



UNIVERSITA' DELLA CALABRIA

Dipartimento di Ingegneria Meccanica Energetica e Gestionale

Scuola di Dottorato

Pitagora

Indirizzo

Ingegneria Meccanica

CICLO

XXVII

TITOLO TESI

Impianto pilota per estrazione automatica di fibra di ginestra

Settore Scientifico Disciplinare Ing-Ind/13

Direttore: Ch.mo Prof. Leonardo Pagnotta

Supervisore: Ch.mo Prof. Guido Danieli

Controrelatore: Ch.mo Prof. Giuseppe Chidichimo

Dottorando: Dott. Pasquale Francesco Greco

*Alla mia famiglia e a Vanessa, grazie ai quali sono la persona che sono e ai quali
posso dire solo un sincero grazie*

Ringraziamenti

Desidero ricordare tutti coloro che mi hanno aiutato nella realizzazione di questa tesi di dottorato con suggerimenti, critiche ed osservazioni: a loro va la mia gratitudine.

Ringrazio anzitutto il professor Guido Danieli, Relatore, ed il professor Giuseppe Chidichimo, Controrelatore: senza il loro supporto e la loro guida sapiente questa tesi non esisterebbe.

Proseguo con i miei colleghi, in particolare il Dottor Gianluca La Greca, il Dottor Gabriele Larocca, l'Ingegnere Basilio Sinopoli, il Tecnico di Laboratorio Attilio Casati, il Dottor Sebastiano Meduri, l'Ingegnere Diego Pulice e il Tecnico di Laboratorio Renato Bentrovato che hanno saputo aiutarmi in questo progetto.

Vorrei infine ringraziare le persone a me più care: i miei amici, la mia famiglia ed infine la mia fidanzata, a cui questo lavoro è dedicato.

Indice

Introduzione	1
1 Primo capitolo	2
1.1 Cenni storici sull'utilizzo della ginestra	2
1.2 Biologia e morfologia	2
1.3 Lavorazione attuale delle ginestre	4
1.3.1 Raccolta	4
1.3.2 Macerazione	6
1.3.2.1 Tecniche artigianali	6
1.3.2.2 Tecniche industriali	7
1.3.3 Stigliatura e pettinatura	9
1.4 Caratteristiche della fibra e applicazioni	9
1.4.1 Prodotti tessili realizzabili con filati di ginestra	10
1.4.2 Sottoprodotti della lavorazione	11
1.4.3 Sostenibilità delle coltivazioni di ginestra	11
1.4.4 La ginestra e il settore tessile	12
1.4.5 La ginestra e il campo automobilistico	12
2 Secondo capitolo	14
2.1 Generalità sull'impianto	14
2.2 Barre porta ginestre	17
2.3 Sistema di movimentazione delle barre porta ginestre	21
2.4 Prima stazione	28
2.5 Vasca di macerazione	29
2.5.1 Seconda stazione	32
2.5.2 Terza stazione	34
2.6 Quarta stazione	40
2.7 Quinta stazione	44
2.8 Sesta stazione	45

3	Terzo capitolo	54
3.1	La linea di comunicazione	55
3.2	Sistema di sollevamento e trasporto	56
3.3	Master del sistema	58
3.4	Prima stazione	60
3.5	Vasca di macerazione	62
3.6	Quarta stazione	62
3.7	Quinta stazione	64
3.8	Sesta stazione	68
3.9	Software di controllo	69
4	Quarto capitolo	72
4.1	Fabbisogno termico dell'impianto	72
4.1.1	Dispersioni termiche della vasca di macerazione	72
4.2	Produzione energetica	74
4.2.1	Combustibile e fluido termo-vettore	74
4.2.2	Caldaia, bruciatore e linea di alimentazione combustibile	75
4.2.3	Centrale termica	78
4.2.4	Linea di alimentazione del combustibile	79
4.2.5	Il camino	80
4.3	Sezione di scambio termico	80
4.4	Descrizione del circuito	83
4.4.1	Tubazioni ed isolamento	84
4.4.2	Modalità di funzionamento	86
	Conclusioni	89
	Bibliografia	92

Elenco delle figure

1.1	Albero di ginestra	3
1.2	Morfologia della ginestra	5
1.3	Vermene di Ginestra	6
1.4	Cottura delle vermene	7
1.5	Ginestrificio anni '40	8
1.6	Tessuti realizzati con fibre di ginestra	13
2.1	Impianto di estrazione completo	15
2.2	Modello CAD dell'intero impianto	16
2.3	La barra porta ginestre	17
2.4	Prima versione di barra porta ginestre	18
2.5	Seconda versione della barra porta ginestre - CAD e foto	18
2.6	Sistema di sgancio della seconda versione della barra porta ginestra	19
2.7	Scheletro della seconda versione di barra porta ginestre	21
2.8	Terza versione della barra porta ginestre	22
2.9	Molle di compressione della barra porta ginestre	22
2.10	Chiusura del nuovo sportello	23
2.11	Binario sospeso	23
2.12	Catena di movimentazione dei paranchi	24
2.13	Paranco di posizionamento	24
2.14	Finecorsa di un paranco	25
2.15	Raccogli cavo dei paranchi	25
2.16	Contatto rotante	26
2.17	Modello precedente della pinza	27
2.18	Rotismo della prima versione della pinza	27
2.19	Modello odierno della pinza	28
2.20	Prima stazione	29
2.21	Inviti laterali della prima stazione	30
2.22	Sistema di chiusura con madrevite della prima stazione	30
2.23	Ruota di chiusura della prima stazione	31
2.24	Vasca di macerazione	32

2.25	Scambiatore termico - Vasca di macerazione	33
2.26	Sistema di trasporto - Vasca di macerazione	33
2.27	Seconda stazione - prima versione	35
2.28	Seconda stazione con alimentatore di sbarre	36
2.29	Seconda stazione - terza versione	37
2.30	Seconda stazione - quarta versione	37
2.31	Seconda stazione - quinta versione	38
2.32	Sistema di trasmissione dei rulli	38
2.33	Terza stazione	39
2.34	Motore trifase della terza stazione	39
2.35	Spremitura delle ginestre	40
2.36	Vasca di lavaggio	41
2.37	Cella di carico della quarta stazione	41
2.38	Nebulizzatore e paratie della quarta stazione	42
2.39	Primo filtro	42
2.40	Cisterna di raccolta	43
2.41	Filtri micrometrici	43
2.42	Spazzole di estrazione	44
2.43	Ugelli a lama della quinta stazione	45
2.44	Quinta stazione	46
2.45	Nastro trasportatore	47
2.46	Pompa chimica	47
2.47	Vasca di alimentazione	48
2.48	Tubazioni ad alta pressione	49
2.49	Ciclo di separazione	50
2.50	Maschere di pulizia delle spazzole	51
2.51	Sesta stazione	51
2.52	Finecorsa di azionamento	52
2.53	Primo motorino della sesta stazione	52
2.54	Aste di apertura	53
2.55	Secondo motorino della sesta stazione	53
3.1	Schede elettroniche	55
3.2	Daisy-chain RS485	55
3.3	Canale di comunicazione RS-485	57
3.4	Hardware paranco	58
3.5	Schema di alimentazione dei paranchi	59
3.6	Quadro elettrico della scheda master	60
3.7	Schema logico della prima stazione	61
3.8	Quadro elettrico della prima stazione	63

3.9	Telecomando di controllo	64
3.10	Schema logico della vasca di macerazione (stazioni due e tre)	65
3.11	Quadro elettrico della vasca di macerazione	65
3.12	Schema logico della quarta stazione	66
3.13	Quadro elettrico della quarta e quinta stazione	66
3.14	Schema logico della quinta stazione	67
3.15	Schema logico della sesta stazione	68
3.16	Quadro elettrico della sesta stazione	69
3.17	Interfaccia e codice del software “manuale”	70
3.18	Software “automatico” e di simulazione dell’impianto	71
4.1	Modello semplificato della vasca di macerazione	73
4.2	Caldaia dell’impianto termico	76
4.3	Scelta del bruciatore	77
4.4	Bruciatore BTG 15	78
4.5	Centrale termica	79
4.6	Serbatoio combustibile	80
4.7	Passaggio dal tratto in polietilene ad acciaio zincato	81
4.8	Dispositivi di sicurezza	81
4.9	Linea gas	82
4.10	Camino dell’impianto termico ausiliario	82
4.11	Scambiatore termico	83
4.12	Schema tecnico funzionale	85
4.13	Termomanometri dello scambiatore	85
4.14	Pianta dell’impianto	87

Elenco delle tabelle

1.1	Caratteristiche della fibra di ginestra	10
1.2	Resistenza dei filati a confronto	10
2.1	Tabella di corrosione	20

Introduzione

La tesi di dottorato che si andrà ad illustrare si colloca nell'ambito dell'ingegneria meccanica e più specificatamente nell'area di robotica e automazione. Lo scopo della tesi è la progettazione e realizzazione di un impianto automatizzato per l'estrazione di fibre dalla pianta di ginestra [8, 9]. Queste fibre, infatti, possiedono ottime proprietà fisico-chimiche e si prestano a molteplici applicazioni. Inoltre, si noti come in questi ultimi anni ci sia un interesse crescente nella ricerca di materiali di derivazione naturale e a basso impatto ambientale. I settori di utilizzo di questa fibra spaziano dal settore tessile alla bio-edilizia, dalla cosmetica alla medicina, ma anche nel settore automotive, nella depurazione dai metalli pesanti e in molte altre applicazioni industriali.

