitore

3.1.3 Paratie di contenimento

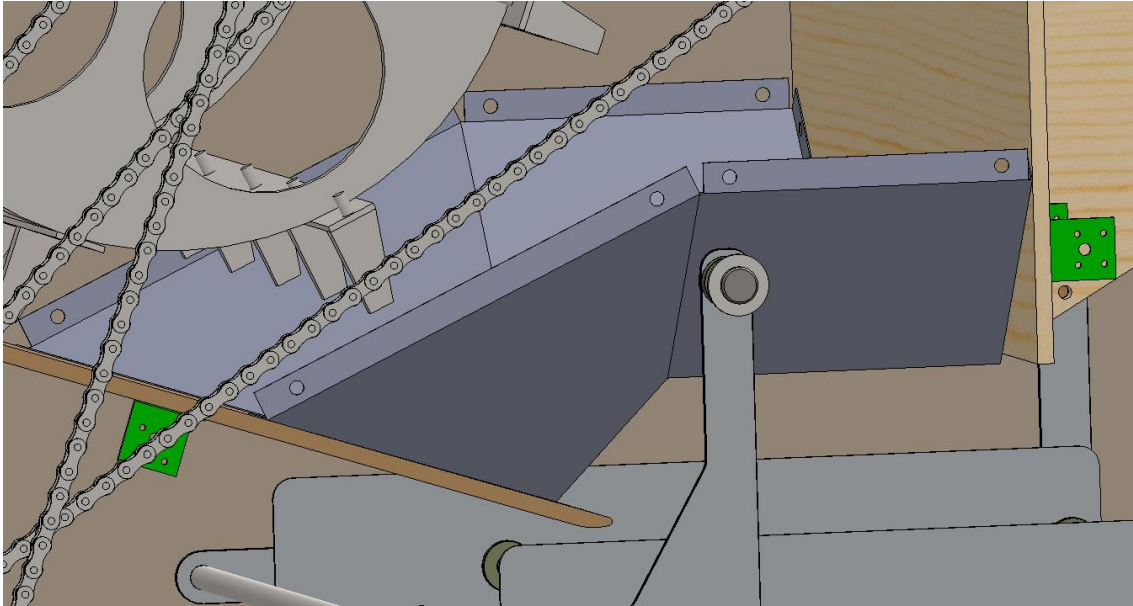


Figura 13 Paratie di contenimento

Le paratie permettono il contenimento del grano una volta separato dalle spighe, non appena passato attraverso il rullo battitore e quindi trebbiato. Questo componente rappresenta un elemento indispensabile, senza il quale, i chicchi di grano, non potrebbero depositarsi correttamente sui setacci.

3.1.4 Ventola centrifuga

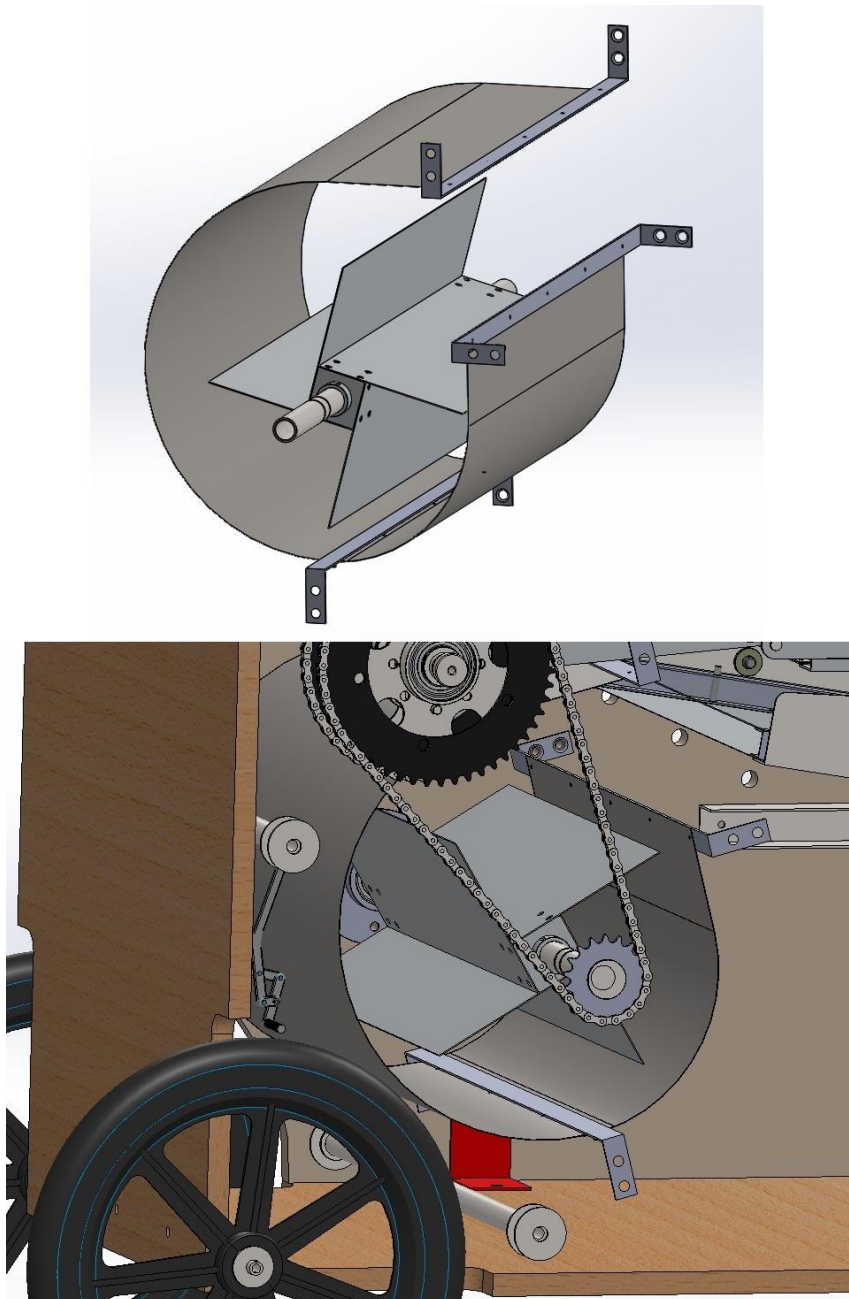


Figura 14 Ventola centrifuga

È l'elemento principale per lo svolgimento della funzione di pulitura. Messa in rotazione, genera un flusso d'aria che investendo il materiale trebbiato va a separare i componenti più leggeri (paglia) da quelli più pesanti (chicchi di grano).

3.1.5 Setacci

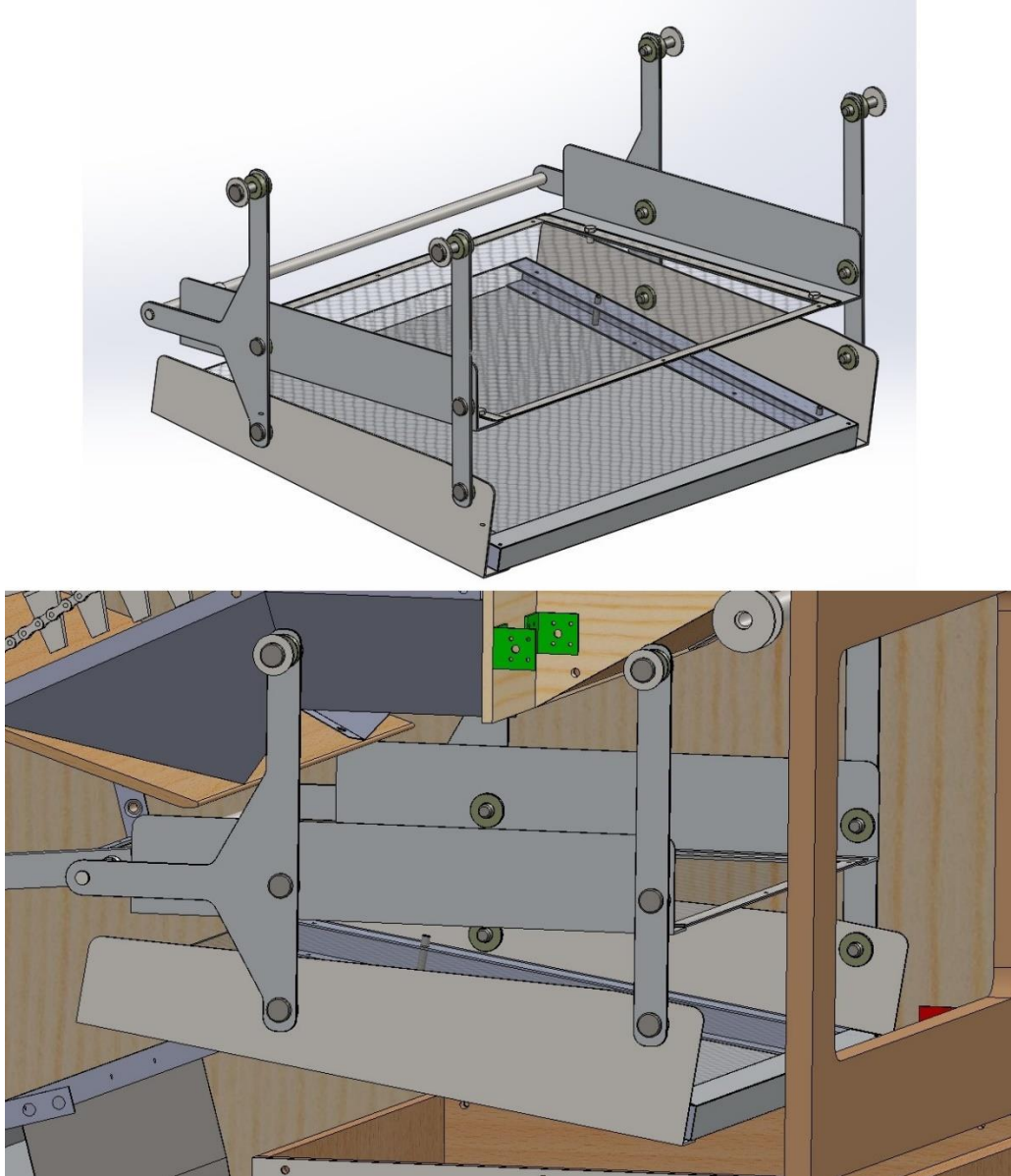


Figura 15 Setacci vibranti

I setacci, posti in movimento ad alta velocità, consentono di separare ulteriormente il materiale durante la pulitura. Vi sono due setacci: uno superiore costituito da una prima maglia con un passo tale da consentire solamente ai chicchi di cadere per gravità, mentre i residui di paglia restano depositati; uno inferiore costituito, invece, da una maglia con un passo minore così da contenere i chicchi ed essendo inclinato, farli scivolare nel cassetto di raccolta.

3.1.6 Cassetto di raccolta

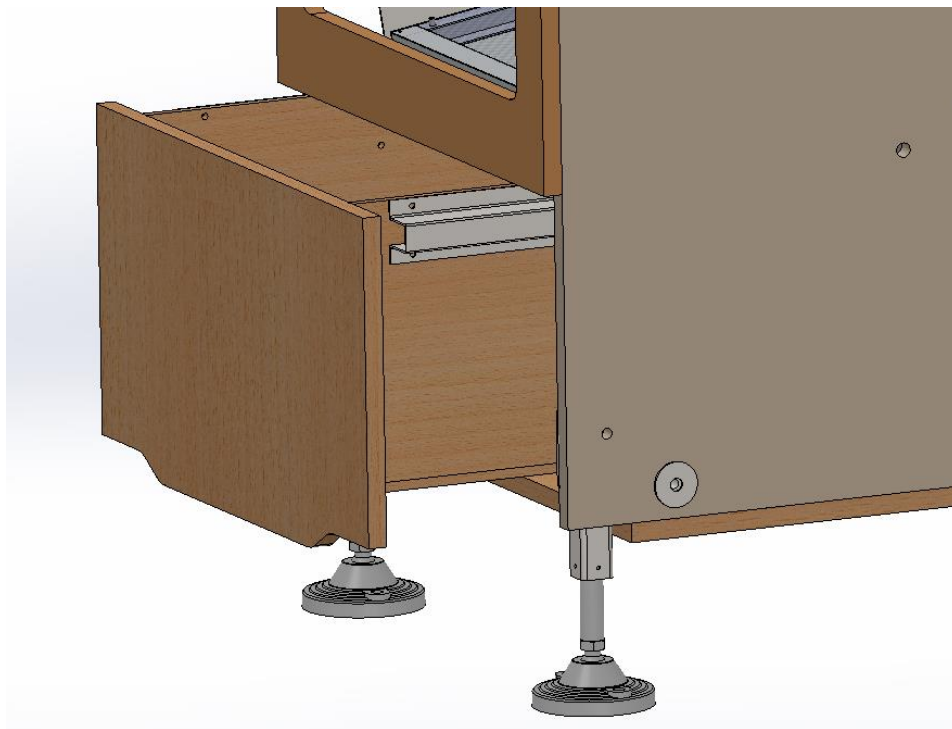


Figura 16 Cassetto di raccolta granella

Il cassetto di raccolta consente, come dice il suo nome, di contenere la granella una volta pulita del tutto.

3.1.7 Rotismo e kit motore

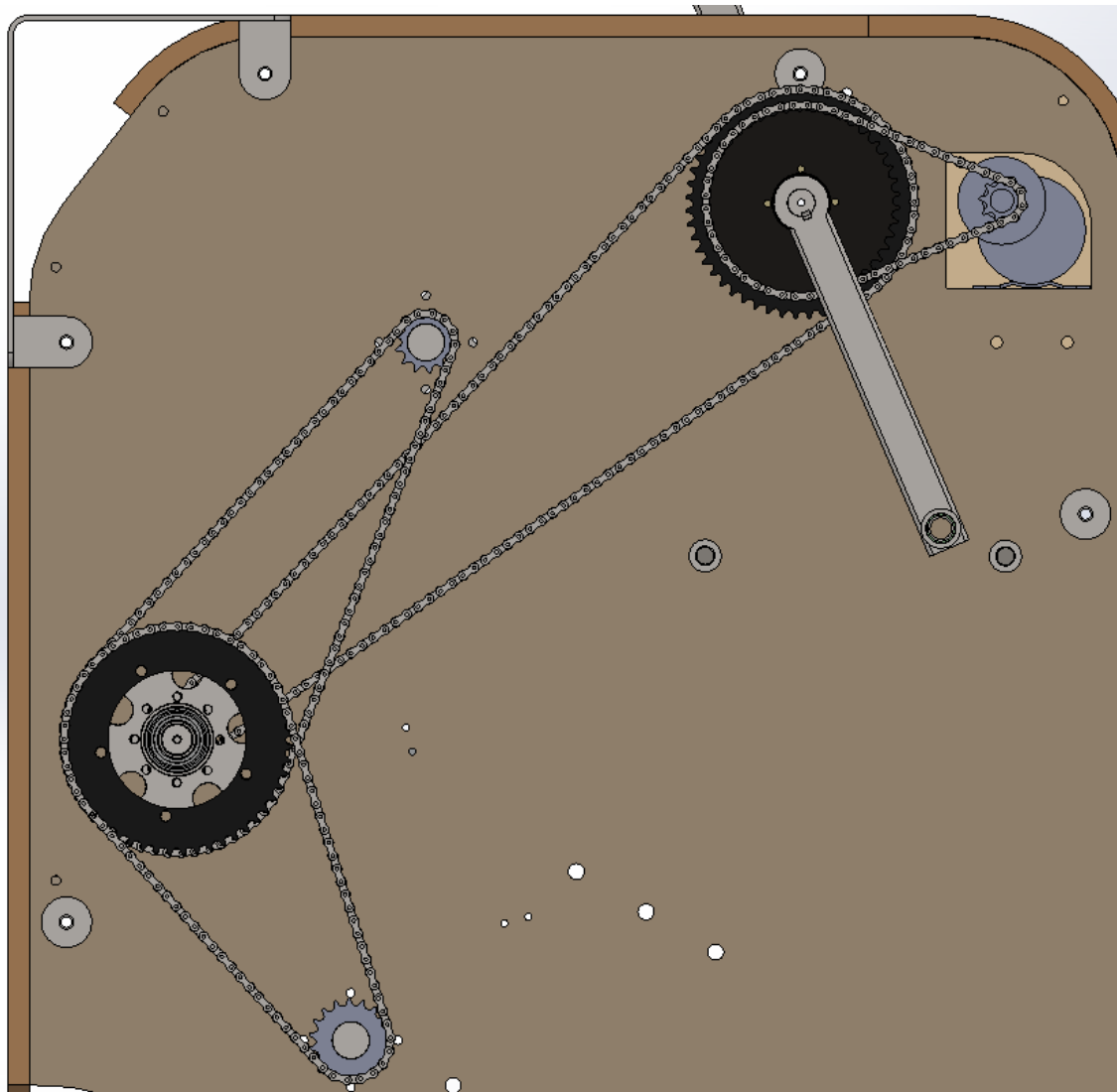


Figura 17 Cinematisma complessivo

L'azionamento della macchina avviene tramite l'utilizzo di un rotismo costituito da un insieme di ruote fissate agli estremi degli alberi, da porre in rotazione e movimentazione.

La ruota principale viene messa in rotazione tramite l'uso di una manovella; questa ruota è accoppiata alle altre tramite collegamenti a catena, e una volta posta in rotazione sempre tramite la manovella, permetterà a tutte le altre di ruotare, consentendo la rotazione del battitore, della ventola e la movimentazione dei setacci.

Si noti anche la presenza di un innesto necessario per separare le funzioni di trebbiatura e pulitura (come descritto in seguito).

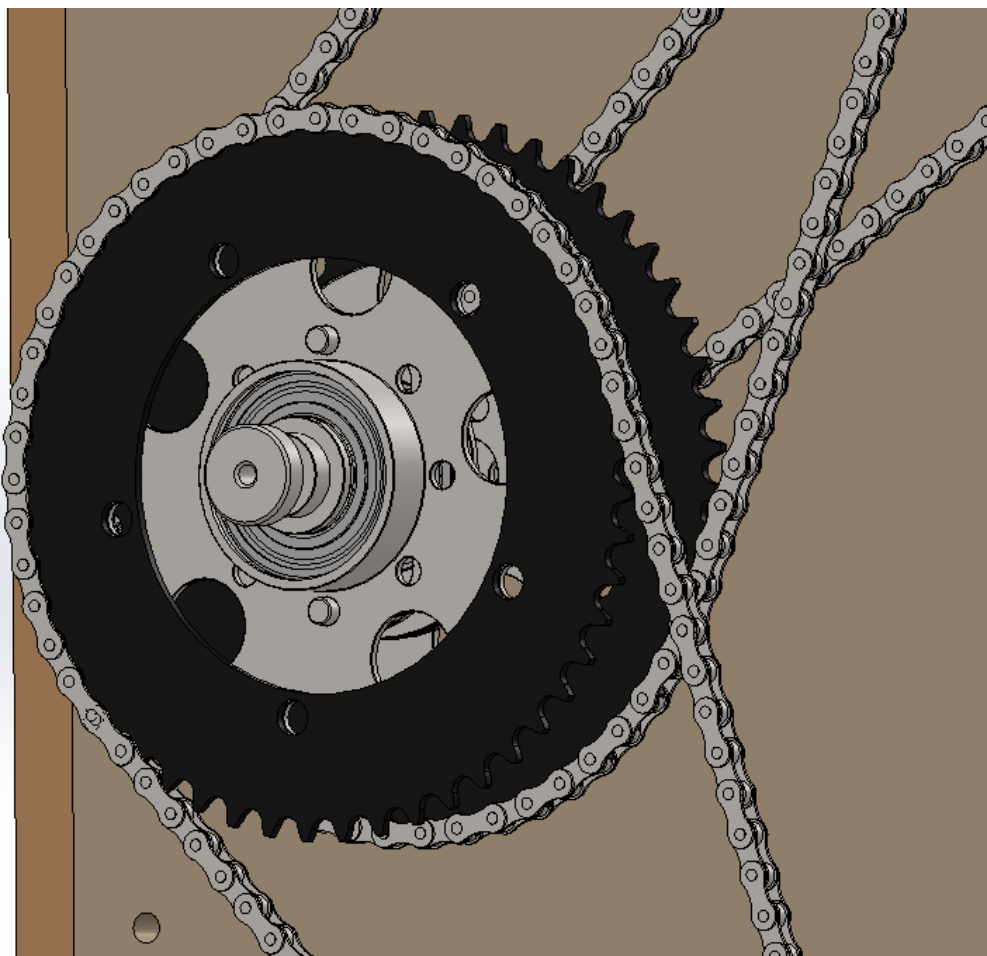


Figura 18 Innesto per separare funzioni di trebbiatura e pulitura

L'azionamento della macchina può avvenire non soltanto manualmente ma anche in modalità "assistita" con l'ausilio di un motore elettrico (36 V 250 W) collegato ad una batteria da 36V 20Ah per consentire una lavorazione più facilitata.