Capitolo 1

Primo capitolo

1.1 Cenni storici sull'utilizzo della ginestra

La ginestra (*Spartium junceum* L.) è nota fin dall'antichità per il suo impiego come pianta da fibra. Fu, infatti, adoperata per la produzione di stuoie, corde e manufatti vari da Fenici, Cartaginesi, Greci e Romani. In tempi più recenti la fibra di ginestra venne largamente usata durante la seconda guerra mondiale, in conseguenza del regime di autarchia instauratosi dopo l'introduzione di sanzioni economiche che impedivano l'importazione di importanti materie prime come per esempio le fibre di juta, fondamentali per la produzione di tele da imballo e sacchetti. In questo contesto storico, si scelse di utilizzare fibre di ginestra sia per l'elevata disponibilità di piante spontanee (si stima che ci fossero circa 300.000 ettari di ginestra), sia per le caratteristiche della sua fibra che la rendevano un ottimo sostituto della juta. Così durante questo periodo, il governo italiano creò diverse iniziative atte a favorire lo sfruttamento dei campi di ginestra esistenti e la realizzazione di nuovi impianti [13]. Alla fine della guerra riprese l'importazione di fibre vegetali tropicali, ed essendo esse più facili da lavorare, la ginestra come pianta tessile passò in secondo piano fino ad essere quasi del tutto abbandonata.

Ad oggi, in Italia, la ginestra è utilizzata come pianta tessile solo in piccoli paesi di origine Albanese della Basilicata (S. Paolo Albanese, S. Costantino Albanese) e della Calabria (Vaccarizzo Albanese, Falconara Albanese) dove si utilizza un metodo artigianale tipico dell'Albania meridionale, attraverso cui si ottengono tessuti di particolare bellezza [13].

1.2 Biologia e morfologia

Esistono diverse varietà di ginestra e fanno tutte parte della famiglia delle Leguminose. Queste piante vengono anche classificate come Papilionacee a causa della struttura dei fiori che ricordano una farfalla (infatti papilionis in latino vuol dire



Figura 1.1: Albero di ginestra

farfalla). In Italia esistono all'incirca 20 specie di ginestra, ma tra di esse la più utilizzata nel settore tessile è la *Spartium junceum* a causa della sua maggiore resistenza e per le sue fibre di qualità migliore.

La ginestra *Spartium junceum* è una pianta sempreverde di tipo arbustivo e con un'altezza variabile tra 0,7 e 3 metri. Raggiunta l'altezza massima questa pianta assume un portamento ad alberello di forma rotondeggiante (Figura 1.1) [11].

Morfologicamente la ginestra è costituita da: fusto, foglie, fiori, frutto e apparato radicale (Figura 1.2).

- Il fusto delle piante allo stato spontaneo è legnoso, cilindrico, contorto, molto ramificato, di colore marrone chiaro con presenza di fenditure longitudinali di colorazione più scura. Le ramificazioni nel primo anno di formazione sono dette "vermene" e rappresentano la fonte principale per l'estrazione della fibra. Sono giunchiformi, di colore verde intenso, comprimibili ma tenaci, di sezione rotondeggiante, ascendenti con inserzione sparsa sul fusto. Le ramificazioni più vecchie non sono adatte all'estrazione della fibra poiché la corteccia è troppo legnosa.
- Le foglie sono caduche, semplici, distanziate tra loro e rade; glabre, di un verde più intenso sulla pagina superiore, dotate di tricomi nella pagina inferiore. La

forma va da obovato-oblunga a lineare con il margine intero. Possono essere sessili o con breve peduncolo (3-5 per 20-25 mm).

- I fiori sono ermafroditi, riuniti in racemi, grandi, posti all'estremità delle vermene, con corolla giallo-dorata munita di vessillo più lungo degli altri petali. La corolla è di 2-2,5 cm con 5 petali e con il vessillo grande, i due laterali liberi e i due basali a formare la carena, anch'essi liberi ma aderenti. 10 stami di cui 9 saldati tra loro e 1 libero (stami diadelfi). L'ovario supero ha un solo stigma.
- Il frutto è un legume appiattito, allungato, deiscente, nero o marrone scuro a maturità, leggermente falciforme, lungo 50-80 mm e largo 6-7 mm. All'inizio è leggermente pubescente e poi diviene glabro. Ogni legume contiene dai 10 ai 18 semi ovoidali, lucidi e compressi il cui peso medio è compreso tra i 12,7 mg e 13,2 mg. Il colore dei semi è marrone-rossiccio. Il seme può conservarsi per diversi anni, in locali adatti. L'involucro è duro.
- Apparato radicale è molto sviluppato di tipo fittonante [11].

1.3 Lavorazione attuale delle ginestre

1.3.1 Raccolta

I rami utilizzati per l'estrazione della fibra sono le vermene (Figura 1.3). Per vermena si intendono i rami giunchiformi di un anno di età, privi o quasi di ramificazioni secondarie, molto teneri, emessi da ceppaia oppure da un ramo di due o più anni. Maggiori sono la lunghezza (da 50 cm a 1,50 m) e il calibro delle vermene, più abbondante e pregevole è la fibra in essa contenuta e la filaccia che da essa si può ricavare. La dimensione delle vermene dipende da fattori fisici e ambientali, tra i quali:

- Latitudine, altitudine e giacitura del terreno.
- Piante in buona salute e non molto vecchie oppure che abbiano subito uno svecchiamento con tagli di potatura.
- Irradiazione solare ottimale.
- Tagli eseguiti appena dopo la maturazione dei baccelli.

Per tali motivi, per ottenere una fibra di buona qualità, la raccolta deve essere fatta da fine luglio all'inizio di settembre. Nel passato la raccolta era manuale, ma per uno sfruttamento di tipo industriale, occorre prevedere una raccolta meccanica in campi coltivati uniformemente. La tradizione artigianale insegna, poi, che la potatura vicino al suolo favorisce la produzione di vermene più lunghe, meno ramificate e di calibro



Figura 1.2: Morfologia della ginestra



Figura 1.3: Vermene di Ginestra

più grosso, il che è auspicabile per ricavarne una fibra di qualità ottimale. In più, deve essere specificato che se le piante utilizzate derivano da una coltura da seme, il taglio delle vermene dovrà essere eseguito non prima del secondo anno dalla semina. Una raccolta di rami di ginestra eseguita con cura, non compromette né l'esistenza della pianta né la stabilità del suolo, ed è quindi una utilizzazione sostenibile e poco sfruttatrice. La raccolta può essere annuale e, in passato, veniva fatto un anno di sospensione ogni cinque anni [11].

1.3.2 Macerazione

La macerazione è una fase fondamentale del processo, in quanto da questa pratica avviene la separazione della fibra corticale dalla vermena. Nel corso degli anni sono state adottate diverse strategie di macerazione.

1.3.2.1 Tecniche artigianali

Il processo di macerazione può essere realizzato a partire da vermene fresche oppure essiccate al sole per circa 8-12 giorni in strati di 10-12 cm di spessore. Nel tempo sono stati sviluppati diversi metodi di macerazione, la maggior parte dei quali è stata abbandonata anche dalle poche aziende familiari ancora attive. Tra questi si possono ricordare:

- Macerazione a terra: metodo diffuso prevalentemente nella regione della Linguadoca in Francia (1940). Esso consisteva nel sottoporre i fascetti di vermene disseccate ad una battitura preliminare seguita da un'immersione in acqua per



Figura 1.4: Cottura delle vermene

4 ore e successivamente ad una disposizione in fosse scavate nel terreno per un periodo di circa 89 giorni, in cui le vermene venivano inumidite frequentemente.

- Macerazione ad acqua: Era praticata in Toscana. Le vermene disseccate erano immerse o in acqua fredda per di 79 giorni o in acqua a 29 °C per circa 40-50 ore.
- Macerazione in acque termali: Si sommergono i fascetti in acqua calda corrente o a riposo [11]. La durata di trattamento oscilla tra le 40-50 ore fino a pochi giorni con una temperatura di 29 °C.
- Macerazione ad acqua previa cottura: Usata prevalentemente in Basilicata e Calabria, utilizzando vermene fresche ripiegate a mazzetti da immettere in acqua bollente per circa mezz'ora o almeno fino a quando le vermene non perdono la colorazione verde e presentano la cortecchia sfaldata. Le vermene sono poi trasferite in corsi d'acqua dove un'immersione per un periodo variabile da 4 a 10 giorni, a seconda della temperatura dell'acqua, consente di completare il processo di macerazione (Figura 1.4) [11].