3.1.8 Analisi cinematica

Analizzando lo schema del cinematismo riportato nella figura sottostante, è possibile ricavare facilmente i parametri fondamentali (rapporti di trasmissione, velocità angolari ecc.) come riportato nelle tabelle seguenti.

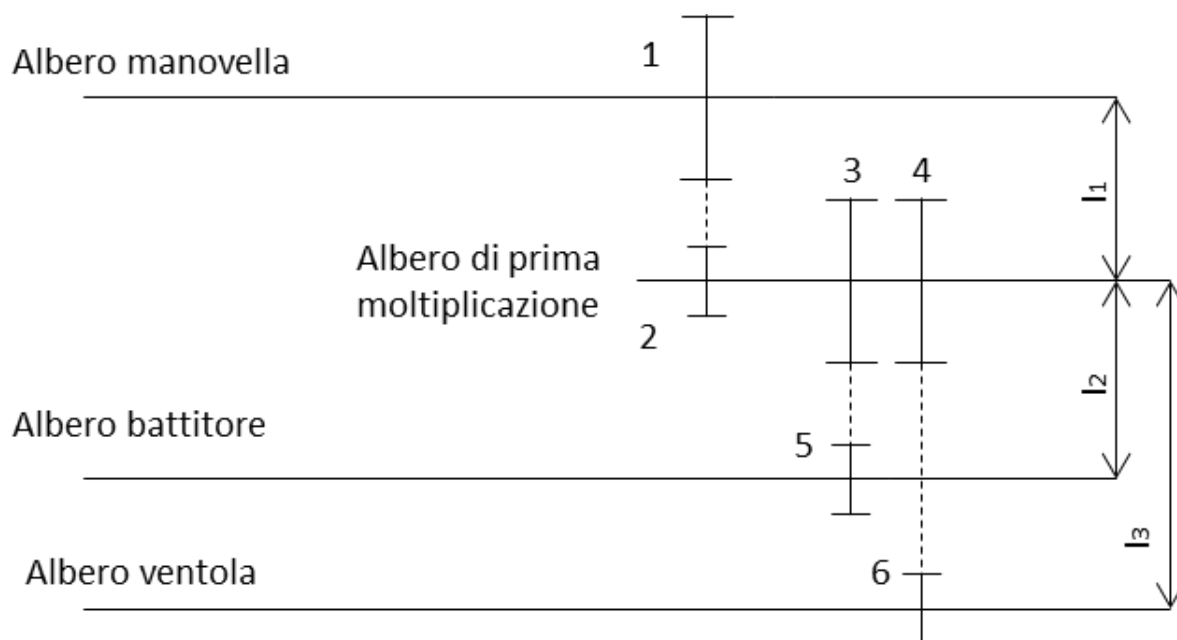


Figura 19 Schema cinematismo

CORONE/PIGNONI		Passo	Numero denti	Diametro primitivo	Velocità angolare	
		p	z	Dp	ω	
		[mm]		[mm]	[giri/min]	[rad/s]
Corona manovella	1	12,7	52	210,3	40,00	4,19
Pignone di prima moltiplicaz.	2	12,7	12	49,1	173,33	18,15
Corona di prima moltiplicaz.	3	12,7	52	210,3	173,33	18,15
Corona di prima moltiplicaz.	4	12,7	52	210,3	173,33	18,15
Pignone battitore	5	12,7	12	49,1	751,11	78,66
Pignone ventola	6	12,7	19	77,2	474,39	49,68

Figura 20 Parametri cinematismo

Rapporti di trasmissione	
$i_{1,2} = i_{3,5}$	4,33
$i_{4,6}$	2,74

Figura 21 Rapporti di trasmissione

Utilizzando i valori di potenza nominale richiesti dai tre alberi per la rotazione (conoscendo la potenza nominale erogata dal motore), si può calcolare il valore della potenza di progetto, moltiplicandoli per un fattore di servizio.

Il fattore di servizio esprime il rapporto fra la potenza nominale (cioè quella riportata sul catalogo) e la potenza effettivamente assorbita durante il funzionamento.

La potenza di progetto necessaria per la movimentazione dell'intero rotismo è quindi di 350 W. Questa è la potenza minima che l'operatore deve sprigionare per movimentare l'intero rotismo.

TRASMISSIONE	Potenza nominale	Fattore di servizio	Potenza di progetto
	P_n	f_s	P_p
	[W]		[W]
1 (motore)	250,00	1,40	350,00
2 (battitore)	215,00	1,40	301,00
3 (ventola)	35,00	1,40	49,00

Figura 22 Potenza di progetto

Conoscendo la lunghezza della manovella $l = 0,3 \text{ m}$, la potenza di progetto e la velocità angolare della corona della manovella, si può calcolare la forza minima necessaria per la movimentazione:

$$F = \frac{P_p}{l \cdot \omega} = 278,5 \text{ N}$$

Con $P_p = 350 \text{ W}$, $l = 0,3 \text{ m}$ e $\omega = 40 \frac{\text{giri}}{\text{min}} = 4,19 \text{ rad/s}$

Considerando che la forza muscolare media di un uomo adulto è di circa 300 N, si può verificare come la movimentazione dell'intera macchina sia eseguibile anche da un solo operatore. Per lo più questo sforzo può essere ulteriormente ridotto, utilizzando due operatori, in quanto l'albero principale (1) può essere messo in rotazione usando due manovelle (una ad ogni estremo dell'albero), dimezzando la forza necessaria.

3.1.9 Carter

Il tutto è contenuto all'interno di un carter di legno di pioppo di 20 mm di spessore. La scelta di questo materiale, in particolare, è stata fatta per richiamare volutamente l'ambito progettuale attorno al quale si sviluppa la creazione e l'utilizzo della trebbiatrice – pulitrice.

3.2 Aspetto funzionale

La macchina come già accennato presenta una duplice funzione: trebbiatura e pulitura. Si possono distinguere ai due estremi della macchina due aperture: la prima da cui entra il covone di grano da trebbiare, e la seconda dalla quale fuoriescono le impurità e gli scarti dopo la pulitura.

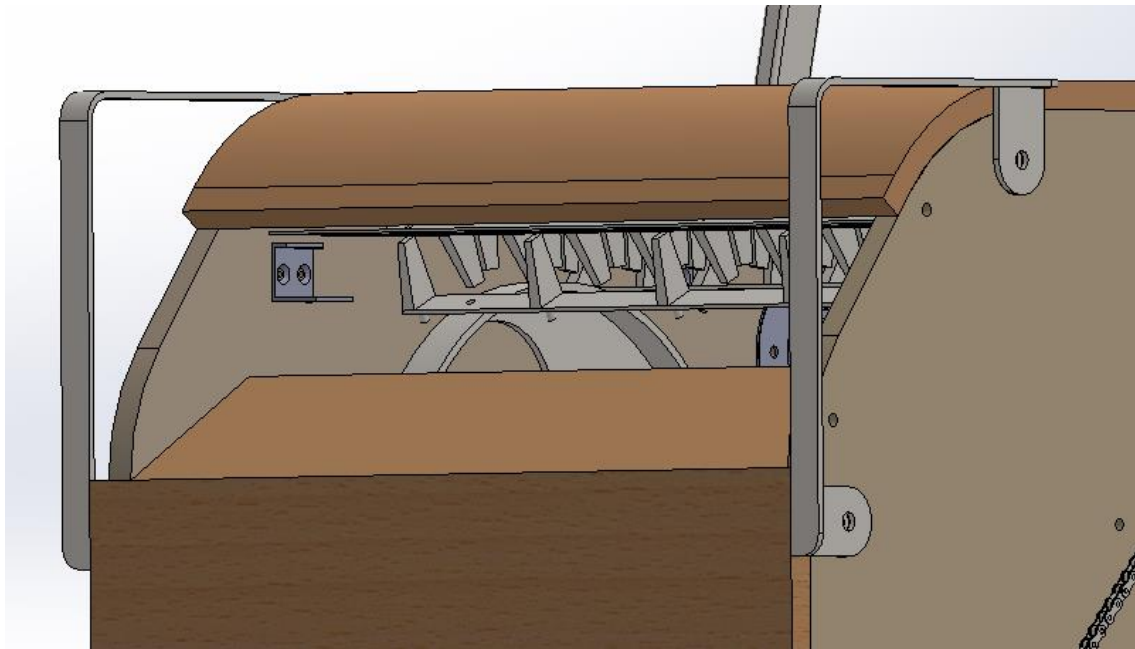


Figura 23 Entrata del covone da trebbiare

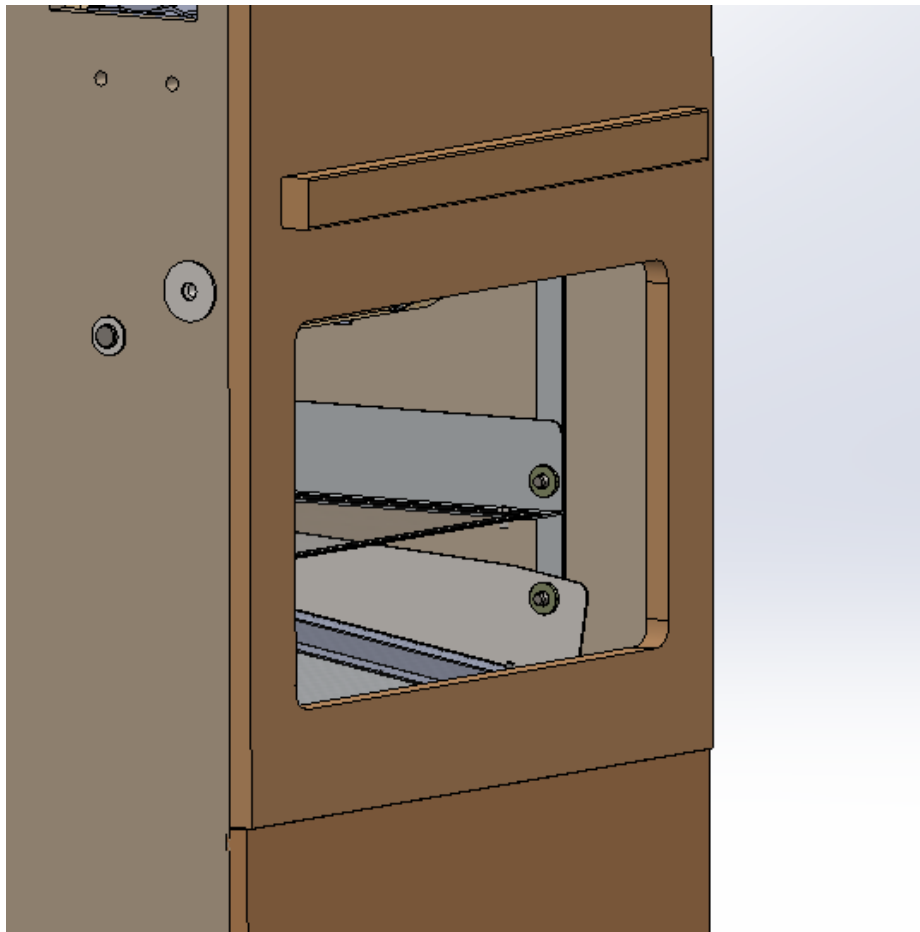


Figura 24 Foro di uscita per impurità e scarti

L'operatore posto dal lato di ingresso del grano va ad inserire il covone che passando attraverso il battitore (e controbattitore) viene trebbiato e, tramite il flusso d'aria generato dalla ventola e il movimento dei setacci, viene pulito. Nel processo tutti gli scarti si depositano sui setacci e fuoriescono dal lato opposto.

La macchina, come accennato in precedenza, ha la possibilità di trebbiare e pulire in modo separato. Tramite l'utilizzo di un innesto infatti, è possibile mettere in rotazione solamente la ventola (niente battitore) e movimentare i setacci, ed effettuare semplicemente il processo di pulitura. A questo scopo la macchina presenta superiormente una tramoggia (provvista di coperchio) per caricare il materiale da pulire.

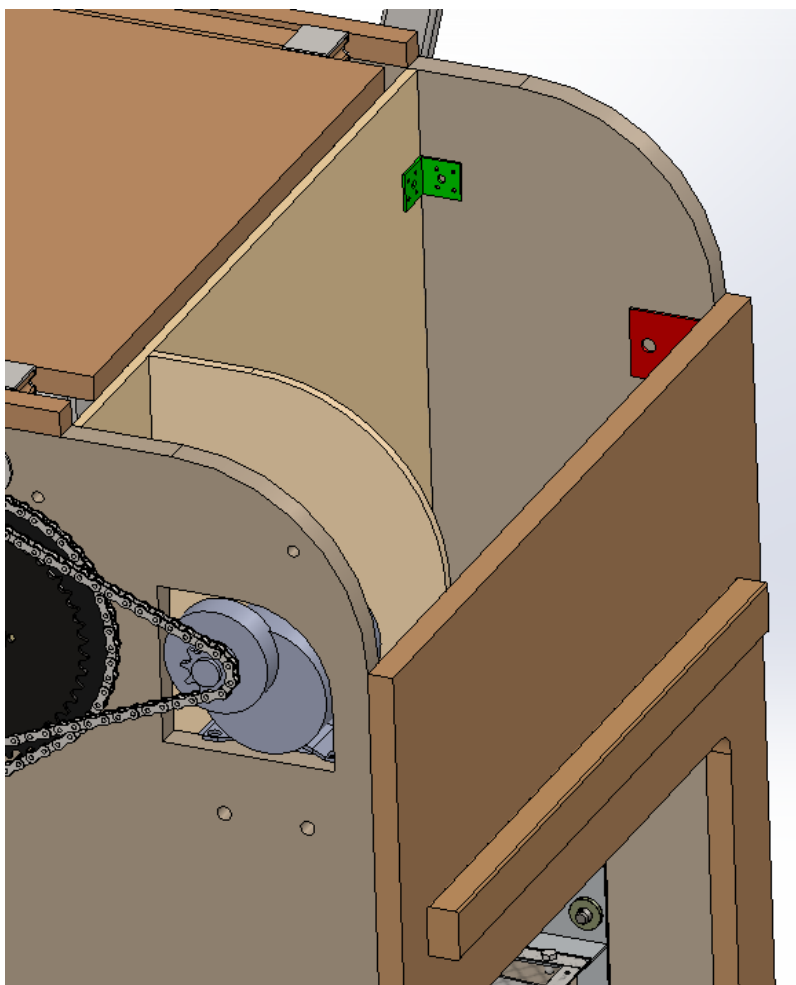


Figura 25 Tramoggia per caricamento materiale da pulire

Il materiale da pulire viene inserito al suo interno e utilizzando un pannello regolatore della portata di flusso di entrata, precipita sui setacci vibranti ed infine si deposita sul cassetto.

Questa modalità di funzionamento può essere utile se l'utilizzatore ha del materiale trebbiato che vuole semplicemente pulire, o se dopo aver effettuato una trebbiatura con pulitura si vuole effettuare una seconda pulitura per ottenere un risultato migliore.

4 Sicurezza

Questo capitolo è dedicato all'aspetto della sicurezza sul luogo di lavoro, e in particolare sulla sicurezza dei macchinari. Tutte le procedure relative ad essa sono descritte nella direttiva europea chiamata Direttiva Macchine.

In primo luogo, è stato descritto il procedimento generale per una progettazione sicura del macchinario prendendo come riferimento il documento dal titolo "linee guida per la sicurezza dei macchinari" (Sick AG).

4.1 Direttiva macchine

"La direttiva macchine è destinata ai produttori di macchine e di componenti di sicurezza e alle società che immettono macchine e componenti di sicurezza sul mercato. Definisce le operazioni atte a soddisfare i requisiti in materia di salute e sicurezza per macchine nuove allo scopo di eliminare le barriere commerciali all'interno dell'Unione Europea garantendo a utenti e operatori un notevole livello di sicurezza e tutela della salute. È applicabile alla produzione di macchinari e di componenti di sicurezza immessi sul mercato separatamente ed è inoltre applicabile ai macchinari e dispositivi di seconda mano provenienti da altri paesi che vengono immessi per la prima volta nel mercato dell'UE (per es. dagli USA o dal Giappone).

La direttiva è intesa ad assicurare che, durante l'uso di attrezzature da lavoro, vengano rispettate le disposizioni minime allo scopo di migliorare la salute e la sicurezza." (Sick AG)

4.2 Progettazione sicura del macchinario

I produttori sono obbligati a costruire i propri macchinari in modo tale che i requisiti minimi di salute e sicurezza della Direttiva macchine siano soddisfatti. Loro devono, quindi, tenere in considerazione l'aspetto relativo alla sicurezza durante il processo di progettazione integrandolo. In pratica, questo significa che il progettista deve effettuare una valutazione dei rischi il prima possibile durante la fase di sviluppo della macchina. Le misure ottenute dai risultati possono essere inserite direttamente nel progetto. Le cinque fasi seguenti descrivono nel dettaglio come si deve procedere in questo caso. (Sick AG)

4.2.1 Fase 1: Valutazione dei rischi

Durante la progettazione di una macchina, devono essere analizzate le possibili fonti di rischio e, dove necessario, devono essere adottate misure di protezione tali da proteggere l'operatore da eventuali, possibili pericoli.

Per aiutare il produttore della macchina in questo lavoro, le norme definiscono e descrivono dettagliatamente il processo di valutazione dei rischi.

La valutazione dei rischi è una sequenza di passaggi logici che consentono l'analisi sistematica e la valutazione dei rischi. La macchina deve essere progettata e realizzata tenendo in considerazione i risultati della valutazione dei rischi.

Dove necessario, alla valutazione dei rischi consegue la loro riduzione tramite l'applicazione di adeguate misure di protezione. Dalla loro applicazione non deve nascere un nuovo rischio. La ripetizione dell'intero processo, la valutazione e la riduzione dei rischi potrebbe essere necessario ad eliminare, per quanto possibile, i pericoli e a diminuire sufficientemente i rischi individuati.

La valutazione dei rischi inizia con la definizione delle funzioni della macchina (cosa viene prodotto, massimo regime di produzione, materiali da utilizzare).

Successivamente ad essa, viene effettuato il passaggio di maggior importanza della valutazione dei rischi della macchina. Questo passaggio consiste nell'individuazione sistematica di pericoli prevedibili, situazioni e/o eventi pericolosi. Dopo che i pericoli sono stati trovati, viene effettuata una stima dei rischi per ogni situazione pericolosa considerata (rischio = entità della lesione x probabilità evento). Infine, viene eseguita una valutazione dei rischi per tutti i pericoli individuati. (Sick AG)

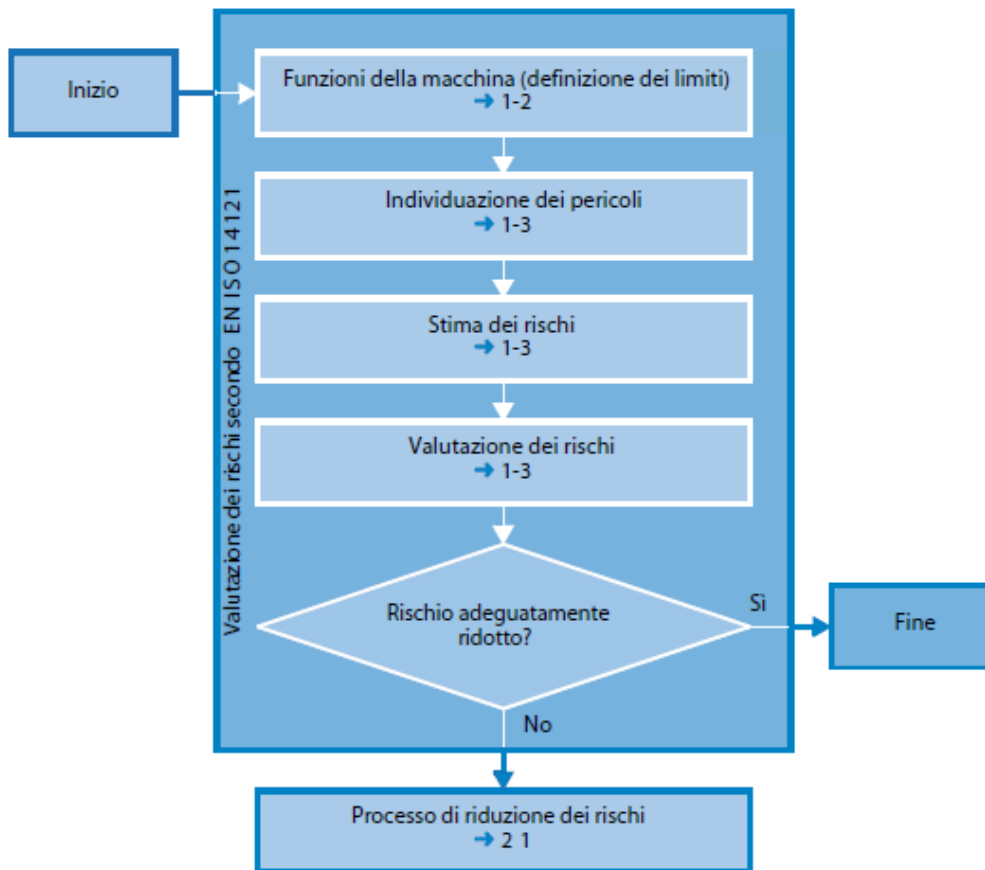


Figura 26 Processo di valutazione dei rischi

4.2.2 Fase 2: Progettazione sicura e riduzione dei rischi

Una progettazione sicura costituisce il primo e più importante passo per la riduzione dei rischi. Durante questo processo i possibili pericoli sono esclusi dalla progettazione. Per questo motivo, infatti, la progettazione sicura è l'elemento più efficace.

Gli aspetti della progettazione sicura si riferiscono alla macchina stessa e all'interazione tra l'utente a rischio e la macchina.

Per esempio, nella progettazione meccanica il primo obiettivo deve per prima cosa consistere nell'impedire che si presentino dei pericoli. Tale obiettivo può essere raggiunto:

- Evitando spigoli vivi, angoli e parti sporgenti;
- Evitando punti che possano provocare schiacciamenti, tagli e intrappolamenti;
- Limitando l'energia cinetica;

- Considerando i principi ergonomici;
- Utilizzando componenti affidabili, facilmente reperibili per evitare operazioni di manutenzione;
- Principio di funzionamento chiaro e univoco.

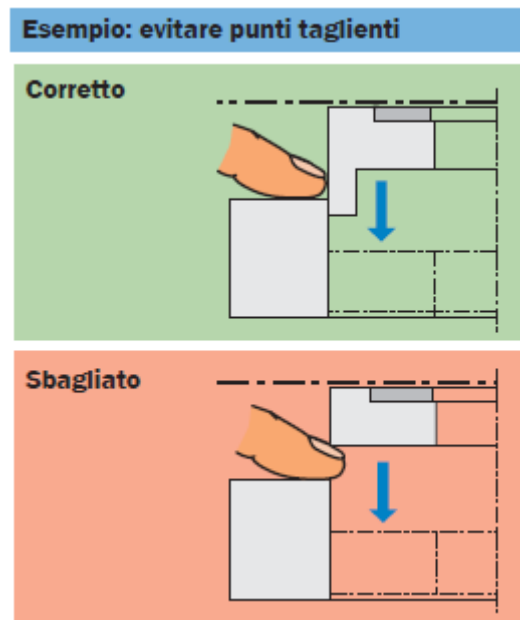


Figura 27 Esempio progettazione sicura: evitare punti taglienti

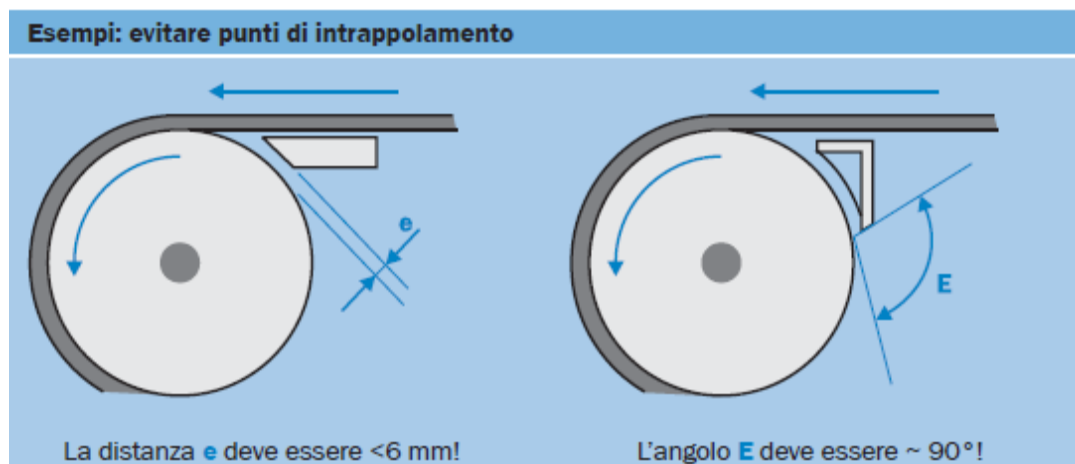


Figura 28 Esempio progettazione sicura: evitare punti di intrappolamento

Tutti i componenti devono essere scelti, utilizzati e adattati in modo tale che in caso di un guasto sulla macchina, la sicurezza delle persone sia di primaria importanza. Devono essere considerate inoltre, la prevenzione di danni alla macchina e all'ambiente circostante.

Tutti gli elementi della progettazione della macchina devono essere specificati in modo che funzionino entro i limiti consentiti. Quindi, la progettazione deve essere sempre il più semplice possibile. Le funzioni relative alla sicurezza devono essere il più possibile separate dalle altre funzioni. (Sick AG)

4.2.3 Fase 3: Misure tecniche di protezione

Le misure tecniche di protezione sono realizzate tramite dei dispositivi di protezione (coperture, porte, barriere fotoelettriche, comandi a due mani) oppure unità di monitoraggio che eseguono funzioni di sicurezza.

Le funzioni di sicurezza definiscono il modo in cui le misure di protezione devono ridurre il rischio. Deve essere definita una funzione di sicurezza per ogni pericolo che non sia stato eliminato durante la progettazione in modo tale da ottenere la sicurezza richiesta con un ragionevole livello di lavoro. Alcuni esempi possono essere:

- Impedire l'accesso permanente: L'accesso ad un punto pericoloso viene impedito mediante coperture, barriere od ostacoli meccanici (ripari fisici)
- Impedire l'accesso provvisoriamente: deve essere impedito l'accesso a punti pericolosi fino a quando la macchina è in una condizione sicura.

Una volta individuate le funzioni di sicurezza si può passare alla scelta dei dispositivi di protezioni più adatti allo scopo prestabilito. (Sick AG)

4.2.4 Fase 4: Informazioni all'utente sui rischi residui

Le informazioni da fornire all'utente non devono essere una sostituzione di misure alternative.

Se la macchina sicura o le misure di protezione tecnica non sono completamente efficaci, l'utilizzatore deve essere avvisato sui rischi rimanenti e informato sui necessari suggerimenti (utilizzando cartelli, simboli, avvertimenti nelle istruzioni d'uso e pittogrammi). (Sick AG)



Figura 29 Pittogrammi

4.2.5 Fase 5: Convalida generale

Poiché la sicurezza funzionale costituisce soltanto una parte della riduzione del rischio, è necessario valutare tutte le misure strutturali, tecniche ed organizzative mediante un processo di convalida generale. (Sick AG)

Riassumendo:

Fase 1: Eseguire una valutazione dei rischi per tutti i pericoli.

Fase 2: Attenersi al principio secondo il quale sin dall'inizio non si deve permettere in primo luogo che esistano dei pericoli. Effettuare la progettazione in modo che l'esposizione degli operatori ai pericoli sia la minima possibile.

Fase 3: Definire un concetto di sicurezza e le funzioni di sicurezza. Determinare le proprietà, il corretto posizionamento e le dimensioni del dispositivo di protezione.

Fase 4: Informare l'utente sui rischi residui utilizzando avvertimenti e pittogrammi.

Fase 5: Convalida generale di tutte le misure strutturali tecniche e organizzative.

4.3 Applicazione Direttiva macchine per la Trebbiatrice – pulitrice

Al fine di rendere la macchina Trebbiatrice – pulitrice a norma nei confronti delle esigenze di sicurezza, sono stati utilizzati i concetti sopra descritti.

La macchina è stata pensata già nella fase di progettazione con il principio secondo il quale le fonti di pericolo devono essere le minime possibili.

Per questo motivo, essendo costituita da organi mobili ad alta velocità e quindi per definizione pericolosi, questi ultimi sono stati posizionati in modo tale che l'uomo non possa accederci facilmente. Tutti gli elementi, infatti, sono stati racchiusi all'interno di un contenitore (carter) che funge da scatola rigida rendendone impossibile l'accesso.

Purtroppo, visto la sua funzione principale, ossia quella di ricevere il materiale da lavorare manualmente, è inevitabile che alcune aree della macchina siano rimaste in questo stadio della progettazione accessibili facilmente dall'uomo.

Le due aree a rischio più elevato sono infatti l'area in cui è presente il rotismo e l'area di ingresso del covone.

4.3.1 Area rotismo

La messa in sicurezza di quest'area è stata affrontata per prima; le soluzioni implementate non sono quindi oggetto del seguente lavoro, in quanto già individuate precedentemente. Si accenna però, per completezza una sua descrizione.

L'area del rotismo è stata realizzata al di fuori del carter di protezione, in quanto, deve essere per sua natura accessibile e revisionabile con facilità. L'operatore infatti deve poter azionare manualmente la macchina, utilizzando la manovella posta all'inizio del cinematismo (come descritto nei capitoli precedenti). Essendo esposta all'uomo, rappresenta una fonte di rischio, in quanto in caso di contatto potrebbero verificarsi gravi lesioni.

La funzione di sicurezza definita è stata quella di creare una protezione che consentisse all'utilizzatore di accedere al rotismo evitando però contatti diretti attraverso il posizionamento di una griglia di protezione laterale in acciaio leggera facilmente smontabile, fissata utilizzando dei distanziali.

4.3.2 Area ingresso covone

Scopo principale del mio lavoro è stato mettere in sicurezza l'area di ingresso del covone.

Tale area, infatti, rappresenta forse la fonte di pericolo maggiore, in quanto l'operatore deve inserire manualmente il grano tenendo i covoni dalla base, consentendo alle spighe di entrare a contatto con il battitore rotante. Per sua natura il battitore in rotazione tende a tirare verso di sé le spighe e quindi l'operatore, comportando un pericolo molto elevato.

La funzione di sicurezza definita in questo caso è stata quella di creare un elemento di protezione che:

- Fosse sufficientemente grande e profondo da evitare che un braccio umano possa entrare in contatto con il battitore;
- Consentisse al covone di entrare facilmente nel macchinario senza intralci;
- Consentisse all'operatore di avere visione sul battitore ed il grano;
- Fosse facilmente smontabile così da evitare inutili ingombri quando la macchina non è in funzione.

La soluzione finale realizzata è stata la seguente:

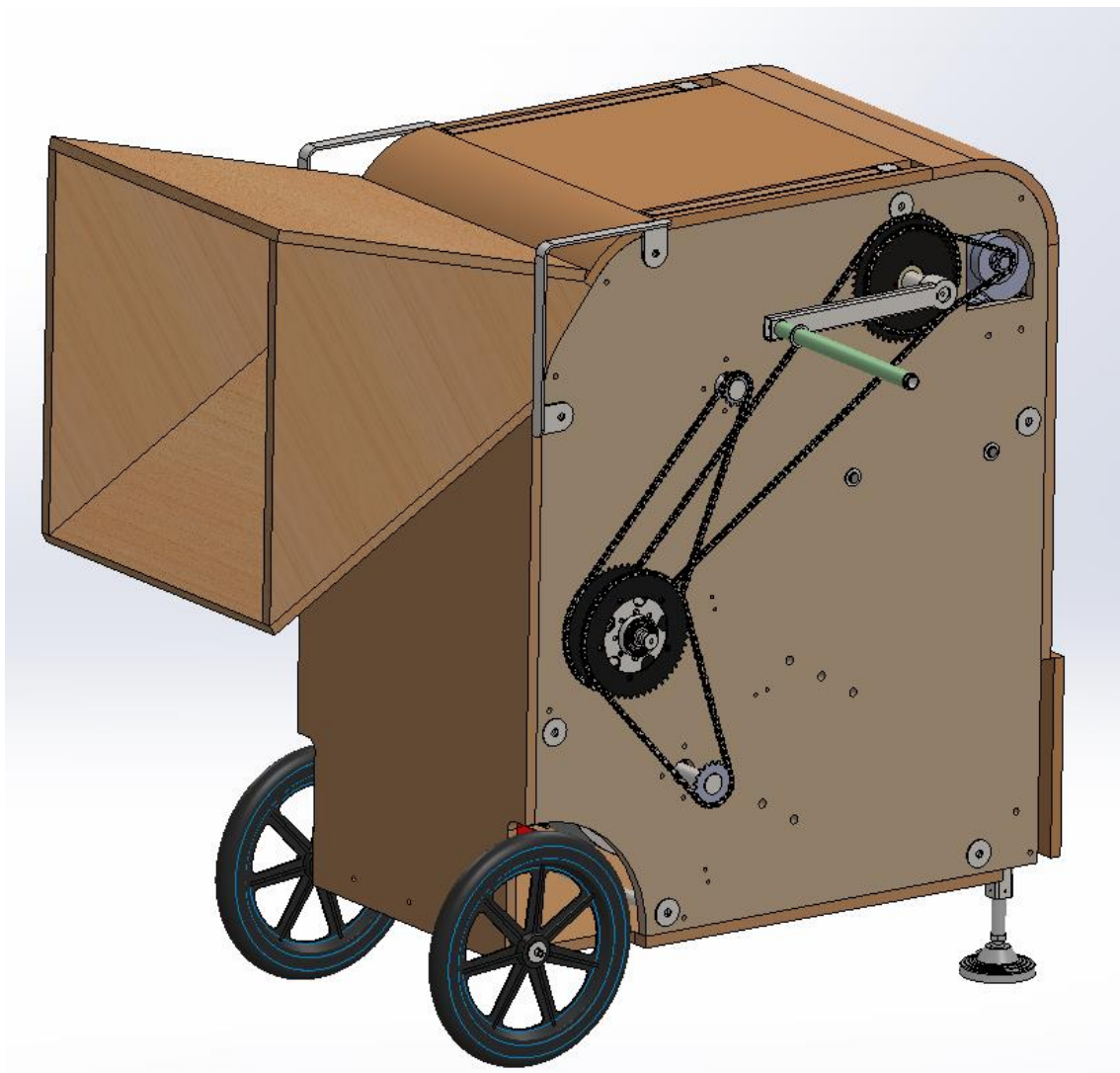


Figura 30 Messa in sicurezza ingresso grano

Le misure dell'elemento di protezione progettato e realizzato, sono tali da consentire un facile passaggio del grano in ingresso, ed evitare che il braccio dell'operatore possa entrare a contatto con il battitore. Questo componente è sufficientemente profondo e tale che, anche nel caso in cui intenzionalmente l'operatore inserisse il braccio al suo interno, la spalla entrerebbe in battuta con la parte superiore, bloccandone il passaggio. Inoltre, garantisce un'ottima visuale da parte dell'operatore, ed è facilmente smontabile.

Nel capitolo successivo, verranno analizzate nel dettaglio tutte le fasi ed operazioni relative alla sua progettazione.

5 Progettazione

In questo paragrafo verranno illustrate e spiegate tutte le fasi costituenti la progettazione dell'elemento di messa in sicurezza per l'ingresso del covone.

Come già accennato precedentemente, uno dei requisiti fondamentali di progettazione era quello di consentire con facilità l'ingresso del grano senza intralciarne il cammino. Per permettere ciò, infatti, già durante la costruzione iniziale della macchina, è stato inserito un pianale d'imbocco inclinato all'ingresso.