1.3.2.2 Tecniche industriali

Negli anni '40, in conseguenza al grande interesse rivolto alla ginestra come pianta da fibra, furono realizzati degli impianti industriali di macerazione e stigliatura



Figura 1.5: Ginestificio anni '40

(Figura 1.5). I due metodi principali dell'epoca erano:

- **Macerazione chimica-fisica:** Per la fase di cottura, con una soluzione di soda caustica dal 4% al 7,5% del peso della ginestra posta nel macero (Carbonato di calcio e carbonato di soda nella proporzione del 45% del primo e 11,5% del secondo), si ricorreva ad una linea di vasche collegate in serie con un sistema di dosaggio della soluzione alcalina, un generatore di calore, per portare la soluzione a temperatura di ebollizione, e un sistema di scarico della soluzione esausta dei residui densi della cottura. Le fasi di carico e scarico delle vasche erano realizzate meccanicamente utilizzando gabbie forate cariche di vermene. Per 20 kg di vermene secche erano necessari 100 litri di acqua. Dopo la cottura, i fasci di ginestra erano accuratamente lavati e manipolati in recipienti al fine di separare la corteccia dal legno [11].
- **Macerazione microbiologica:** Questa avviene in vasche in cui sono introdotti dei batteri degradatori che influenzano sia l'andamento del processo sia la qualità del prodotto finale. Durante la prima fase del processo, i composti solubili presenti negli steli (zuccheri, sostanze azotate ecc.) passano in soluzione, permettendo lo sviluppo di una comunità batterica. La penetrazione dell'acqua all'interno degli steli causa il distacco della corteccia, consentendo l'ingresso dei batteri macerativi che demoliscono le sostanze pectiche cementanti le fibre [11].

1.3.3 Stigliatura e pettinatura

Le operazioni successive alla macerazione erano la stigliatura e la pettinatura. Queste venivano eseguite a mano nelle produzioni artigianali, mentre in una concezione industriale gli stessi step andranno eseguiti meccanicamente [13]:

- Sfibatura dei tessuti corticali dal legno sottostante;
- Battitura in acqua corrente dei fascetti di corteccia per favorire il distacco della cuticola e dell'epidermide fino a quando la fibra non acquisiva un colore perfettamente bianco;
- Lavaggio ed essiccazione al sole;
- Spatulatura manuale per allontanare le parti più grossolane (stoppa) da quelle più fini (manna);
- Cardatura con pettini rudimentali per ottenere una fibra idonea a tessuti di una certa finezza.
- Pettinatura del prodotto attraverso una serie di pettini che provvedono alla pulitura totale da eventuali residui legnosi, oltre che ad affinare ed omogeneizzare la fibra stessa.

Il prodotto che esce dalla pettinatura viene stoccato in attesa di essere consegnato al filatore che a sua volta lo darà al tessitore per poi arrivare al confezionatore (stilista) e in fine consumatore finale [11].

1.4 Caratteristiche della fibra e applicazioni

Sotto l'epidermide della corteccia di ginestra si sviluppa il tessuto parenchimatico corticale, in cui si trovano numerosi fasci di fibre. Nella ginestra le fibre che costituiscono i fasci sono legate insieme da sostanze pectiche¹, questo spiega le complesse esigenze della macerazione e la sua durata. La superficie delle fibre è liscia e solo talvolta presenta delle striature longitudinali. Nel complesso la fibra assomiglia a quella del lino anche se molto più ruvida. In più la fibra di ginestra possiede molte caratteristiche interessanti, come:

- Ottima resistenza all'acqua e non si altera anche dopo un lungo periodo di immersione.
- Eccellente resistenza in acqua marina, infatti era molto utilizzata per reti, cordami, etc.

¹Le pectine formano dei colloidi gelatinosi, abbondanti nella parete cellulare di frutta e verdura. La pectina cementifica lo spazio tra una cellula e l'altra, tenendole unite.

Tabella 1.1: Caratteristiche della fibra di ginestra

Diametro (μm)	Lunghezza (mm)	Sollecitazione massima (MPa)	Deformazione %	Modulo elastico (GPa)	Densità (Kg/m^3)	Resistenza a trazione (Kg)
50 - 80	5 - 10	400 - 800	2,5 - 4,5	15 - 30	1250	9,5 (secco) - 10,5 (umido)

Tabella 1.2: Resistenza dei filati a confronto

Specie	Carico di rottura (Kg)	
	Secco	Umido
Canapa	10	19
Ginestra	9,5	10,5
Lino	7	9

- Molto resistente alla luce, questo è risultato da prove di irraggiamento con raggi ultravioletti.
- Facilmente colorabile.
- Forte potere di imbibizione.
- Basso peso specifico (si calcola che il peso specifico sia 7/10 di quello del lino) [11].

Per un uso tessile della fibra è importante sottolineare una ripresa di umidità variabile da 7,5% a 12,6%, buone caratteristiche di assorbimento e di resistenza agli alcali. Inoltre sopporta bene il candeggio a base di ipoclorito e si mercerizza altrettanto bene, acquisendo in tal modo, maggiore lucentezza [13]. La fibra è elastica e molto resistente alla trazione, in più possiede un buon grado di filabilità. I settori di impiego sono gli stessi di quelli della lana, juta, lino e fibre di cocco.

La resistenza dei filati di ginestra è decisamente buona se confrontata con la canapa e con il lino (Tabella 1.2). Infatti, la resistenza dei filati di ginestra è minore del 5% di quelli di canapa mentre è superiore del 26% di quelli di lino. Può essere utilizzata per la produzione di tessuti misti in varie proporzioni con cotone ed altre fibre naturali. Inoltre le caratteristiche della fibra di ginestra sono ritenute valide anche per la produzione di pasta di cellulosa [11].

1.4.1 Prodotti tessili realizzabili con filati di ginestra

La Ginestra, essendo stata utilizzata nel periodo di autarchia come sostitutivo della juta, è stata impiegata prevalentemente per la creazione di sacchi, tappeti,

borse, cinture, cappelli, tendaggi e cordame. Inoltre, in tempi recenti, è maturato un certo interesse nel mondo della moda per l'utilizzo di fibre di ginestra per la realizzazione di abiti e pantaloni o altri capi di abbigliamento. Oltre al settore tessile e a quello cartario, le fibre estratte dalle vermene possono essere utilizzate per la realizzazione di pannelli isolanti nel settore edile grazie alle loro proprietà di isolamento acustico e termico. In più, visto l'elevata area superficiale e polarità di queste fibre, si riescono a produrre dei filtri capaci di assorbire ioni di metalli pesanti, oli e sostanze volatili, trovando così un possibile impiego nel trattamento delle acque potabili, degli scarichi industriali e nella purificazione di ambienti [11]. Le fibre possono, infine, essere utilizzate in materiali compositi a matrice polimerica, divenendo così una possibile alternativa ecologica alle fibre di vetro per rinforzare alcuni materiali plastici [11].

1.4.2 Sottoprodotti della lavorazione

Dai procedimenti impiegati per separare la fibra dalle vermene si possono ottenere vari sottoprodotti utilizzabili in molteplici modi differenti, quali:

- Utilizzo nell'industria cartaria attraverso la produzione di pasta di cellulosa.
- Utilizzo nei mangimi animali tramite l'estrazione di proteine e zuccheri.
- Utilizzo nel rimboschimento: la Ginestra odorosa, per le sue caratteristiche ecologiche e di portamento, è utilizzata nei rimboschimenti di zone degradate o nude.
- Utilizzo agrario: il suo stelo era utilizzato in campagna come tutore in vitigni e campi di pomodoro.
- Consolidamento dei pendii franosi: dato l'apparato radicale molto sviluppato, la ginestra trova impiego nel consolidare dune, pendii e scarpate (molto utilizzata nelle scarpate autostradali e ferroviarie).
- Utilizzo nell'ornamento dei giardini: migliora il terreno essendo essa una Leguminosa, contribuendo ad arricchirlo di azoto. In più possiede fiori abbondanti, belli, profumati e molto ricercati dalle api per il loro ottimo nettare. [11].

1.4.3 Sostenibilità delle coltivazioni di ginestra

La ginestra è una pianta spontanea che influenza positivamente la stabilità dei suoli accidentati, aridi e ghiaiosi. Una coltivazione estensiva di ginestre presenta ottimi vantaggi dal punto di vista economico, gestionale ed ambientale:

- Non sono richieste strutture o armature per una crescita corretta.

- Non occorre utilizzare nessun fertilizzante.
- Facilmente seminabile, vista la sua natura spontanea.
- Arricchimento del suolo sia da un punto di vista microbiologico (effetto rizobio) che chimico (fissazione dell'azoto atmosferico).
- Buone facoltà di assorbimento di gas serra.
- Il notevole apparato radicale fascicolato, la profondità delle sue radici e la fitta copertura vegetale, fanno della ginestra una specie botanica importante ai fini dei processi di controllo dei dissesti idrogeologici e di desertificazione.
- Adattabilità a molteplici tipi di terreno da quelli salmastri a quelli argillosi, pur prediligendo terreni alcalini.
- Buone capacità di crescita anche in condizioni di scarsa disponibilità di acqua.