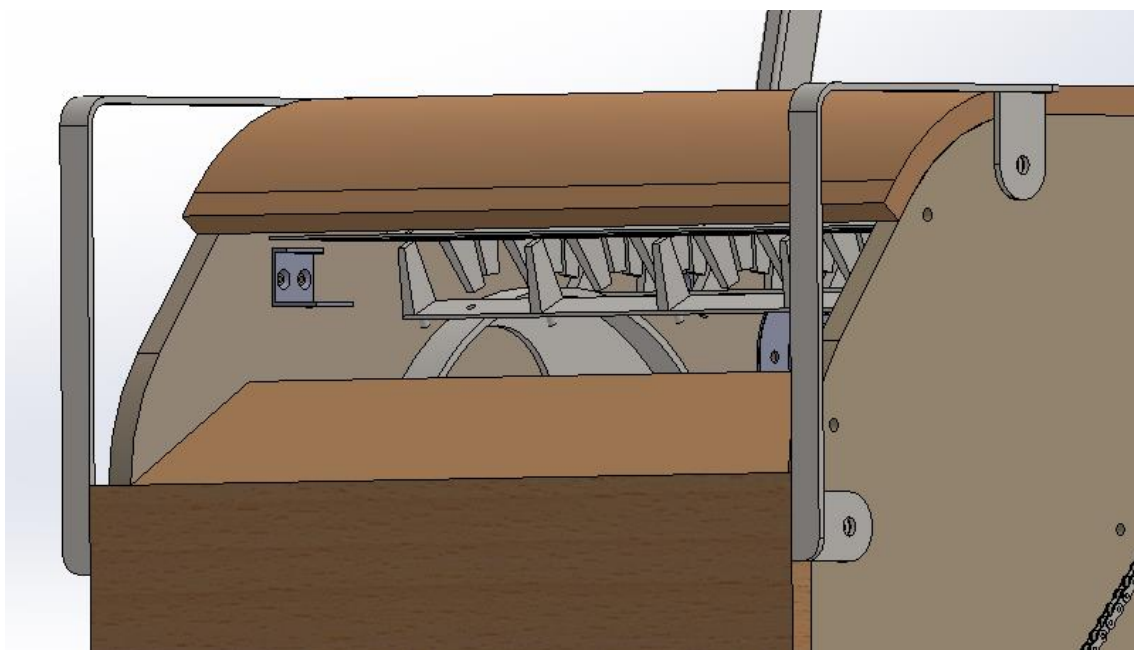


Figura 31 Pianale di imbocco

È stato deciso di realizzare l'elemento in questione utilizzando quattro pannelli, due laterali, uno superiore e uno inferiore. Per evitare delle discontinuità dovute alla variazione dell'angolo di ingresso del grano, il pannello inferiore è stato progettato con una inclinazione identica a quella del pianale di imbocco. In questo modo, l'operatore ha la possibilità di inserire i covoni di grano con facilità e senza intralci.

Un altro fattore importante nella progettazione è stato quello relativo alla geometria e alla forma da utilizzare. La forma infatti doveva consentire di rispettare gli altri due requisiti fondamentali di progettazione sicura: evitare cioè che un braccio umano possa entrare in contatto con il battitore, e consentire un'ampia visione sul battitore durante la trebbiatura.

Definiti questi punti chiave sono state realizzate mediante disegni CAD, varie proposte di progetto e prototipi in cartone come materiale di ausilio.

5.1 Prima proposta

Una prima ipotesi è stata quella di posizionare il pannello superiore in posizione parallela al terreno. In figura viene mostrato soltanto uno dei pannelli laterali così da permettere una rapida comprensione degli angoli di inclinazione.

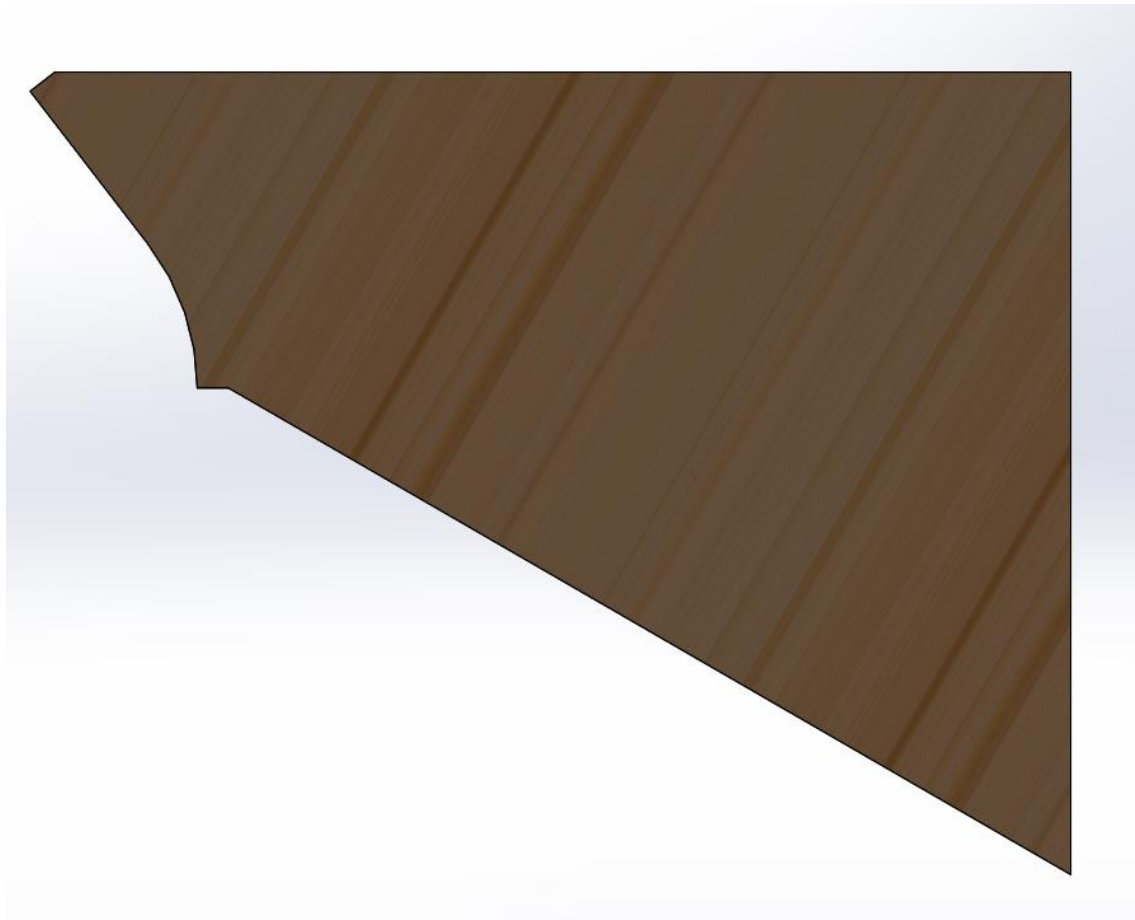


Figura 32 Prima proposta - Pannello laterale

Questa soluzione, testata direttamente sulla macchina grazie ai prototipi in cartone, non rispettava purtroppo uno dei requisiti di progetto poiché non forniva una visione chiara sul battitore durante le operazioni di trebbiatura.

Per questo motivo è stata scartata, ed è stata preparata una nuova proposta.

5.2 Seconda proposta

Per ovviare al problema dovuto alla visione limitata riscontrato nel primo prototipo, si è deciso di inclinare leggermente il pannello superiore, così da rispettare entrambi i requisiti di progetto.

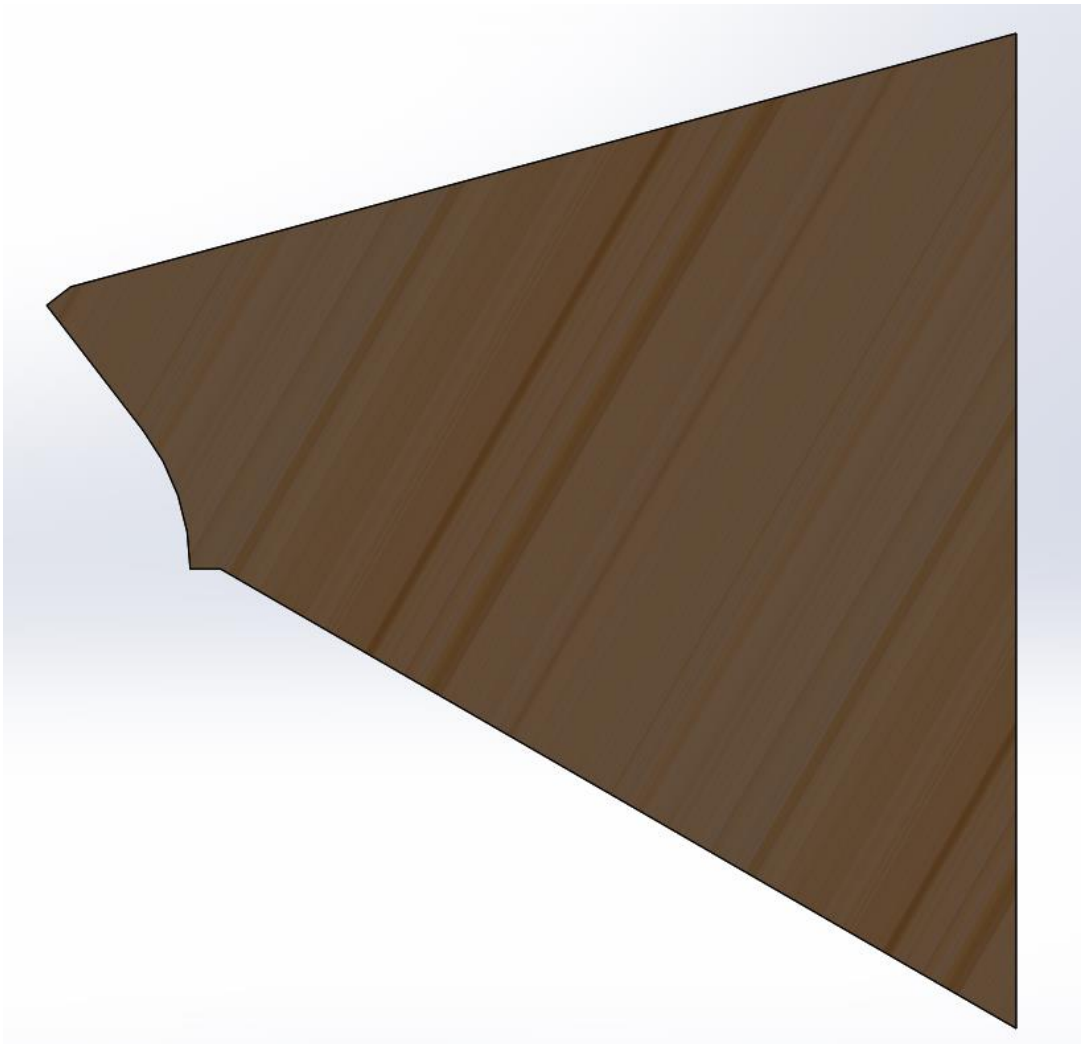


Figura 33 Seconda proposta - Pannello laterale

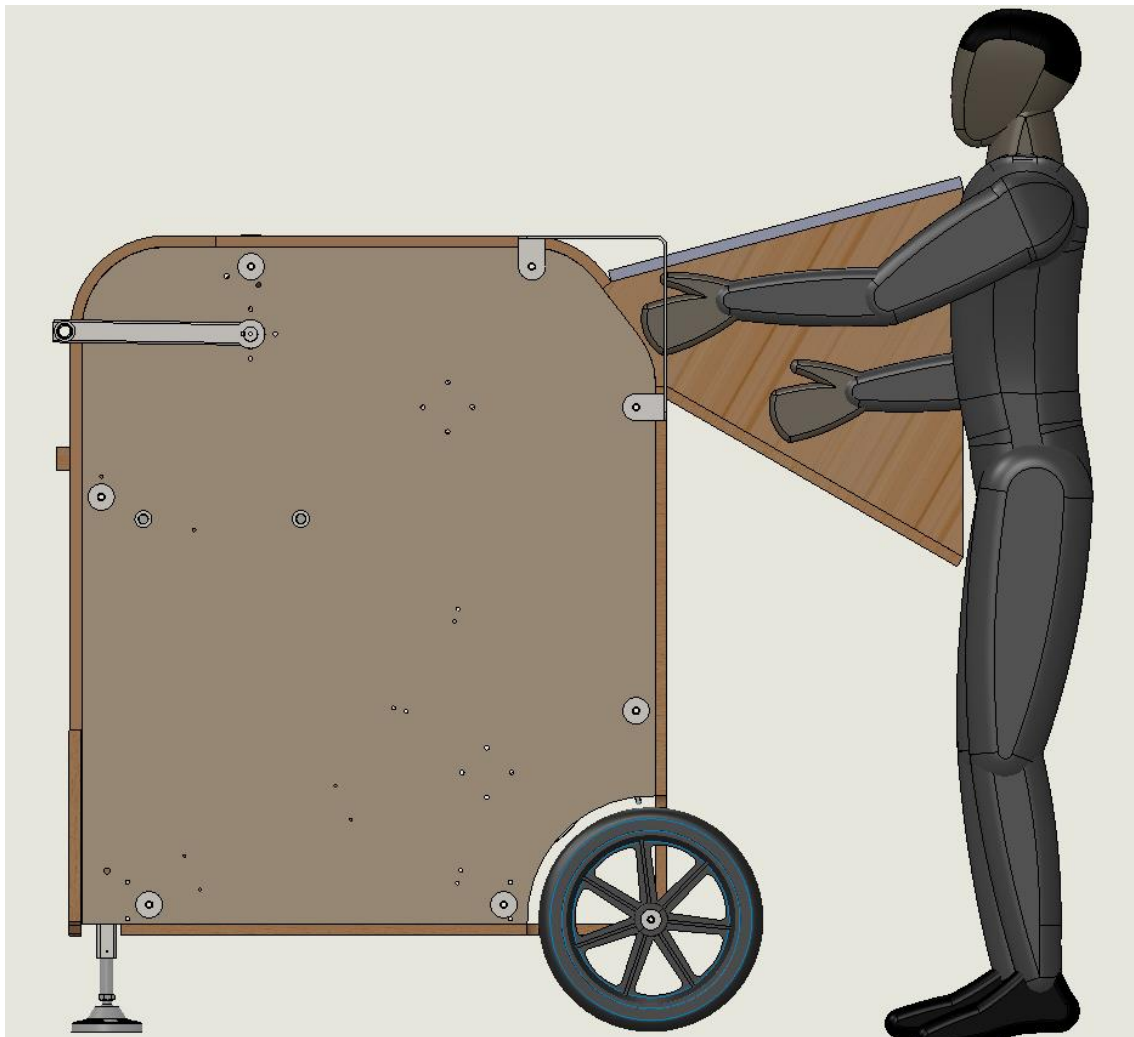


Figura 34 Sicurezza operatore

Questa soluzione è risultata ottimale e quindi oggetto della realizzazione.

5.3 Ribaltamento

Decisa la forma, sono stati eseguiti i calcoli per verificare che il peso dell'elemento di ingresso ed il suo ingombro non fossero tali da ribaltare la trebbiatrice – pulitrice.

La condizione tale per cui la macchina non si ribalti, si ottiene se la verticale passante per il baricentro complessivo (trebbiatrice con elemento di ingresso montato) cade all'interno della base di appoggio.

Tramite il software di modellizzazione CAD Solidworks, è stato possibile individuare facilmente la posizione del baricentro.

Il baricentro della macchina senza elemento di ingresso è mostrato nella figura successiva:

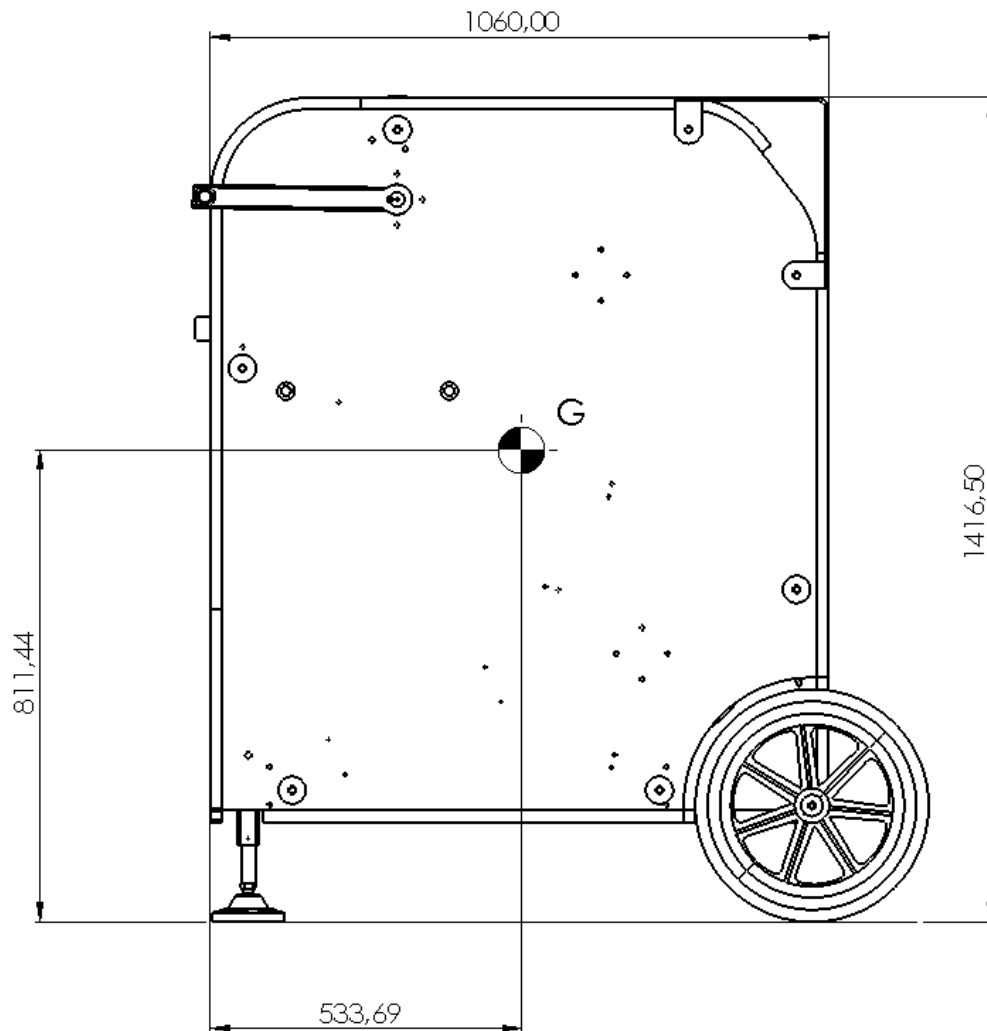


Figura 35 Posizione baricentro trebbiatrice

Il baricentro della macchina con l'elemento di ingresso montato è invece mostrato nella figura successiva:

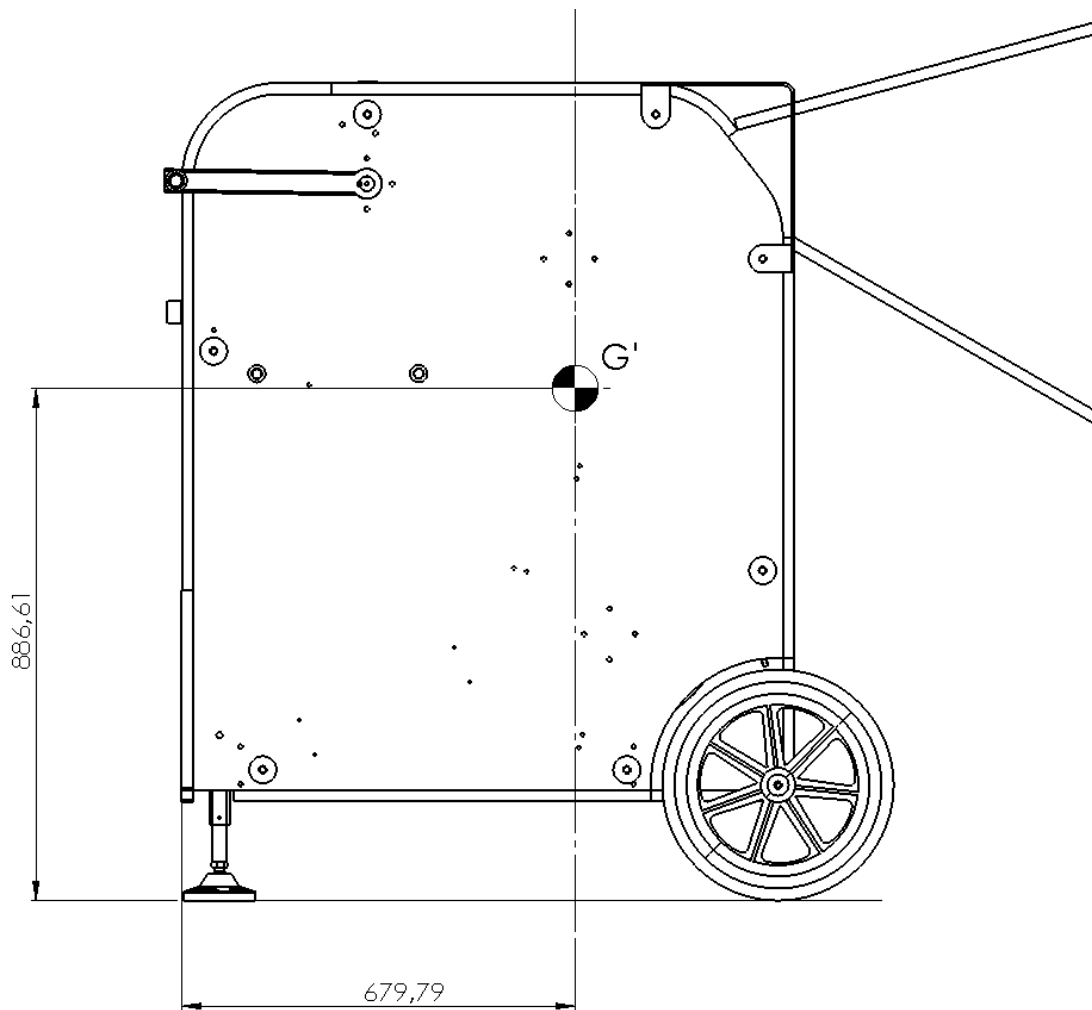


Figura 36 Posizione baricentro trebbiatrice con elemento di ingresso

Come si può notare dal confronto delle due figure, il baricentro si sposta a causa della presenza dell'elemento di ingresso, si mantiene però in una fascia di tolleranza che garantisce che anche in caso di urto o appoggio da parte degli operatori la macchina non si ribalti con facilità.