Da sottolineare anche i ridotti pericoli di incendio delle colture di ginestra, grazie alla corta rotazione dei ginestreti, dovuta al taglio annuale o biennale delle piante, che porta alla produzione sul campo di ceppaie o piante giovani e quindi con una bassa probabilità di incendiarsi (e anche in caso di incendio si riprodurrebbero spontaneamente in un paio di mesi) [11].

Per finire è importante far notare come gli scarti di lavorazione delle ginestre possano essere usate negli impianti di biomassa per la produzione di corrente elettrica. Infatti grazie al grande interesse da parte della Comunità Europea verso fonti di energia alternativa, sono state rivalutate alcune colture prima considerate infestanti, tra queste la ginestra, per la loro capacità di crescere in condizioni estreme, in terreni aridi e improduttivi.

1.4.4 La ginestra e il settore tessile

In questi ultimi anni sta aumentando, in molti settori, la richiesta di materiali naturali, ecosostenibili, riciclabili e sicuri per la salute e il benessere personale. Nel settore dell'abbigliamento, la produzione di fibre naturali rinnovabili offre nuove ed importanti opportunità verso questo tipo di richieste sempre più crescenti. È auspicabile che i marchi di moda, dopo la realizzazione di una filiera tessile con l'utilizzo di fibre di ginestra, si interessino a una diffusa attività di comunicazione per sensibilizzare il consumatore all'utilizzo di questo nuovo tipo di materiale [12].

1.4.5 La ginestra e il campo automobilistico

Un altro settore molto interessante per l'utilizzo di fibre di ginestra è quello automobilistico. Anche il Centro Ricerche della Fiat ha effettuato studi di plance e sportelli realizzati con una combinazione di plastiche e fibre di ginestra. Le fibre



Figura 1.6: Tessuti realizzati con fibre di ginestra

delle vermene, infatti, sono un ottimo sostituto della fibra di vetro, materiale non riciclabile e tossico se inalato. Inoltre, le fibre di ginestra sono poco infiammabili, e in caso d'incendio della vettura riduce la tossicità delle esalazioni della combustione.

Per di più Audi, Mercedes e BMW utilizzano già ampiamente di fibre di lino, pianta autoctona del Nord-Europa, per la realizzazione di parti delle loro vetture. Dunque l'utilizzo di tali fibre rappresenta un elemento fondamentale per il futuro dell'automotive, tanto che nel 1999 la Commissione Europea ha avviato il progetto "Ecocomp" (di cui l'ultima conference è avvenuta nel 2013, mentre la prossima sarà nel 2015), che coinvolge sia molte case automobilistiche europee, che diverse industrie elettroniche e aerospaziali [7].

Capitolo 2

Secondo capitolo

2.1 Generalità sull'impianto

Ad oggi l'estrazione di fibre vegetali attraverso trattamenti di tipo chimico-fisico o microbiologico è quasi esclusivamente affidato a lavorazioni manuali, ciò rende questa attività costosa e rischiosa per il lavoratore, che molto spesso entra in contatto con sostanze pericolose per la salute. Scopo dell'impianto realizzato (Figura 2.1) è quello di estrarre fibra di ginestra in maniera automatizzata, per ridurre al minimo l'utilizzo di personale, e soprattutto annullare il contatto con sostanze potenzialmente nocive. Per progettare l'impianto, si è partiti dall'analisi della possibile sequenza delle operazioni necessarie per estrarre tre prodotti differenti:

- Le fibre di cellulosa, prodotto principale;
- Le ramificazioni esterne (vermene), che potrebbero essere utilizzate come isolante termico;
- Il tronco centrale, che può essere utilizzato per generare calore.

Si è anche pensato di dividere le diverse operazioni, necessarie per la produzione della fibra, in stazioni di lavorazione fisicamente separate e di evitare che sia usato materiale monouso. Per questo motivo, quasi tutti i componenti sono in acciaio inossidabile, anche per la presenza di sostanze corrosive nel ciclo. Per trasferire le piante da una stazione di lavoro all'altra sono state impiegate delle barre, appositamente progettate per velocizzare le operazioni di aggancio-sgancio delle ginestre. In più per ridurre al minimo il costo del lavoro, soltanto nella prima stazione sarà necessario l'intervento di un operatore, mentre tutte le rimanenti saranno automatizzate. Inoltre le stazioni sono state posizionate in una sorta di linea di montaggio a circuito chiuso, che parte dalla stazione di carico e termina con la stazione di separazione delle piante dalle barre, per riavviare il ciclo immediatamente dopo (Figura 2.2). Questa catena di montaggio, deve lasciare le ginestre, tenute sospese dalle barre, a macerare



Figura 2.1: Impianto di estrazione completo

per qualche tempo in una vasca piuttosto lunga, tenuta in temperatura e contenente sostanze chimiche opportune, nella quale le barre vengono spostate da un'estremità all'altra, ove sono raccolte con ginestre già macerate. Dato che le distanze tra le stazioni di lavoro non sono necessariamente costanti, è stata fatta inizialmente l'ipotesi che una catena classica non avrebbe funzionato. Tuttavia ciò avrebbe portato ad un sistema molto più complicato, per cui si è poi tornati per semplicità ad un sistema egualmente spaziato, in cui a guidare i trasferimenti è una semplice catena. Inoltre, le ginestre dovevano essere alzate ed abbassate continuamente, così come era necessario sganciare le barre all'ingresso della vasca di macerazione, per poi recuperarle all'uscita della stessa. Da qui l'idea di utilizzare un sistema viaggiante dotato di paranco ed in grado di agganciare e sganciare le barre porta ginestre.

In figura 2.2 vengono specificate le varie fasi che costituiscono tutte le procedure eseguite dall'impianto, nello specifico:

- Prima stazione (S1): Qui le ginestre vengono caricate da un operatore su barre in acciaio inossidabile.
- Seconda stazione (S2): Essa rappresenta l'ingresso della vasca di macerazione, in cui avverrà la cottura delle piante.
- Terza stazione (S3): Da essa vengono estratte le barre porta ginestre dalla vasca di cottura. In tale stazione, avviene anche una prima spremitura per il recupero di soluzione calda.
- Quarta stazione (S4): Questa stazione si occupa del lavaggio delle ginestre dalla soluzione di cottura, che viene recuperata, filtrata e reimpressa nella vasca di macerazione.
- Quinta stazione (S5): In questa stazione avviene il distacco delle fibre dalle piante di ginestra, attraverso l'utilizzo di getti d'acqua in pressione e spazzole appositamente realizzate.

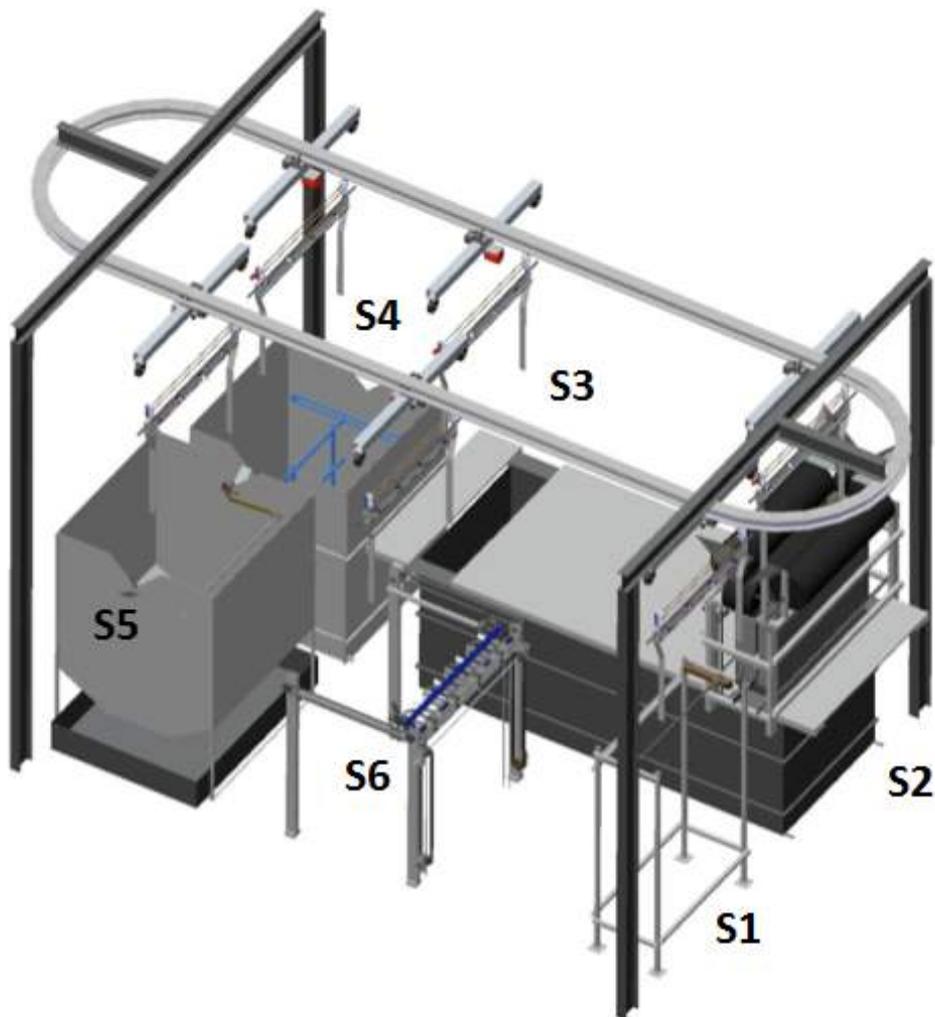


Figura 2.2: Modello CAD dell'intero impianto

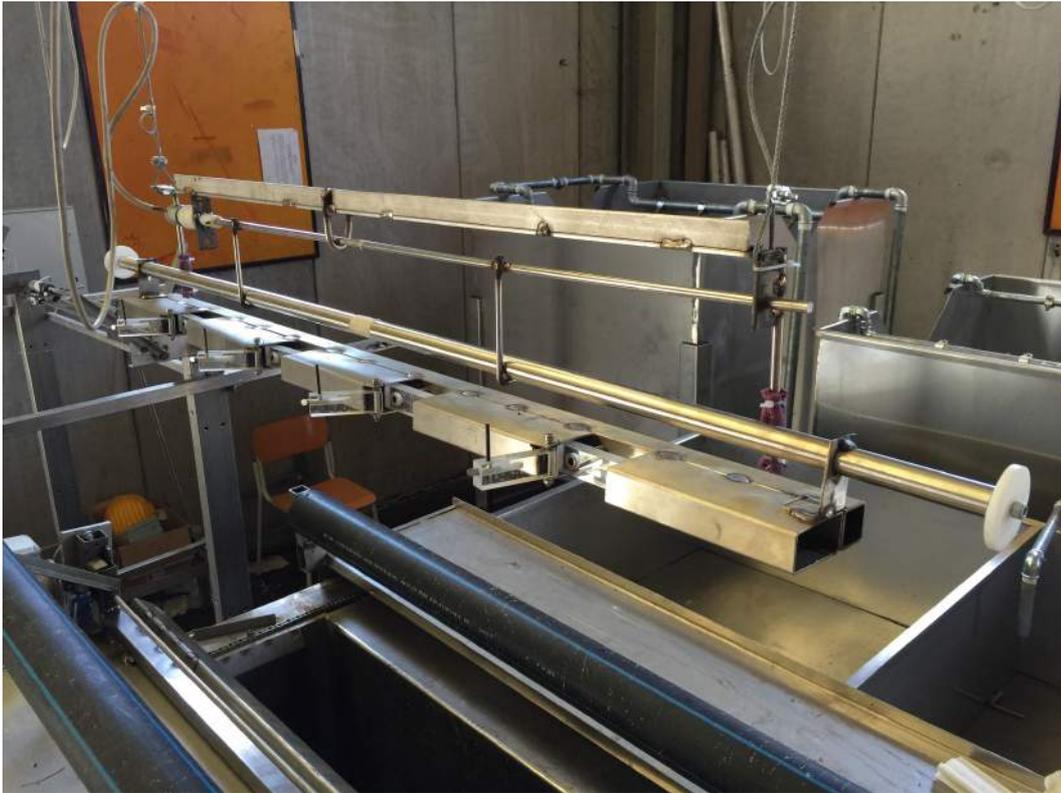


Figura 2.3: La barra porta ginestre

- Sesta stazione (S6): Essa ha il compito di liberare le piante prive di fibre dalle barre porta ginestre.

2.2 Barre porta ginestre

Il primo elemento che si andrà a descrivere è la barra a cui verranno agganciate le piante di ginestra, elemento di base dell'impianto di estrazione (Figura 2.3).

La barra porta ginestre, come molte parti di questo progetto, ha subito un processo di progettazione, test e modifica continuo che ha portato alla versione odierna. La prima versione fu soltanto abbozzata (Figura 2.4) e consisteva in 2 barre capaci di scorrere una sull'altra. Queste avrebbero azionato più sistemi biella-manovella che avrebbero chiuso una serie di morse incernierate su una delle due barre.

Nel tentativo di semplificare il meccanismo di chiusura e apertura, si passò a una seconda versione della barra (Figura 2.5) che prevedeva quattro morse spinte, tramite delle molle torsionali, contro degli sportellini apribili tramite perni di sgancio (Figura 2.6). Notare la chiusura a scatto di ciascuno dei quattro slot, e come tutti i quattro slot possono essere aperti contemporaneamente agendo sui perni di rilascio, posti sul lato superiore destro di ogni slot, come verrà meglio chiarito nel seguito. Le quattro morse permettono alla barra di afferrare quattro piante di ginestra