5.4 Smontabilità

Verificato che l'introduzione dell'elemento di ingresso non comporta problemi di ribaltamento, si è passati ad affrontare il problema della smontabilità.

Questo elemento di protezione infatti, deve essere posizionato e montato sulla macchina, solamente durante il funzionamento della macchina, così da ridurre notevolmente gli ingombri per lo stoccaggio.

Per fare ciò sono state montate (come mostrato nelle figure seguenti) :

- Staffe inclinate sul pannello inferiore;
- Dispositivi di chiusura a ginocchiera sui pannelli laterali.



Figura 37 Staffe inclinate



Figura 38 Dispositivi di chiusura a ginocchiera – montaggio esterno

Inizialmente i dispositivi di chiusura a ginocchiera sono stati montati esternamente (vedi figura precedente). In questo modo però risultava impossibile smontare l'elemento in quanto gli stessi dispositivi di chiusura entravano in battuta con i manici della macchina.



Figura 39 Dispositivo di chiusura in battuta con i manici

Per ovviare a ciò si è deciso quindi di montarli internamente, in quanto date le dimensioni ridotte, non ostruiscono il passaggio del grano.



Figura 40 Dispositivi di chiusura a ginocchiera – montaggio interno

6 Trasportabilità

Come già accennato in precedenza, la trebbiatrice – pulitrice è stata progettata e realizzata in modo tale che fosse facilmente trasportabile. Le masse in esame sono comunque tali da necessitare la presenza di due persone per un trasporto ottimale e senza sforzi eccessivi.

La macchina è stata realizzata già provvista di due maniglie in prossimità dell'ingresso del grano.

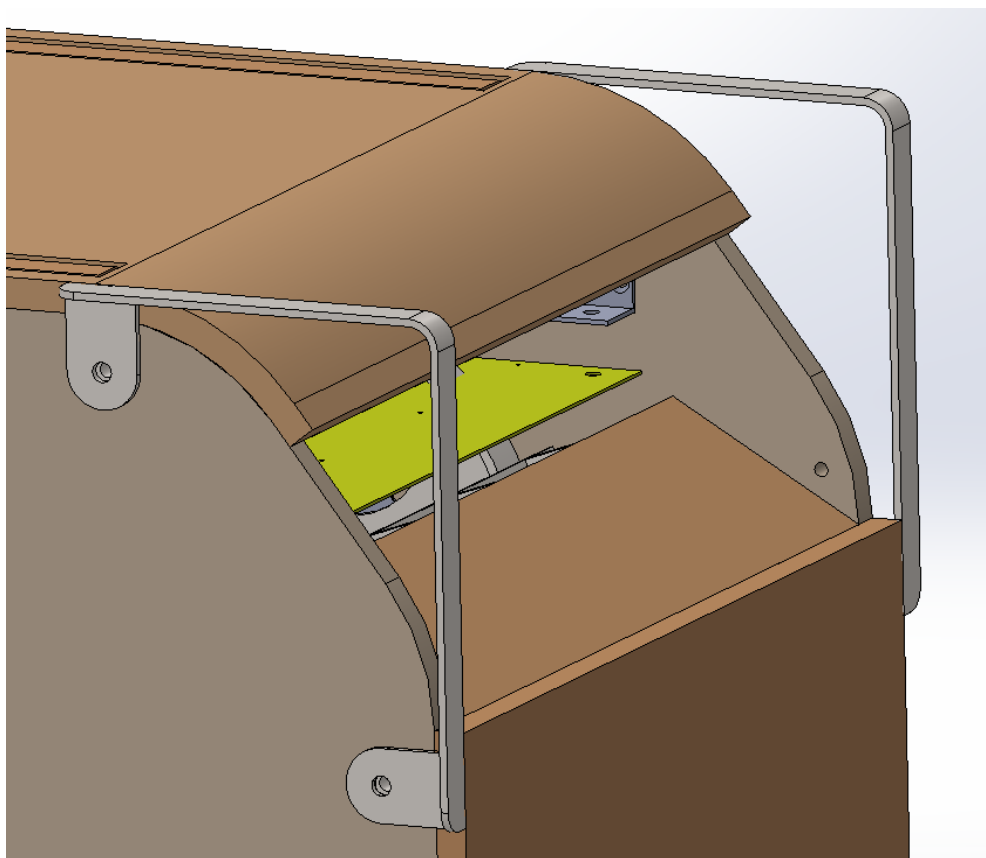


Figura 41 Maniglie

Per come sono posizionate le ruote, utilizzando solamente queste maniglie, a seguito dei primi test, non è risultato possibile inclinare e trasportare la macchina.

Ricordando che per un trasporto ottimale occorre inclinare la macchina in modo tale che la verticale passante per il baricentro cada all'interno della base di appoggio (in questo

caso le sole ruote), si è deciso quindi di progettare e realizzare dei manici, dal lato opposto della macchina.

Nella figura seguente viene mostrata una prima semplice ipotesi di progetto (oggetto del primo prototipo) i cui i due operatori, possono inclinare la macchina agendo uno sulle maniglie e l'altro sui manici, e movimentarla rispettivamente spingendola (maniglie) e tirandola (manici).

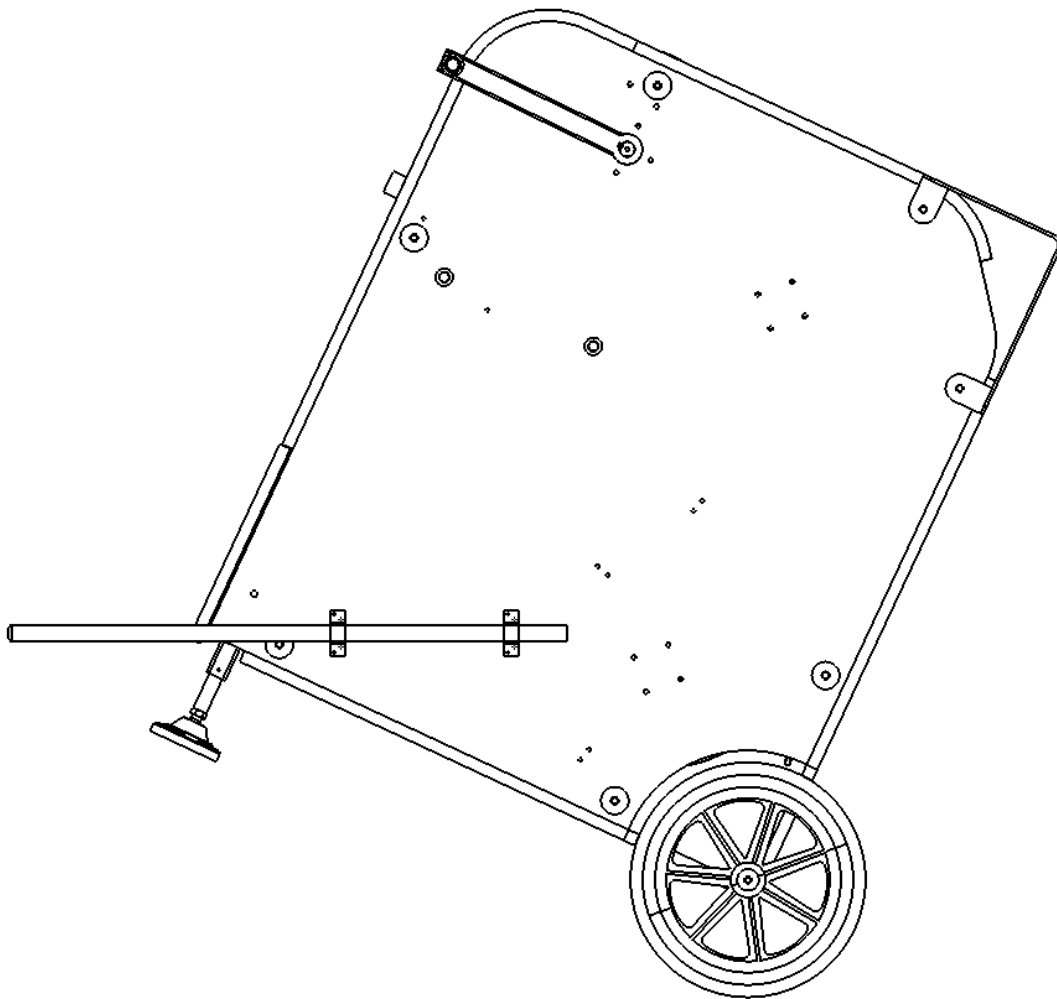


Figura 42 Configurazione manici e maniglie

6.1 Forza necessaria al ribaltamento

Al fine di verificare preliminarmente che l'ipotesi dell'utilizzo dei due operatori sia fattibile, viene calcolata in questo paragrafo la forza minima che gli utilizzatori devono

esercitare per avviare il ribaltamento della macchina, e successivamente poterla spostare.

Il calcolo è stato eseguito nella situazione peggiore ossia quella in cui i manici sono montati alla base della macchina.

Di seguito viene rappresentato il diagramma di corpo libero della macchina:

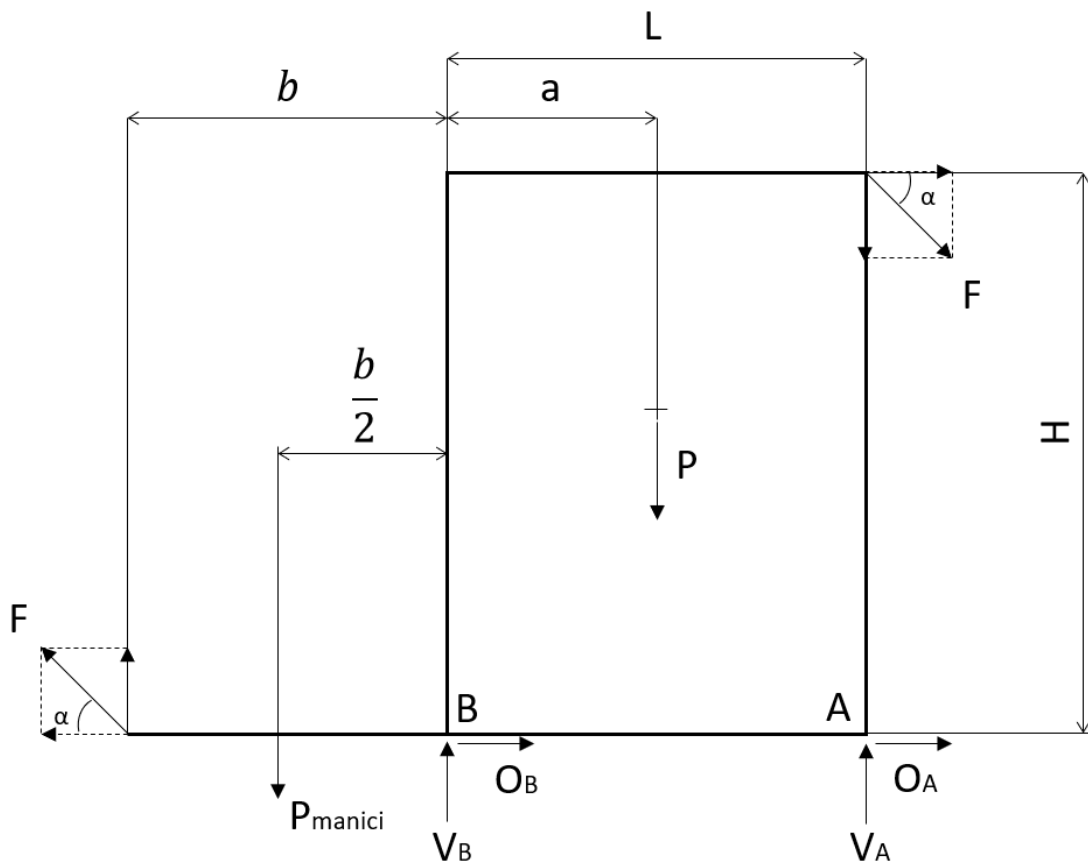


Figura 43 Distribuzione forze per il ribaltamento e geometria

Con:

Altezza della macchina: $H = 1,245m$

Larghezza della macchina: $L = 1,06 m$

Distanza orizzontale baricentro: $a = 0,533 m$

Lunghezza manici: $b = 0,76 m$

Forza peso della macchina: $P = 736 N$

Forza peso dei manici: $P_{manici} = 150 N$

Angolo di inclinazione delle forze: $\alpha = 45^\circ$

Affinché avvenga il ribaltamento le reazioni vincolari nel punto B saranno nulle così che la macchina possa sollevarsi:

$$V_B = O_B = 0$$

Si scrive ora l'equazione di equilibrio alla rotazione attorno al punto di ribaltamento A:

$$P(L - a) + P_{manici}\left(\frac{b}{2} + L\right) - F \sin\alpha (b + L) - F \cos\alpha H = 0$$

Da cui si ricava:

$$F = \frac{P(L - a) + P_{manici}\left(\frac{b}{2} + L\right)}{\sin\alpha (b + L) + \cos\alpha H} = 278 \text{ N}$$

Siccome in letteratura la forza muscolare media esercitabile da un uomo adulto senza sforzi è di circa 300 N, la macchina in questa configurazione risulta quindi sollevabile e ribaltabile.

6.2 Prima proposta

La prima idea e proposta è stata quella di realizzare e montare dei semplici manici sui pannelli laterali della macchina, tramite l'utilizzo di cavallotti di fissaggio.



Figura 44 Manicotti di fissaggio

I manici sono stati montati in posizione inclinata, così da permettere all'operatore di inclinare la macchina facendo leva su di essi. L'inclinazione, tuttavia, non può essere eccessiva, in quanto, in tal caso l'operatore si ritroverebbe con le braccia flesse durante la movimentazione, facendo ulteriori sforzi.

La posizione migliore è, infatti, quella in cui l'operatore durante la movimentazione si ritrovi con le braccia distese. Per questo motivi i manici sono stati montati inclinati di un angolo non superiore ai 25°.

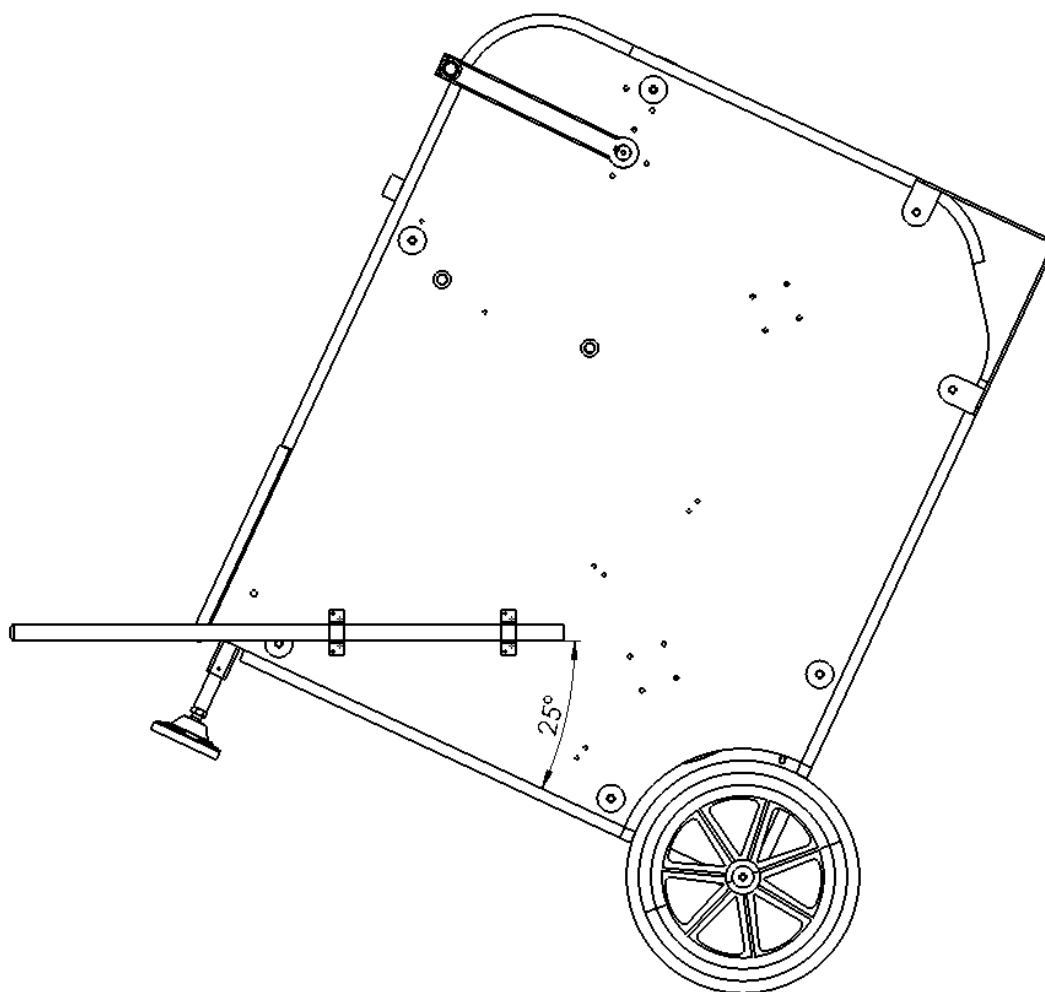


Figura 45 Angolo di inclinazione manici

Questa proposta è stata realizzata utilizzando manici pieni in legno e montando i manicotti di fissaggio tramite l'utilizzo di viti da legno autofilettanti. Questo ha permesso una facile e veloce prototipazione, così da poter verificare facilmente l'efficacia della proposta direttamente sulla macchina e validarne il principio.