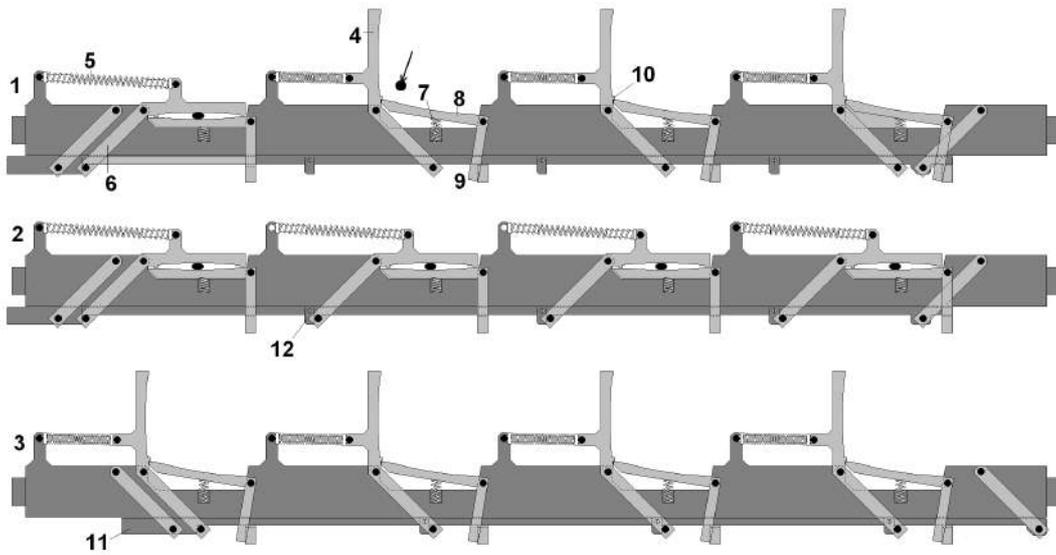


Figura 2.4: Prima versione di barra porta ginestre

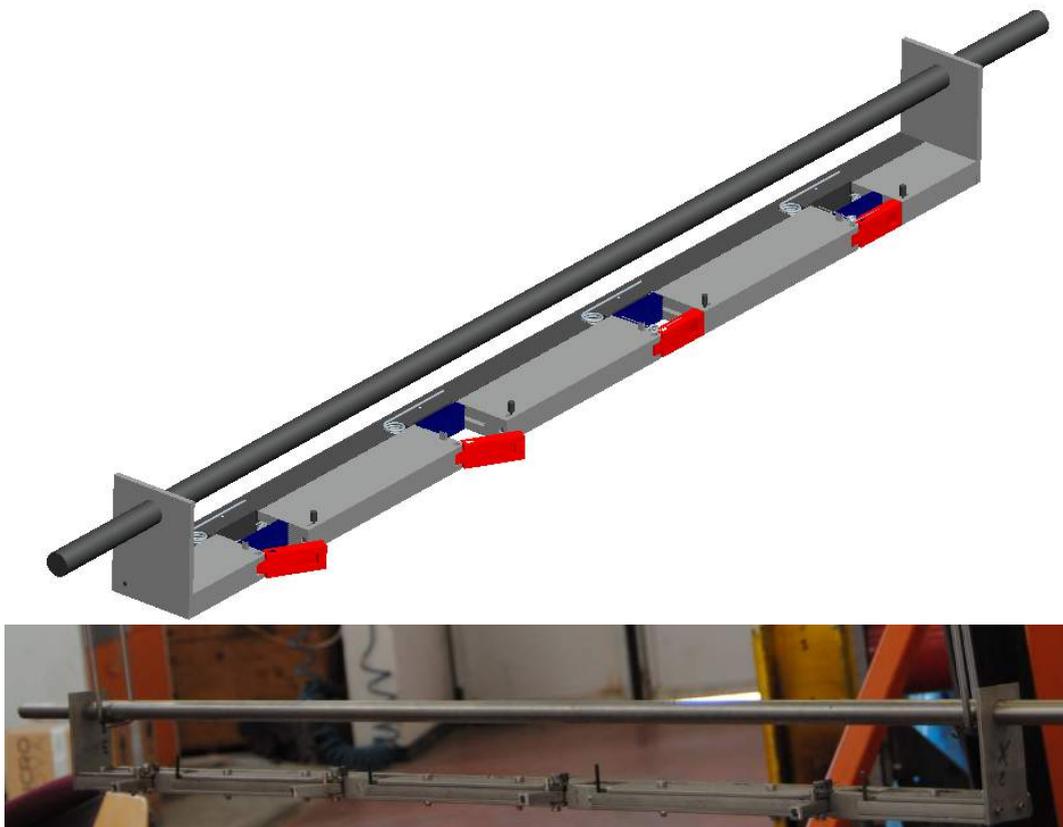


Figura 2.5: Seconda versione della barra porta ginestre - CAD e foto

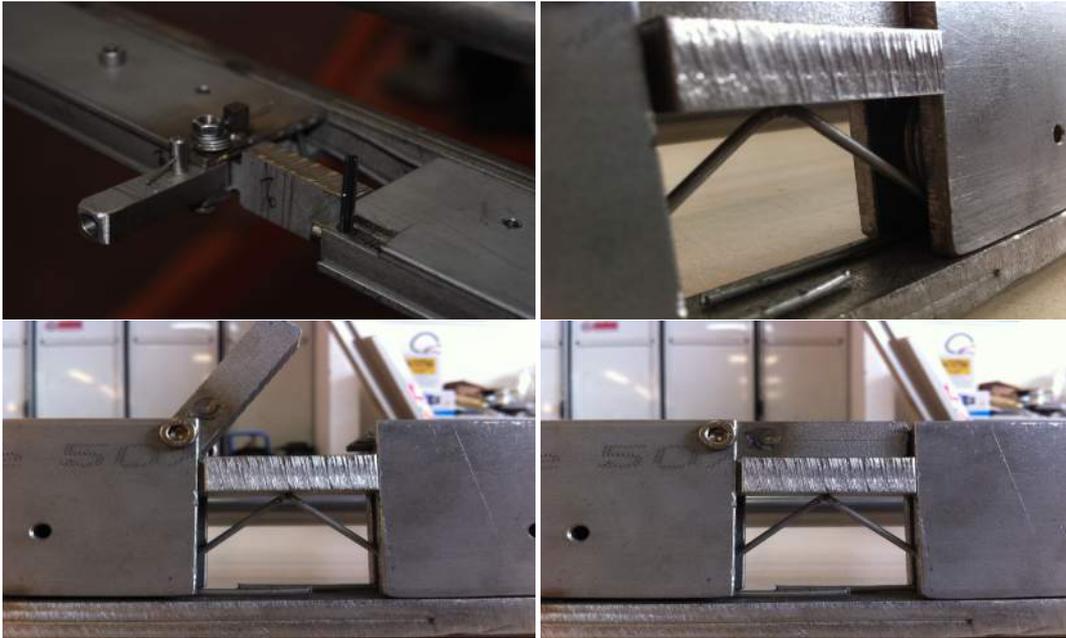


Figura 2.6: Sistema di sgancio della seconda versione della barra porta ginestra

Questa versione della barra fu concepita e realizzata per poter essere totalmente smontabile e per resistere ad immersione con soluzione al 5% di soda caustica, per cui si pensò di costruire l'intera struttura utilizzando acciaio INOX AISI 316 che offre una ottima resistenza a tali agenti corrosivi (Tabella 2.1).

La struttura era composta da una base con sezione 10x20 mm e lunga 1150 mm, a questa andavano avvitate 4 anime centrali con geometrie riportata in figura (Figura 2.7). Ai lati di ciascuna anima venivano fissate, tramite delle viti, delle piastre che possedevano tre funzioni: sedi vincolate per le molle torsionali, binari per le morse di spinta e inoltre permettevano di imperniare gli sportelli di chiusura. Il sistema così concepito permetteva di serrare nei quattro slot le piante di ginestra tra gli sportelli e le morse spinte dalle molle torsionali.

Tramite successive sperimentazioni, si constatò che alcune parti della seconda versione della barra porta ginestre erano difficili da lavorare essendo blocchi di acciaio INOX e la struttura complessiva possedeva un peso eccessivo, quindi era necessaria una rivisitazione della stessa.

Si arrivò quindi all'attuale terza versione della barra porta ginestre, che sacrificando la possibilità di essere smontata nelle sue sotto parti, si presenta molto più leggera, facile da costruire e con costi di lavorazione decisamente minori (Figura 2.8). Questa ultima versione della barra porta ginestre è costruita utilizzando sempre acciaio INOX AISI 316 ma per la sua realizzazione si è deciso di utilizzare dei profilati per ridurre notevolmente il peso e di cambiare le molle torsionali in favore di molle di compressione. Anche questa versione conserva l'idea dei quattro slot e delle morse con sportello ma ne sono stati cambiati elementi essenziali. Per prima cosa si è deciso

		Acciai inox 304 e 321	Acciai inox 316	Acciaio al carbonio	Bronzo	Ghisa
Rame cianuro saturo	E	2	2	5	5	5
Rame cianuro	+20°	3	2	4	4	4
Rame nitrato 5%	+20°	1	1	4	4	4
Rame nitrato 50%	C	2	2	4	4	4
Rame solfato 5%	+20°	2	2	4	4	4
Rame solfato saturo	E	2	2	4	4	5
Resine ecolofonia	Ta	1	1	3	1	3
Salamoia	Ta	2	2	3	2	3
Sale di Epson	Ta	2	2	3	2	3
Saponi	+20°	2	2	2	2	5
Silicato di sodio	Ta	2	2	2	2	2
Soda caustica 5%	+20°	2	2	2	3	1
Soda caustica 20%	E	1	1	2	4	2
Soda caustica 50%	E	2	2	3	4	2
Soda caustica 75%	E	3	3	4	4	2

Legenda

1	Eccellente	Materiali che non subiscono variazioni dimensionali essenziali. La velocità di corrosione è inferiore ad una penetrazione di 0,13 mm per anno.
2	Buono	Materiali che vengono attaccati, ma che sono generalmente prescritti dove un certo grado di corrosione può essere tollerato. Velocità di corrosione 0,126-0,5 mm per anno.
3	Scarsa resistenza	Materiali che normalmente non sono considerati adatti per la maggior parte degli impieghi negli impianti chimici. Velocità di corrosione 0,5-1,26 mm per anno.
4	Non raccomandato	Materiali con velocità di corrosione troppo alta per poter essere presi in considerazione. Velocità di corrosione superiore a 1,26 mm per anno.
5	Mancano informazioni	
E		Ebollizione
C		Caldo
Ta		Temperatura ambiente

Tabella 2.1: Tabella di corrosione

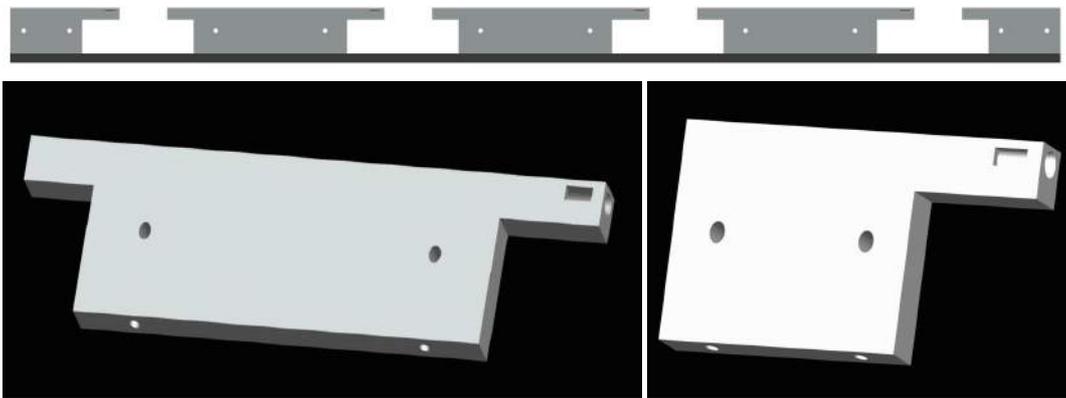


Figura 2.7: Scheletro della seconda versione di barra porta ginestre

di realizzare strutture saldate invece che avvitate, questo perché ci si è resi conto che con la nuova configurazione non aveva senso smontare la struttura e per velocizzare i lavori, visto che nell'impianto sono utilizzate quattordici barre porta ginestre. Altra modifica effettuata è stata la sostituzione delle molle, infatti prima si era deciso di utilizzare delle molle torsionali per dare alle morse una corsa maggiore ma per far ciò si era dovuta costruire una geometria complessa da realizzare. Invece per mantenere la stessa corsa si è usato una base in profilato di acciaio forata in corrispondenza della sede delle molle, per cui le molle una volta compresse penetrano nel profilato e per guidare le molle verticalmente si è deciso di usare dei bulloni anche essi in INOX che garantiscono una corsa lineare (Figura 2.9).

Altra modifica effettuata è stata la rivisitazione del sistema di aggancio. Nel modello precedente, infatti, il perno di chiusura scorreva in una cavità realizzata sull'anima centrale della barra e il perno scorrendo in avanti andava a penetrare il foro nello sportello realizzando così una chiusura sicura. Utilizzando ora dei profilati, per mantenere la stessa idea di chiusura si è pensato di realizzare la sede del perno nello sportello stesso e quest'ultimo spinto da una molla interna va ad incidere sulla superficie superiore del profilato, assicurando così una chiusura parimenti efficace (Figura 2.10). Come si può notare dalle foto, sportelli e morse di questa nuova versione sono state realizzate in plexiglas (che offre una ottima resistenza alla soda caustica fino al 30% e alla temperatura ad 80 °C), questo per semplificare e velocizzare i lavori di realizzazione, ma non si esclude un futuro utilizzo di acciaio INOX anche per questi componenti.