Figura 46 Prima proposta trasporto

Questa proposta è stata scartata in quanto il legno è risultato un materiale troppo flessibile, e se sottoposto ad un carico di sollevamento eccessivo tendeva a cedere.

Verificato direttamente sulla macchina la non realizzabilità di questo approccio progettuale, è stato deciso di scegliere un approccio di progettazione più completo, cambiando il materiale, e verificando precedentemente con gli opportuni calcoli, la fattibilità.

6.3 Seconda proposta

La nuova proposta prevede la sostituzione del materiale (acciaio) e l'utilizzo di manici telescopici con impugnatura ergonomica, rimovibili e utilizzabili soltanto quando necessario.

Questa struttura telescopica è realizzata utilizzando una guida laterale fissata esternamente sui pannelli della trebbia, all'interno della quale scorre il manico.

Il manico è tubolare a sezione cava, per ridurre le masse ed i costi, ed è realizzato in acciaio per aumentare la resistenza flessionale che, nel prototipo precedente, è stata la fonte principale di problemi.

Come si può vedere dalla figura seguente, la guida è montata alla base della macchina, questa volta senza alcun angolo di inclinazione, visto il nuovo posizionamento dell'operatore (come mostrato successivamente):

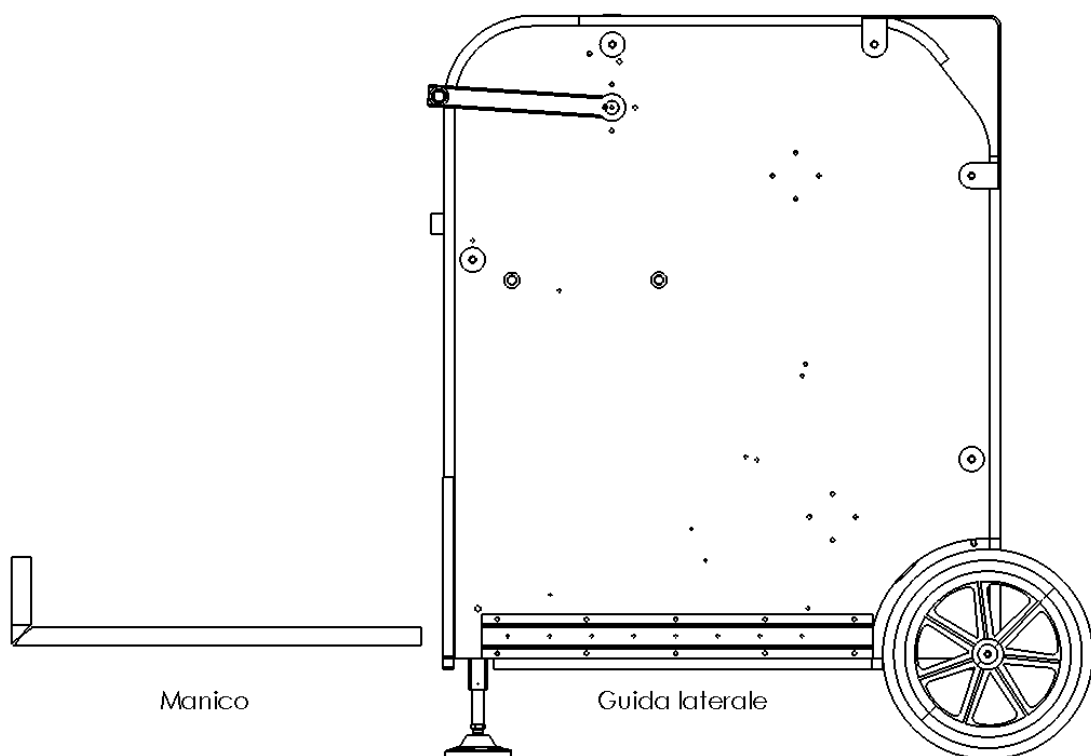


Figura 47 Guida laterale e manico

Il manico presenta questa volta, un'impugnatura ergonomica che consente un trasporto facilitato; può rientrare e fuoriuscire completamente, riducendo gli ingombri.

Esso presenta un foro per il bloccaggio sulla posizione desiderata, attraverso l'utilizzo di una vite o spina di serraggio. Il foro di fissaggio, in posizione di fuoriuscita sul manico, è posizionato in modo tale che le maniglie ergonomiche siano in posizione orizzontale, così da poter essere afferrate dall'operatore.

La figura seguente mostra le maniglie nella configurazione per il trasporto.

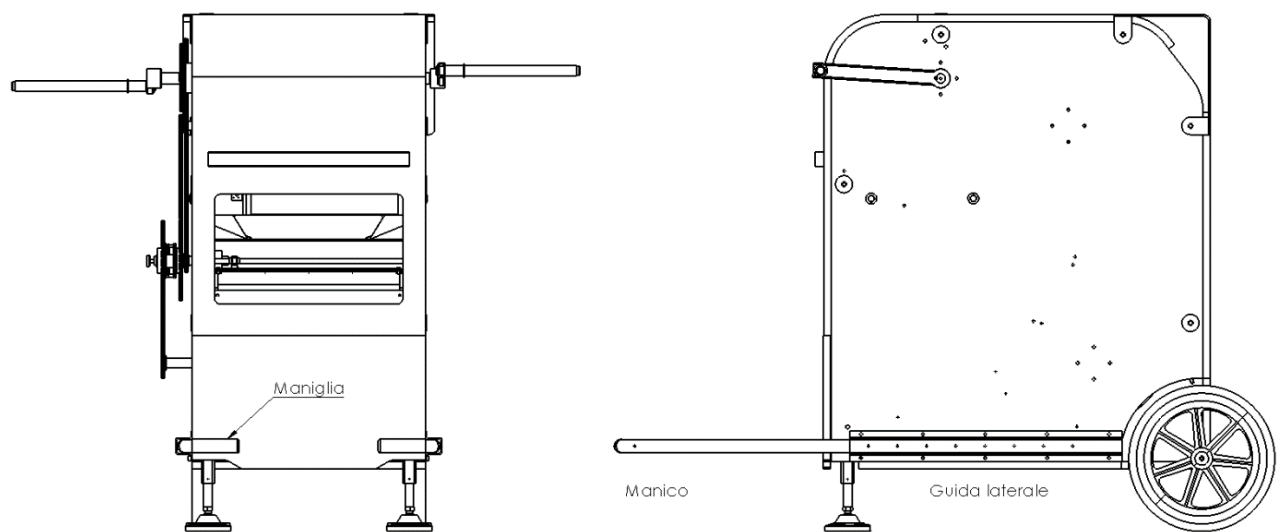


Figura 48 Maniglie ergonomiche in posizione orizzontale

In questo modo, l'operatore, in base alle sue esigenze, può far fuoriuscire il manico, bloccarlo nella posizione scelta e successivamente, inclinare la macchina insieme al secondo operatore, che agisce sulle maniglie sull'altro lato della macchina.

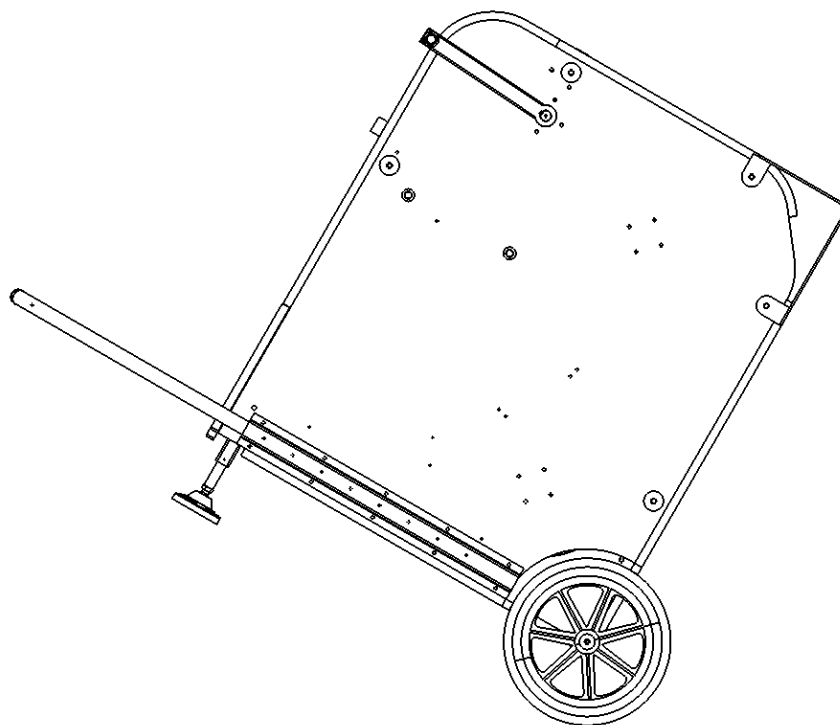


Figura 49 Manici fuoriusciti per il trasporto

Successivamente, dopo aver trasportato la macchina, questi manici possono essere rimossi completamente, oppure fatti rientrare nella guida e fissati in posizione di rientro. I manici infatti presentano un secondo foro, che se accoppiato alla guida laterale con l'utilizzo di una spina di fissaggio, consente al manico di rientrare completamente in posizione verticale senza ingombrare.

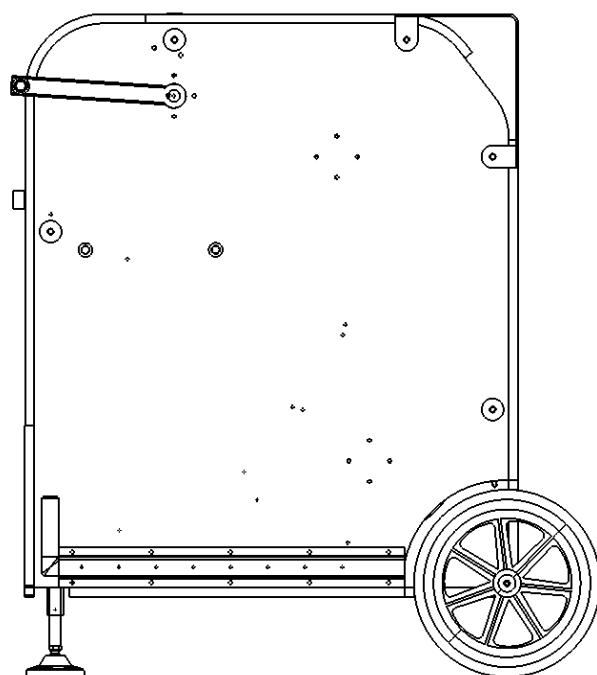


Figura 50 Manici rientrati

Al fine di identificare la lunghezza corretta dei manici in estensione durante il trasporto sono stati utilizzati manichini in scala come viene mostrato nelle due figure seguenti.



Figura 51 Trasporto con manichino in scala - vista 1



Figura 52 Trasporto con manichino in scala - vista 2

Concludendo, questa proposta permette di ottenere due configurazioni:

- A riposo: manici rientrati completamente



Figura 53 Configurazione: a riposo

- Trasporto: manici fuoriusciti completamente

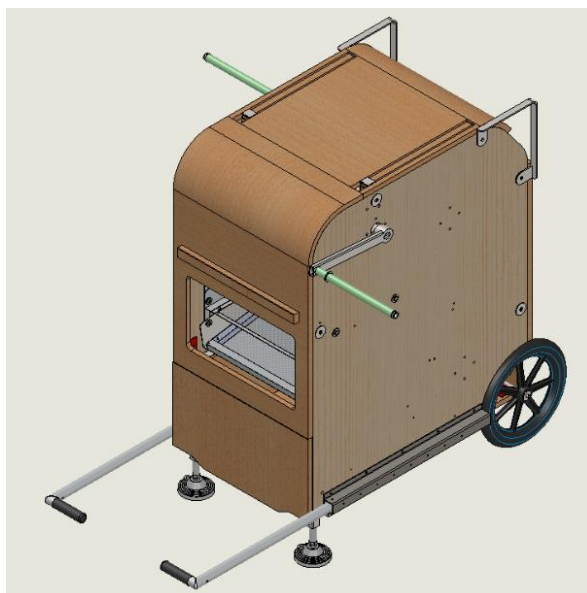


Figura 54 Configurazione: trasporto

6.3.1 Alternativa fissaggio manici

Una proposta alternativa per il fissaggio dei manici come precedentemente descritto, consiste nell'utilizzo di un sistema di bloccaggio alternativo alle viti o spine di fissaggio.

Si è ipotizzato quindi di utilizzare delle molle con nottolino, molto utilizzate per sistemi di tubi telescopici. In questo modo, la spina che permette di bloccare il manico nella guida laterale è sempre presente.

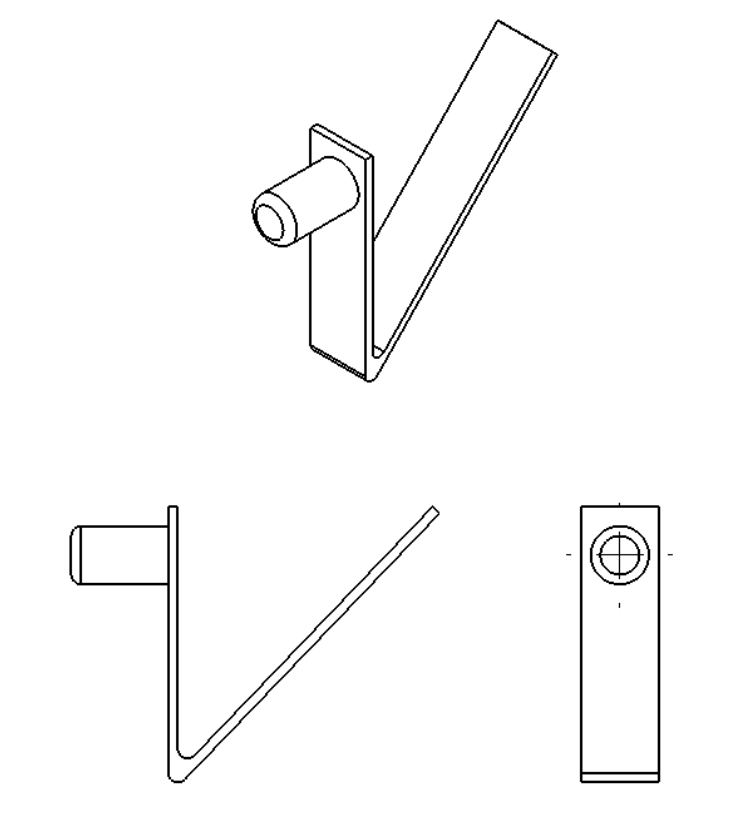


Figura 55 Molla con nottolino

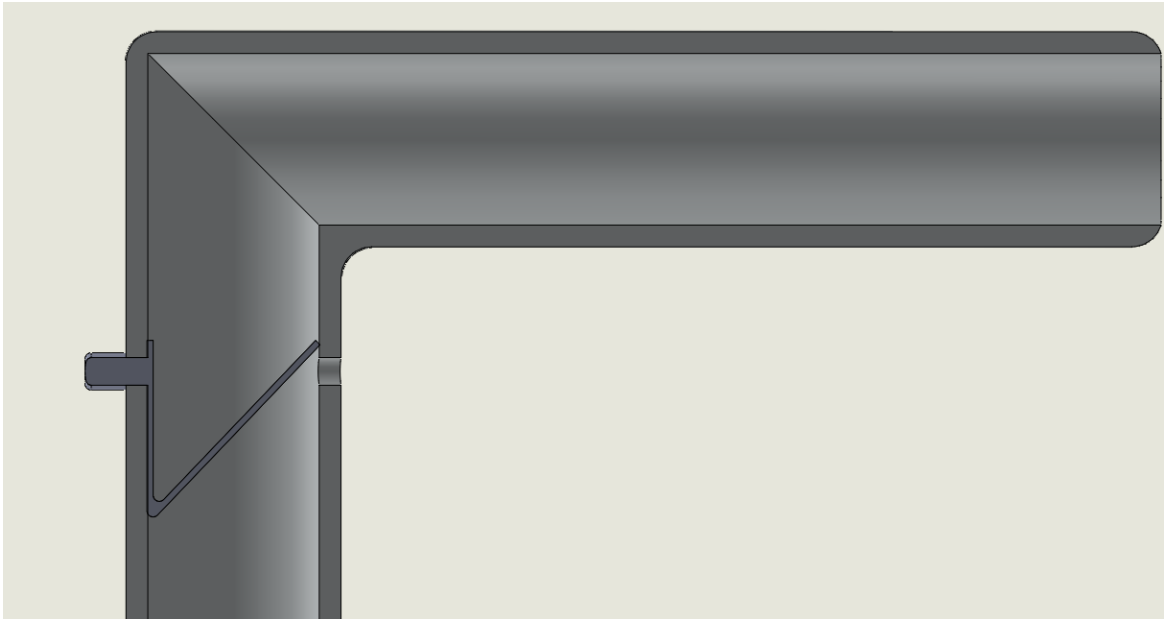


Figura 56 Sezione manico con molla con nottolino

Il nottolino, infatti, una volta spinto, va a deformare la molla, rientrando e permettendo di muovere il manico nella posizione preferita. Una volta scelta la posizione, allineati i due fori (quello presente sul manico e quello sulla guida), il nottolino fuoriesce automaticamente, accoppiando la spina e bloccando il manico.

Anche in questo caso sono presenti due fori sul manico, che permettono di ottenere una configurazione di riposo e una per il trasporto come nel caso precedente.