2.3 Sistema di movimentazione delle barre porta ginestre

In questo paragrafo si mostrerà come le barre porta ginestre siano posizionate nelle varie stazioni da sei paranchi muniti di carrello, in grado di scorrere su rotaia e movimentati da una catena in acciaio inox.



Figura 2.8: Terza versione della barra porta ginestre

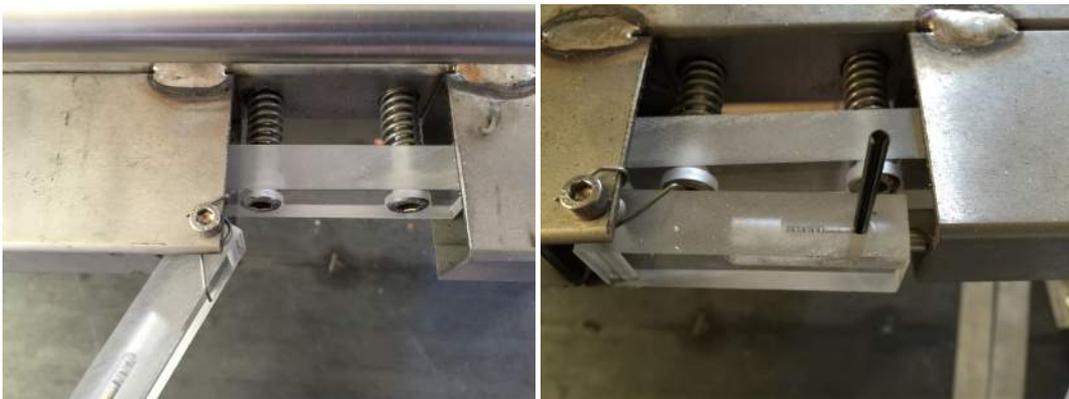


Figura 2.9: Molle di compressione della barra porta ginestre

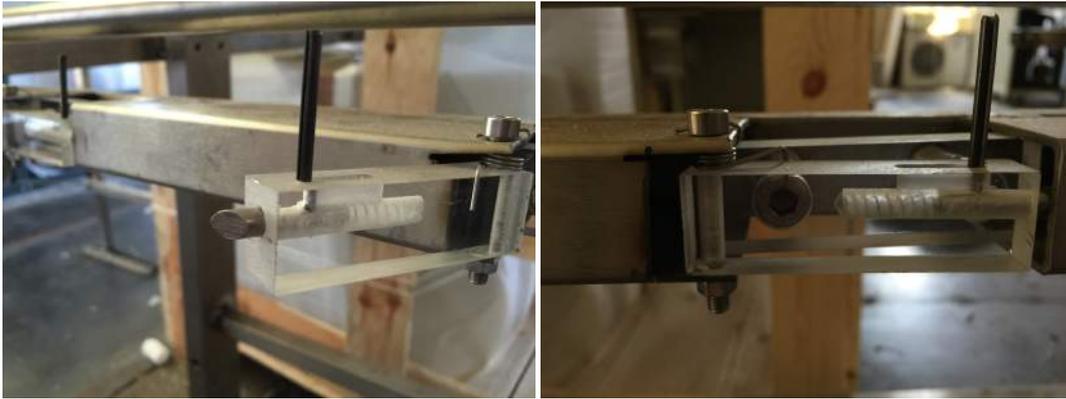


Figura 2.10: Chiusura del nuovo sportello



Figura 2.11: Binario sospeso

La rotaia e la struttura portante che la mantiene in posizione sono state realizzate partendo da delle travi in ferro con profilo a doppio T adeguatamente trattate per resistere agli agenti esterni (Figura 2.11). Sulla rotaia sono montate un motore e una serie di pignoni che movimentano una catena in acciaio INOX che trasmetterà il moto a tutti e sei i paranchi mantenendoli equidistanti tra loro (Figura 2.12).

Ogni singolo paranco è munito di elettronica, appositamente progettata e realizzata, in grado di pilotare una pinza capace di afferrare la barra porta ginestra, per sollevarla da una stazione e adagiarla sulla stazione successiva (Figura 2.13). I paranchi sono anche dotati di finecorsa per bloccare la risalita delle pinze fino a un limite di sicurezza (Figura 2.14) e di raccogli cavo modificato per poter manovrare contemporaneamente due cavi senza pericolo di accavallamento degli stessi (Figura 2.15).

La logica di comando utilizzata è di tipo Master-Slave, dove il Master è un computer posto alla base dell'impianto e i paranchi sono gli Slave. Si osservi come



Figura 2.12: Catena di movimentazione dei paranchi

alimentazione e comandi vengano inviati dal Master agli Slave passando da un contatto rotante posto al centro dell'anello della rotaia (Figura 2.16). Quindi ad ogni step di lavorazione il Master aziona la catena facendo muovere i paranchi da una stazione all'altra e successivamente viene dato il comando agli Slave di azionare le pinze per posizionare correttamente le barre porta ginestre.

Le pinze collegate ai paranchi inizialmente prevedevano una doppia barra leggerissima, composta da un doppio sistema di 5 ruote in Delrin (due di raggio 30 mm, e tre di raggio 15, poste in parallelo ed alle estremità delle barre, in modo che la seconda tra le ruote più grandi, e la terza di quelle più piccole girino in senso opposto, pur



Figura 2.13: Paranco di posizionamento

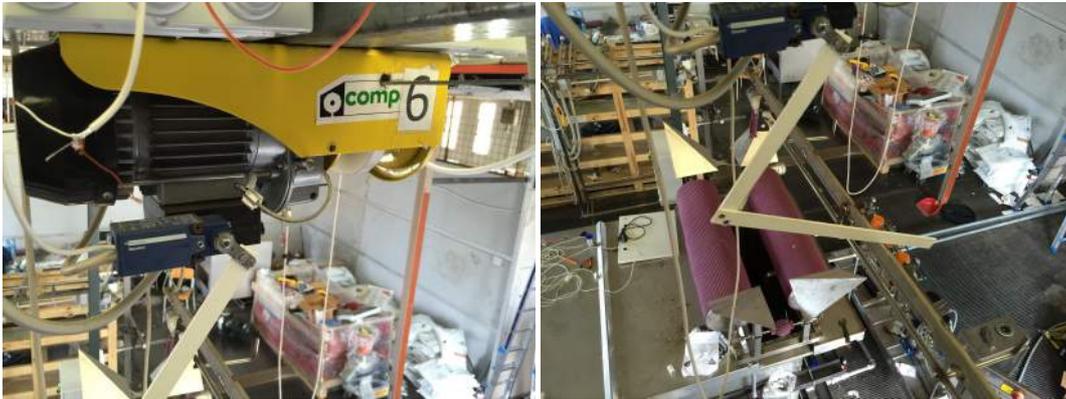


Figura 2.14: Finecorsa di un paranco



Figura 2.15: Raccogli cavo dei paranchi



Figura 2.16: Contatto rotante

comandate dallo stesso motore, posto sulla barra superiore) a cui sono collegate due barrette, piegate a 90° , che afferrano la barra porta ginestre nella porzione centrale (Figura 2.17). Ciò è mostrato in Figura 2.18, in cui sulla destra si notano i profili delle cinque ruote, in nero la prima coppia (20), realizzata in pezzo unico, mentre le altre sono libere di ruotare intorno ai loro assi, con le due ultime (21) e (22) che ruotano dello stesso angolo ma in verso contrario, provocando appunto l'apertura e chiusura delle barrette.

Questo modello di pinza però possedeva una serie di difetti non trascurabili: necessità di registrare un set di ruote di un lato con quello del lato opposto per garantire la stessa apertura e chiusura da entrambi i lati, il motore laterale tendeva a strapparsi durante l'immissione della barra porta ginestre nella seconda stazione, la struttura era abbastanza fragile e necessitavano troppe operazioni in caso di riparazione.

Per tali motivi si è pensato di realizzare la versione odierna della pinza (Figura 2.19) composta da un piatto in acciaio orizzontale e due sezioni laterali verticali in cui, tramite due fori, passa un albero motorizzato. Alla struttura portante sono saldate due barrette e allo stesso modo sull'albero altre due barrette ma con l'estremità inferiore piegate di 90° , tale configurazione permette di agganciare e sganciare la barra porta ginestre azionando il motore laterale. Si osservi, inoltre, come il motore non sia a sbalzo rispetto alla struttura portante e che anzi, questa venga utilizzata



Figura 2.17: Modello precedente della pinza

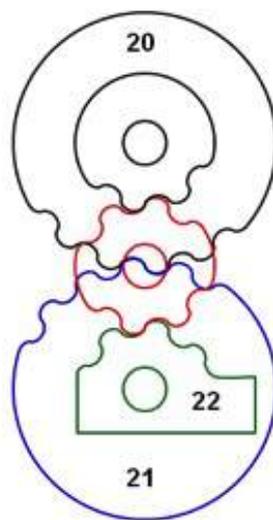


Figura 2.18: Rotismo della prima versione della pinza



Figura 2.19: Modello odierno della pinza

come protezione dello stesso.