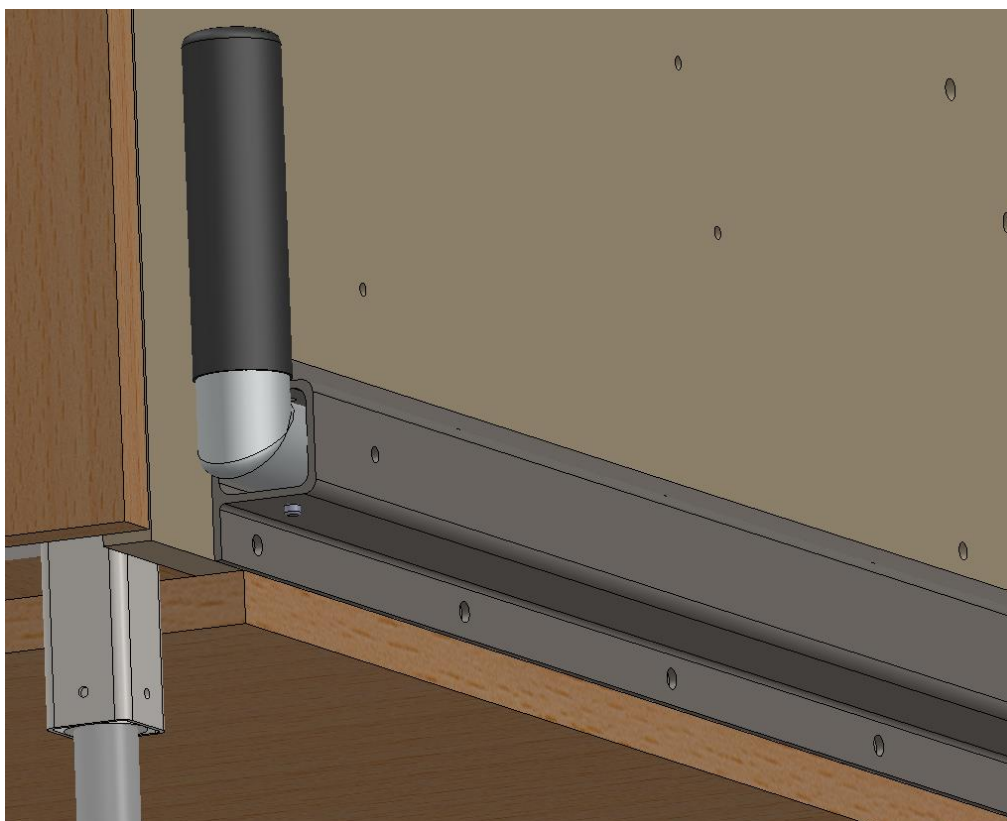


Figura 57 Configurazione di riposo

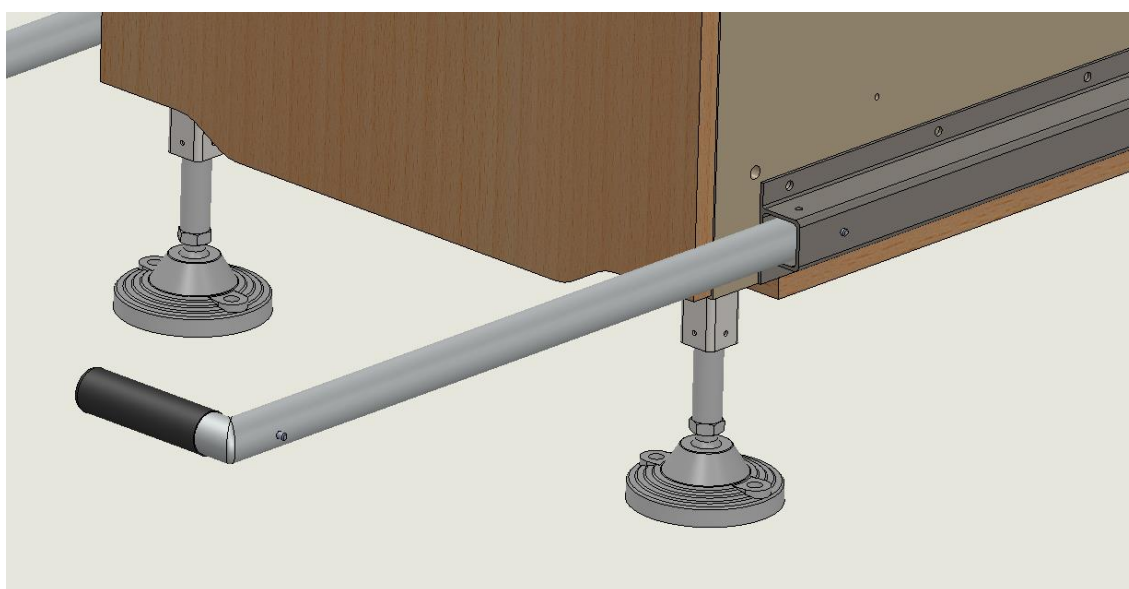


Figura 58 Configurazione per il trasporto

6.3.2 Verifica statica

Vengono nel seguito illustrati i calcoli di verifica statica, per verificare che i manici sottoposti ad un carico pari alla forza di sollevamento dell'operatore, resistano senza snervare.

La verifica è stata effettuata nella condizione più critica ossia:

- Forza applicata sull'estremo della maniglia
- Tutta la forza esercitata su uno solo dei due manici
- Forza applicata in direzione verticale

Il manico è stato considerato come una trave incastrata nell'estremità in cui viene bloccato (infatti, fissato con la spina di serraggio, esso non può né traslare in alcuna direzione, né ruotare).

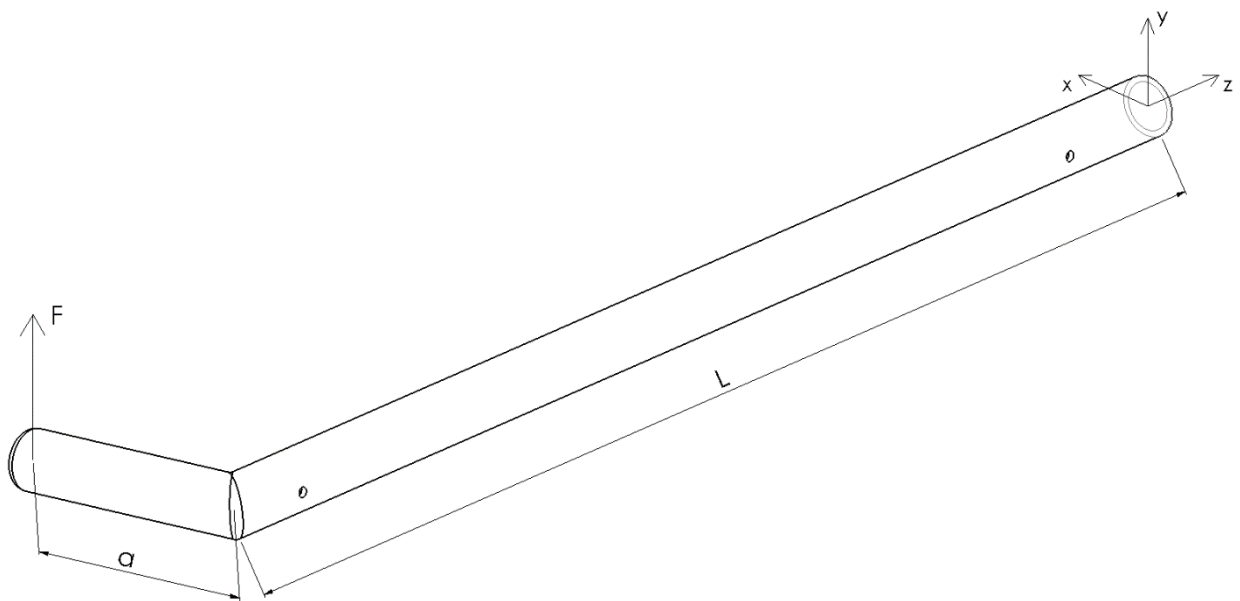


Figura 59 Manico con forza F applicata sull'estremità della maniglia

La forza F esercitata su di esso equivale alla forza muscolare media esercitabile da un uomo adulto, senza sforzi, pari a 300 N.

Le caratteristiche geometriche sono le seguenti:

Lunghezza manico: $L = 0,76 \text{ m}$

Lunghezza maniglia: $a = 0,15 \text{ m}$

Diametro esterno sezione circolare cava: $d_e = 35 \text{ mm}$

Diametro interno sezione circolare cava: $d_i = 28 \text{ mm}$

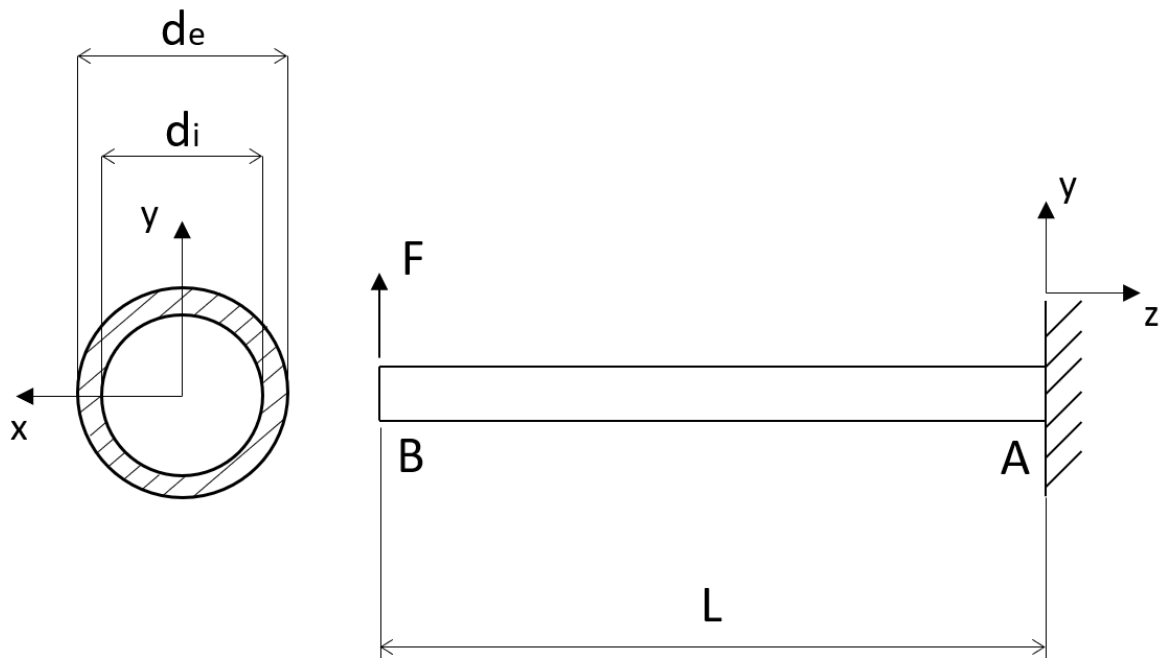


Figura 60 Geometria manico e sezione

Come materiale è stato scelto un acciaio da costruzione di uso comune ossia l'acciaio C45 con le seguenti caratteristiche meccaniche:

Tensione di snervamento: $R_{p0.2} = 305 \text{ MPa}$

Tensione limite di rottura: $R_m = 580 \text{ MPa}$

La presenza della maniglia genera un momento torcente sul manico pari a:

$$M'_t = F \cdot a = 45 \text{ Nm}$$

Possiamo quindi, analizzare il corpo come una trave incastrata soggetta ad una forza F sull'estremo libero e ad un momento torcente M'_t .

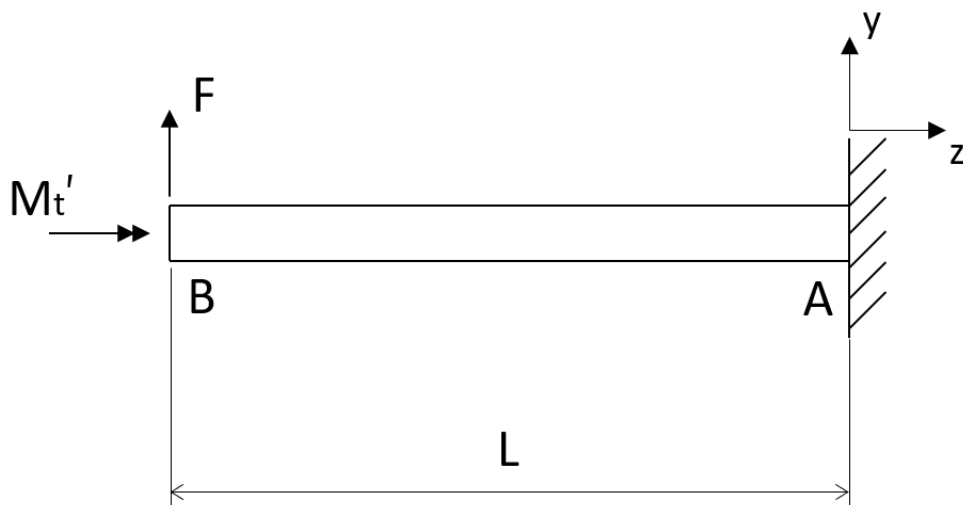


Figura 61 Manico soggetto a forza F e momento torcente M_t'

Si passa ora al calcolo delle reazioni vincolari generate dalla presenza dell'incastro.



Figura 62 Reazioni vincolari

Per il calcolo delle reazioni vincolari, si procede scrivendo le equazioni di equilibrio alla traslazione verticale, orizzontale e di rotazione.

$$V_A = F = 300 \text{ N}$$

$$O_A = 0$$

$$M_A = F \cdot L = 228 \text{ Nm}$$

$$M_{t,A} = M_t' = 45 \text{ Nm}$$

Il passo successivo è stato il calcolo e la rappresentazione degli andamenti degli sforzi, per individuare quindi la sezione più sollecitata, andando a studiare ciò che accade all'interno del corpo. Si scompone quindi la trave in questo modo:

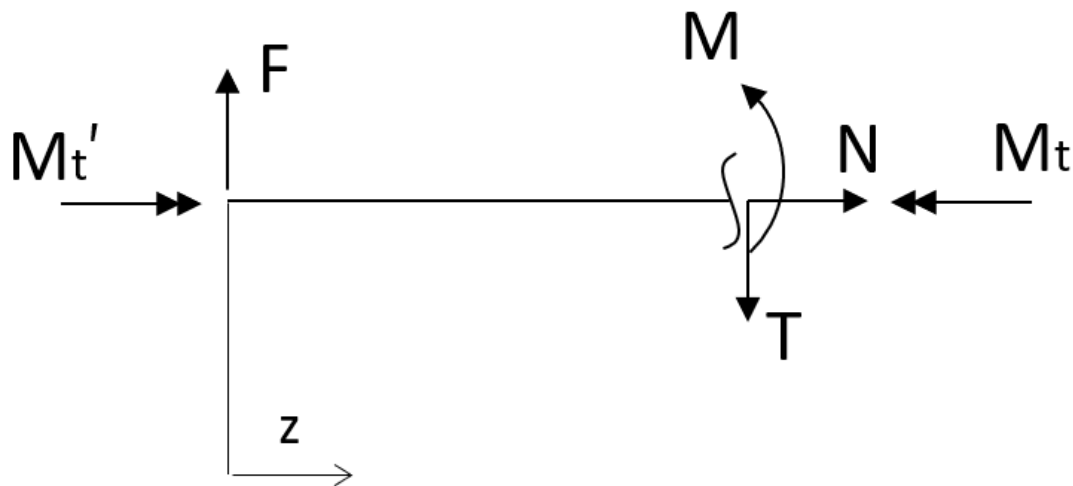


Figura 63 Analisi degli sforzi

Si vanno nuovamente a scrivere le equazioni di equilibrio alla traslazione verticale, orizzontale e di rotazione, al variare di z . ($0 < z < L$)

$$N = 0$$

$$T = F = 300 \text{ N}$$

$$M = F \cdot z = \begin{cases} 0 & z = 0 \\ 228 \text{ Nm} & z = L \end{cases}$$

$$M_t = M_t' = 45 \text{ Nm}$$

L'unica sollecitazione che varia al variare di z è il momento flettente M , mentre il taglio T e il momento torcente M_t rimangono costanti.

Si vanno ora a rappresentare gli andamenti del momento flettente e del momento torcente lungo tutto il manico:

Momento flettente:

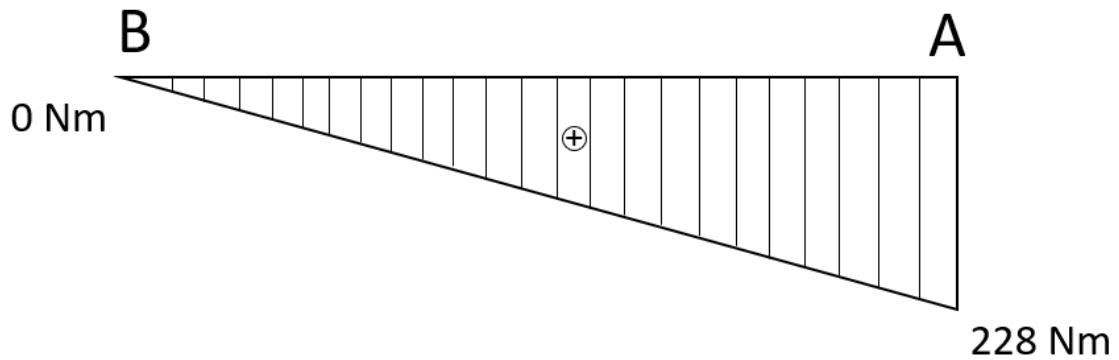


Figura 64 Andamento del momento flettente

Momento torcente:

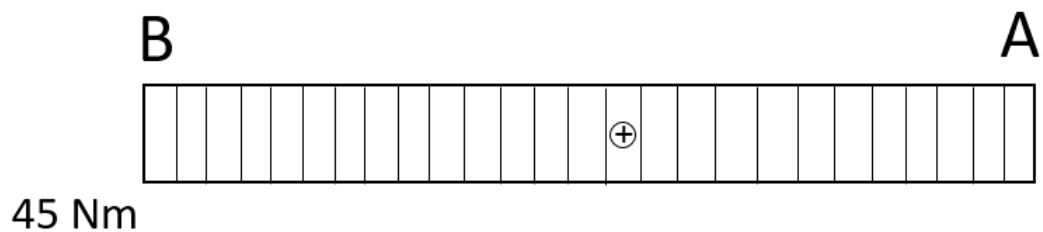


Figura 65 Andamento del momento torcente

Si può notare come la sezione più sollecitata è sul punto A (sull'incastro) in quanto il momento flettente è massimo. Il momento torcente non va ad influenzare questa considerazione in quanto è costante lungo tutto il manico.

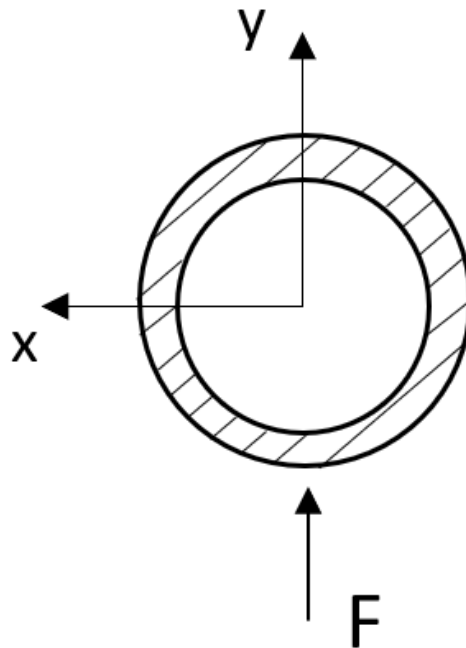


Figura 66 Sezione più sollecitata

Si procede quindi con il calcolo delle tensioni generate dal momento flettente M e dal momento torcente M_t , per poi individuare un valore di tensione equivalente agente sul manico. Non è stato considerato lo sforzo di taglio T , in quanto esso genera delle tensioni di taglio di valore molto più piccolo rispetto alle tensioni generate dal momento flettente e dal momento torcente (circa un ordine di grandezza inferiore) e quindi viene trascurato.

Il momento flettente genera una tensione di flessione σ_f pari a:

$$\sigma_f = \frac{M_f d_e}{I_x} \frac{1}{2} = 91,8 \text{ MPa}$$

Con I_x che rappresenta il momento di inerzia calcolato rispetto all'asse x che per una sezione circolare cava vale:

$$I_x = I_y = \frac{\pi}{64} (d_e^4 - d_i^4) = 43467,85 \text{ mm}^4$$

Il momento torcente genera, invece, una tensione torsionale τ_{torc} pari a:

$$\tau_{torc} = \frac{M_t d_e}{I_p} \frac{1}{2} = 9,05 \text{ MPa}$$

Con I_p che rappresenta il momento di inerzia polare che per una sezione circolare cava vale:

$$I_p = \frac{\pi}{32} (d_e^4 - d_i^4) = 86979,8 \text{ mm}^4$$

Si calcola ora la tensione equivalente utilizzando il criterio di resistenza di tresca:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_f^2 + 4\tau_{torc}^2} = 93,6 \text{ MPa}$$

Infine, affinché venga verificata la resistenza statica del materiale, deve essere soddisfatta la seguente condizione:

$$\sigma_{eq} < \frac{R_{p02}}{CS}$$

Dove CS è il valore del coefficiente di sicurezza che si vuole dare in fase di progettazione. In questo caso, per una maggiore sicurezza, è stato scelto un valore medio-alto, ossia CS=2.

Si può notare come la condizione sia ampiamente soddisfatta, e quindi la rigidezza e resistenza statica del manico venga verificata.

Si può inoltre calcolare il valore di CS limite che si può fornire in questo caso:

$$CS = \frac{R_{p02}}{\sigma_{eq}} = 3,25$$

6.3.3 Linea elastica

Viene ora analizzata la deformazione massima lungo il piano yz che il manico presenta in condizioni di carico.

Anche in questo caso il manico viene considerato come una trave incastrata ad un'estremità con carico concentrato sull'estremo libero. In questo caso, infatti, il momento torcente non va ad influenzare la deformazione lungo il piano yz, e quindi non viene considerato.

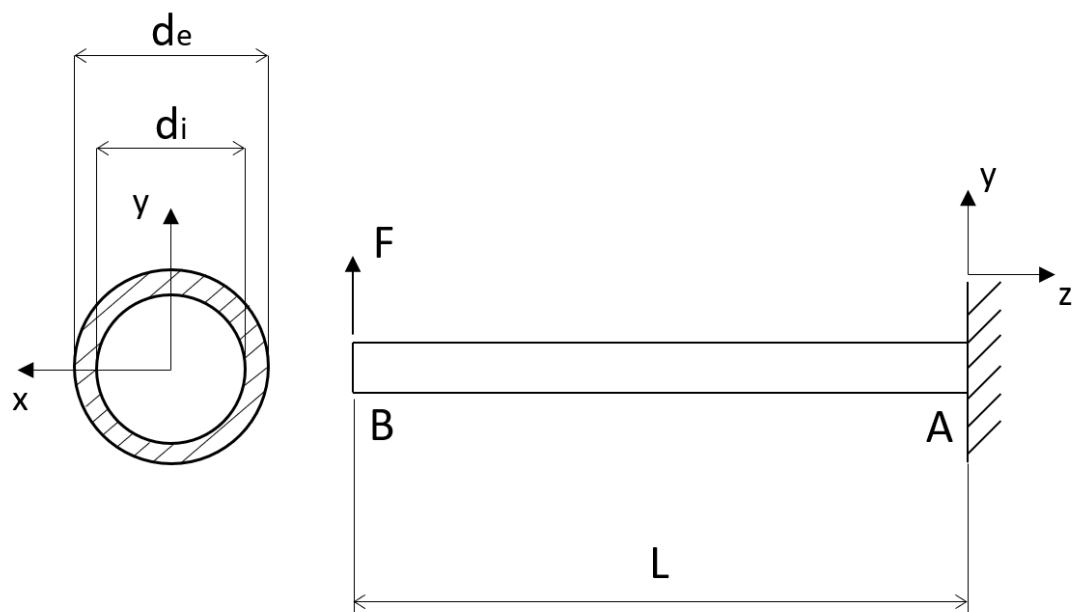


Figura 67 Trave a sbalzo

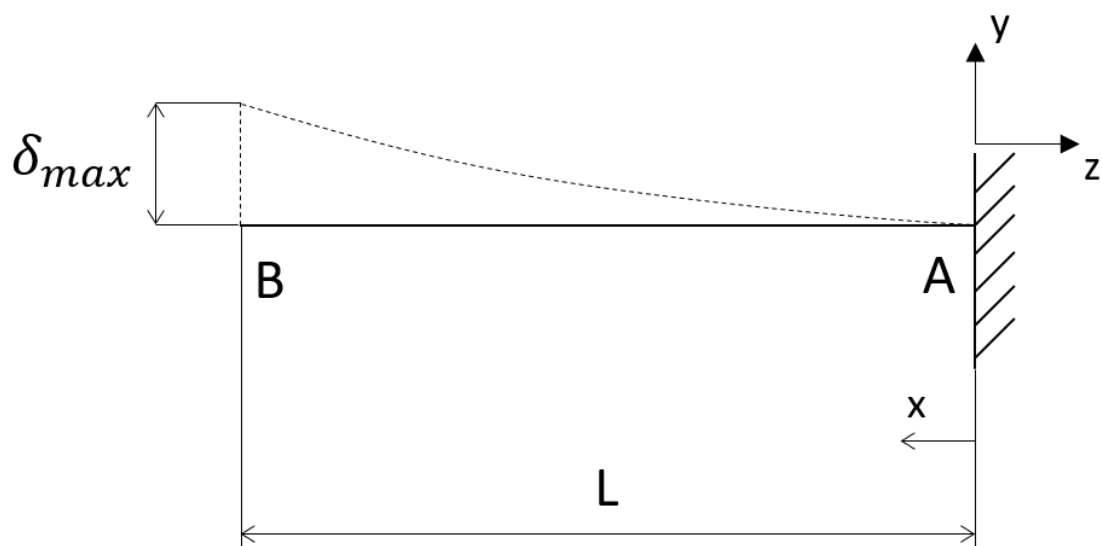


Figura 68 Andamento della freccia

Riconducendosi quindi al caso di trave a sbalzo con carico concentrato, la formula utilizzata per calcolare la deformazione elastica detta anche freccia è:

$$\delta = \frac{Fx^2}{6EI_x}(3L - x)$$

Il valore di freccia massimo lo si ottiene per $x=L$ ossia:

$$\delta_{max} = \frac{FL^3}{3EI_x} = 5,05 \text{ mm}$$

Per l'applicazione in cui vengono utilizzati i manici, e per la loro lunghezza totale di 760 mm, questo valore risulta accettabile.

7 Prove di trebbiatura e pulitura in laboratorio

Terminate le fasi progettuali e realizzative di competenza si è proceduto con la parte finale del lavoro relativa ai test di pulitura e trebbiatura effettuati direttamente sulla macchina in laboratorio.

Nel paragrafo seguente verranno descritti i test effettuati con le relative considerazioni.

7.1 Pulitura

Come già accennato in precedenza, la macchina è in grado di svolgere separatamente sia operazioni di trebbiatura con pulitura, che la pulitura singola. Per questo motivo, prima di effettuare test completi di trebbiatura e pulitura, sono state eseguite le prove di pulitura singole, per poter analizzare nel dettaglio questa funzionalità.

La macchina dispone di due setacci per la pulitura, i quali animati da movimento sussultorio e ondulatorio permettono la separazione tra la paglia e i chicchi. Il setaccio superiore è costituito da una maglia con un passo tale da consentire ai chicchi di cadere per gravità, facendo depositare su di esso i residui di paglia; quello inferiore è costituito invece, da una maglia con un passo minore così da contenere i soli chicchi che per la sua inclinazione scivolano nel cassetto di raccolta.

7.1.1 Sostituzione setaccio

Durante i primi test, si è notato come il setaccio superiore, montato con una rete metallica con una maglia con passo di 6 mm non funzionava correttamente, facendo cadere sia chicchi che la paglia assieme. Si è quindi provveduto a selezionare e poi montare una nuova rete, non più metallica ma di plastica con un passo di 5 mm. La variazione del materiale utilizzato per la rete non ha influito sui test successivi né sulla stabilità del montaggio.



Figura 69 Rete di plastica sostituita

Successivamente, quindi, utilizzando come in precedenza del materiale già trebbiato, semplicemente da pulire, sono state effettuate nuove prove per verificare se la rete cambiata fosse adatta.

Il grano da pulire è quindi stato inserito nella tramoggia e, dopo aver azionato la macchina è stata regolata la portata del flusso di materiale, facendolo cadere sui setacci vibranti.

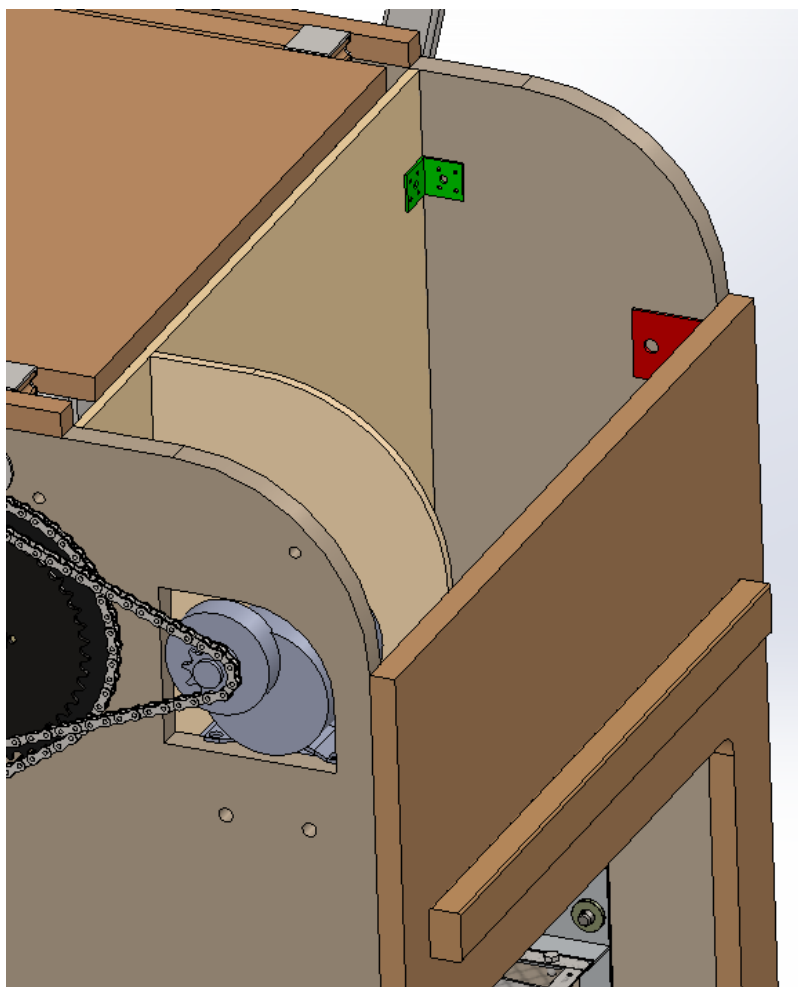


Figura 70 Tramoggia per caricamento grano da pulire

I nuovi test effettuati hanno avuto esito positivo, infatti, la paglia si è depositata per la maggior parte correttamente sulla griglia, lasciandone soltanto una minima traccia nel cassetto di raccolta.



Figura 71 Risultati test pulitura: paglia correttamente depositata sulla griglia

7.2 Trebbiatura – pulitura

Dopo aver effettuato i primi test di pulitura, risolvendo il problema relativo al passo della rete, con sua relativa sostituzione, e dopo aver reso sicuro l'ingresso dell'area di ingresso del materiale da trebbiare con il montaggio dell'elemento di ingresso (come descritto precedentemente), si è passati ai test completi di trebbiatura e pulitura.

7.2.1 Recupero materiale

In questo caso però, a differenza dei test di pulitura singola, non si era in possesso di materiale da trebbiare. La prima cosa da fare è stata il suo recupero. Tale operazione è avvenuta presso l'azienda agricola Salerin di Demonte (Vanet Cavalli), dove il signor Roberto Schellino ha messo a disposizione gentilmente, delle spighe di grano prelevate e portate nei laboratori del Politecnico di Torino da poter utilizzare per la trebbiatura.



Figura 72 Azienda agricola Salerin di Demonte



Figura 73 Spighe di grano recuperate

7.2.2 Prove di trebbiatura - pulitura

Successivamente sono state eseguite le prove complete di trebbiatura e pulitura. Per lavorare in sicurezza, sono state utilizzate le protezioni progettate in precedenza ossia la griglia di protezione laterale e l'elemento di protezione per l'ingresso del materiale da trebbiare.

Come già accennato le prove di trebbiatura consistono nell'inserire le spighe di materiale da trebbiare in piccoli covoni all'interno della macchina tramite la bocca di ingresso, e farli passare attraverso l'organo battitore, il quale ruotando strappa via i chicchi dalla paglia, separandoli.

Va ricordato che l'area di trebbiatura non è costituita unicamente dal battitore, bensì anche dal controbattitore. L'altezza di quest'ultimo è regolabile in base al tipo di coltura di grano che si va a trebbiare.

Il materiale prelevato, si è dimostrato composto da spighe di diversa lunghezza, in quanto appartenenti a colture di grano diverse. Ciò non ha permesso, quindi, di regolare adeguatamente il controbattitore, che è stato posto ad un'altezza media e costante. Questo pone quindi le prove di trebbiatura nella situazione più critica, in quanto se le prove effettuate utilizzando contemporaneamente spighe di grano di lunghezza differente hanno esito positivo, questo avverrà, a maggior ragione, nel momento in cui viene trebbiato materiale appartenente ad una singola coltura (caso più comune).

Le prove effettuate sono state eseguite con e senza l'utilizzo del controbattitore. L'assenza del controbattitore ha permesso di osservare più facilmente il percorso che la paglia, una volta trebbiata, faceva per verificare se si incastrasse o meno. Tuttavia, il materiale veniva trebbiato in maniera più grossolana, non riuscendo a separare completamente i chicchi dalla spiga (figura successiva).



Figura 74 Prova trebbiatura - pulitura senza controbattitore

Successivamente, quindi, è stato aggiunto il controbattitore, e i risultati ottenuti sono stati migliori, infatti, i chicchi venivano strappati dalla paglia più efficacemente, giungendo più puliti ai setacci per la pulitura (figura successiva).



Figura 75 Prova trebbiatura - pulitura con controbattitore

I test sono risultati soddisfacenti, ma il grano una volta passato attraverso ai setacci di pulitura, si depositava sul cassetto di raccolta, non ancora del tutto pulito. Purtroppo, sebbene non si sia depositata paglia all' interno del cassetto, vi è ancora una componente elevata di pula, la quale non viene completamente rimossa. Facendo una seconda pulitura (come descritto nel paragrafo precedente), questo problema viene risolto, ma si è dimostrato necessario un ulteriore passaggio.

La soluzione definitiva a tale problema è, molto probabilmente, la sostituzione della ventola. Infatti, è proprio tramite il flusso d'aria generato da essa che la pula vola via, separandosi dal chicco. Sostituendola con una capace di generare un flusso d'aria maggiore, a parità di potenza assorbita, questo problema verrà in futuro risolto.

8 Lista delle figure

Figura 1 Antichi attrezzi per trebbiatura.....	3
Figura 2 Trebbiatrici a mano dell'800, di costruzione orientale, tedesca e francese	4
Figura 3 Trebbiatrice a trazione animale dell'800.....	5
Figura 4 Tararà francese	5
Figura 5 Design trebbiatrice orientale	6
Figura 6 Design trebbiatrice occidentale	7
Figura 7 Complessivo vista 1	9
Figura 8 Complessivo vista 2	10
Figura 9 Vista interna - componenti	11
Figura 10 Rullo battitore a denti.....	12
Figura 11 Controbattitore regolabile	13
Figura 12 Gruppo battitore-controbattitore	14
Figura 13 Paratie di contenimento.....	15
Figura 14 Ventola centrifuga	16
Figura 15 Setacci vibranti.....	17
Figura 16 Cassetto di raccolta granella.....	18
Figura 17 Cinematismo complessivo	19
Figura 18 Innesto per separare funzioni di trebbiatura e pulitura.....	20
Figura 19 Schema cinematismo.....	21
Figura 20 Parametri cinematismo.....	21
Figura 21 Rapporti di trasmissione.....	21
Figura 22 Potenza di progetto.....	22
Figura 23 Entrata del covone da trebbiare	23
Figura 24 Foro di uscita per impurità e scarti.....	24
Figura 25 Tramoggia per caricamento materiale da pulire	25
Figura 26 Processo di valutazione dei rischi	28
Figura 27 Esempio progettazione sicura: evitare punti taglienti	29
Figura 28 Esempio progettazione sicura: evitare punti di intrappolamento	29
Figura 29 Pittogrammi.....	31
Figura 30 Messa in sicurezza ingresso grano	34
Figura 31 Pianale di imbocco	35
Figura 32 Prima proposta - Pannello laterale	36
Figura 33 Seconda proposta - Pannello laterale	37
Figura 34 Sicurezza operatore	38
Figura 35 Posizione baricentro trebbiatrice	39
Figura 36 Posizione baricentro trebbiatrice con elemento di ingresso	40
Figura 37 Staffe inclinate	41
Figura 38 Dispositivi di chiusura a ginocchiera – montaggio esterno	42
Figura 39 Dispositivo di chiusura in battuta con i manici	43
Figura 40 Dispositivi di chiusura a ginocchiera – montaggio interno.....	44
Figura 41 Maniglie	45

Figura 42 Configurazione manici e maniglie	46
Figura 43 Distribuzione forze per il ribaltamento e geometria	47
Figura 44 Manicotti di fissaggio.....	49
Figura 45 Angolo di inclinazione manici	50
Figura 46 Prima proposta trasporto	51
Figura 47 Guida laterale e manico.....	52
Figura 48 Maniglie ergonomiche in posizione orizzontale	53
Figura 49 Manici fuoriusciti per il trasporto	54
Figura 50 Manici rientrati.....	55
Figura 51 Trasporto con manichino in scala - vista 1.....	56
Figura 52 Trasporto con manichino in scala - vista 2.....	56
Figura 53 Configurazione: a riposo	57
Figura 54 Configurazione: trasporto	57
Figura 55 Molla con nottolino	58
Figura 56 Sezione manico con molla con nottolino	59
Figura 57 Configurazione di riposo.....	60
Figura 58 Configurazione per il trasporto	60
Figura 59 Manico con forza F applicata sull'estremità della maniglia.....	61
Figura 60 Geometria manico e sezione	62
Figura 61 Manico soggetto a forza F e momento torcente M_t'	63
Figura 62 Reazioni vincolari	63
Figura 63 Analisi degli sforzi	64
Figura 64 Andamento del momento flettente.....	65
Figura 65 Andamento del momento torcente	65
Figura 66 Sezione più sollecitata.....	66
Figura 67 Trave a sbalzo	68
Figura 68 Andamento della freccia	68
Figura 69 Rete di plastica sostituita.....	71
Figura 70 Tramoggia per caricamento grano da pulire	72
Figura 71 Risultati test pulitura: paglia correttamente depositata sulla griglia	73
Figura 72 Azienda agricola Salerin di Demonte	74
Figura 73 Spighe di grano recuperate.....	75
Figura 74 Prova trebbiatura - pulitura senza controbattitore.....	76
Figura 75 Prova trebbiatura - pulitura con controbattitore	77

9 Riferimenti

- Cianni, R. (s.d.). *Storia della Trebbiatrice*. Tratto da <http://trattoridecapocapiacentini.it>
- FAO Agriculture and Consumer Protection Department (AG). (s.d.). *Grain storage techniques - Evolution and trends in developing countries*. Tratto da <http://www.fao.org/docrep/t1838e/T1838E0p.htm>
- Scheuermeier, P. (1980). *Il lavoro dei contadini*. Milano: Longanesi&C.
- Sick AG. (s.d.). *Linee guida per la sicurezza dei macchinari*.