2.4 Prima stazione

A questo punto si mostreranno nei prossimi paragrafi il funzionamento meccanico delle sei stazioni, partendo dalla prima che è anche l'unica stazione a necessitare dell'azione di un operatore. La prima stazione è utilizzata per poter caricare di piante le barre porta ginestre in maniera sicura e efficiente da parte di un operatore, che attraverso l'utilizzo di un telecomando, è in grado di far chiudere singolarmente gli sportelli della barra porta piante (Figura 2.20).

La prima stazione è composta da una struttura portante che sostiene la barra porta ginestre nella posizione corretta grazie all'utilizzo di inviti laterali (Figura 2.21) e da un braccio mobile che tramite la spinta di una madrevite riesce a chiudere in sequenza gli sportelli della barra porta piante (Figura 2.22). All'estremità del braccio di spinta vi è una ruota in Delrin, che muovendosi lungo il profilo anteriore della barra porta ginestre, chiude gli sportelli passandovi sopra (Figura 2.23). Quando uno sportello viene chiuso, il braccio di spinta si ferma, tra uno sportello e l'altro, grazie a dei finecorsa. Questo avviene perché si dà all'operatore il tempo necessario per prendere e sistemare correttamente un altro fascio di piante nella barra porta



Figura 2.20: Prima stazione

ginestre. Al termine delle operazioni necessarie per caricare completamente una barra porta ginestre, questa viene sollevata dal paranco mobile e portata sulla seconda stazione, mentre sulla prima viene posta una nuova barra vuota.

2.5 Vasca di macerazione

Seconda e terza stazione rappresentano l'ingresso e l'uscita della vasca di macerazione, mentre la restante parte di essa è coperta ed isolata per disperdere meno calore possibile. Questa è una vasca in acciaio INOX AISI 316 contenente una soluzione di acqua e soda caustica al 5% alla temperatura di 80°C (Figura 2.24). Per portare la soluzione alla temperatura ideale e mantenerla costante, si utilizza uno scambiatore a serpentina al cui interno scorre acqua calda proveniente da una caldaia (Figura 2.25). La vasca di macerazione possiede due ali laterali su cui scorrono due catene opportunamente dentate in acciaio INOX, con la funzione di trasportare le barre cariche di piante da un estremo all'altro della vasca (Figura 2.26). All'avviamento dell'impianto la vasca viene caricata con 10 barre porta ginestre e dopo 20 minuti di cottura in soluzione è possibile recuperare la prima barra dalla terza stazione. Da questo punto in poi, le nuove barre introdotte in vasca, resteranno sempre in cottura per un tempo di 20 minuti, questo perché ogni step di lavorazione dura 2 minuti ed



Figura 2.21: Inviti laterali della prima stazione



Figura 2.22: Sistema di chiusura con madre vite della prima stazione

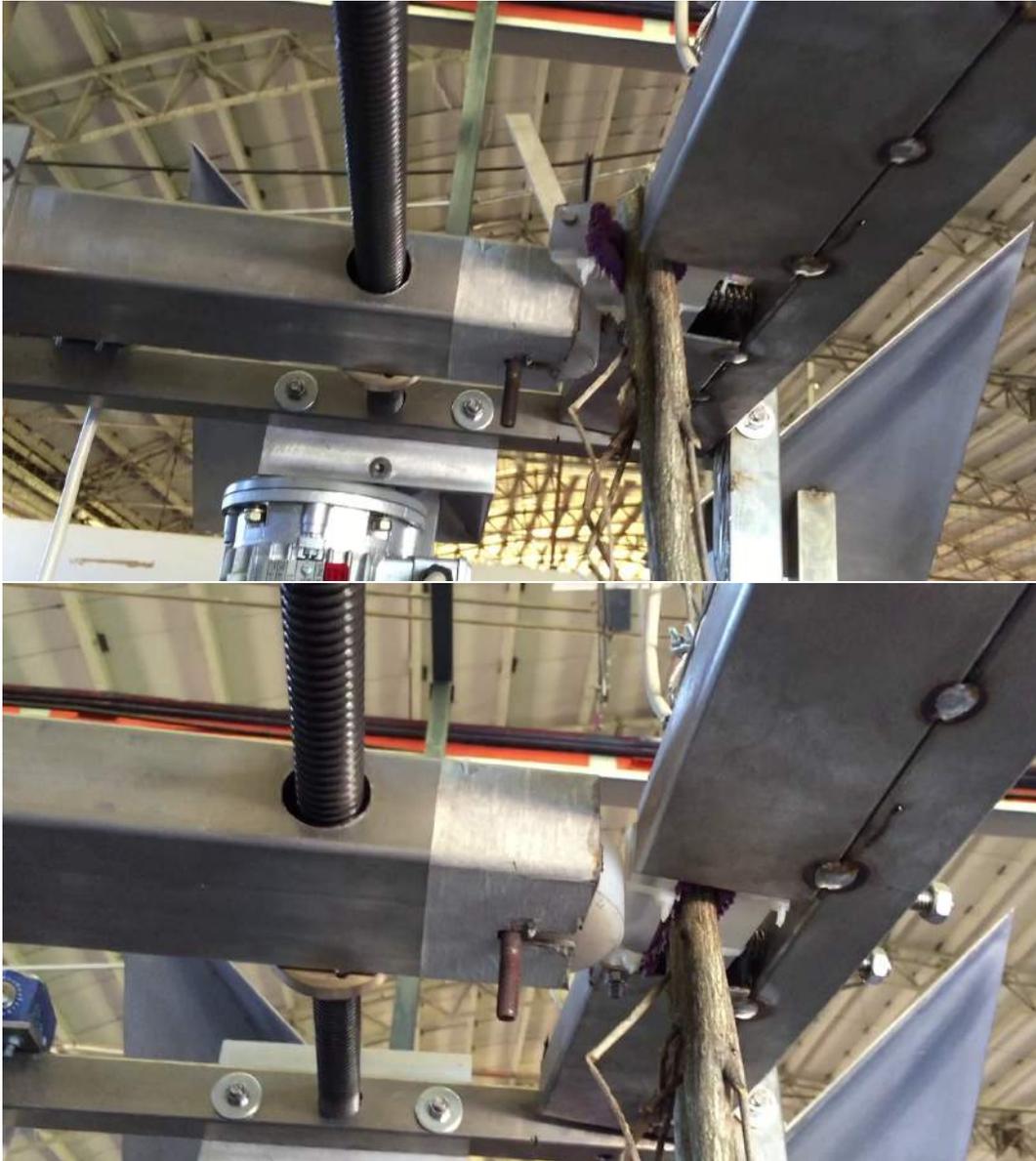


Figura 2.23: Ruota di chiusura della prima stazione

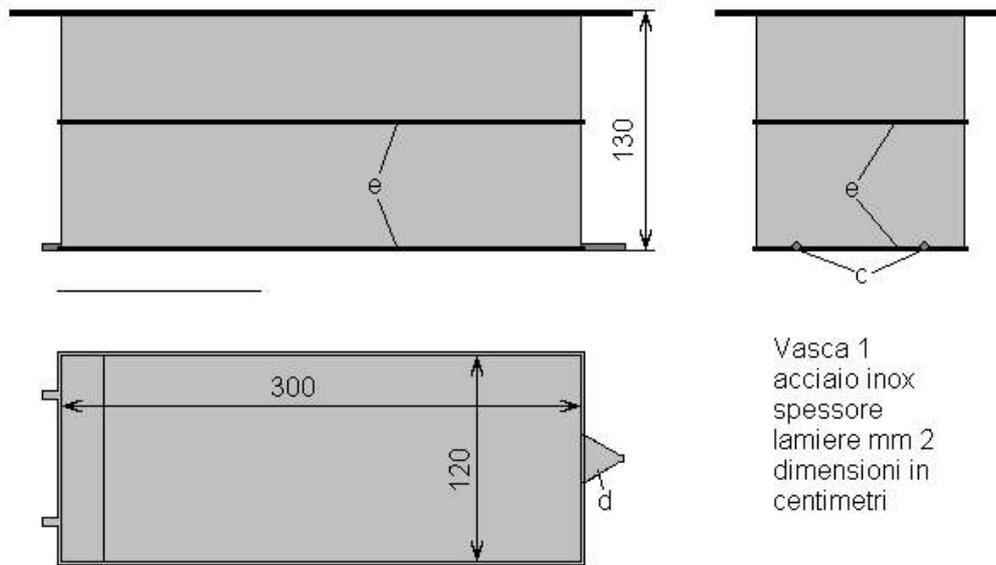


Figura 2.24: Vasca di macerazione

occorrono 10 steps per arrivare dalla seconda stazione alla terza stazione.

2.5.1 Seconda stazione

La seconda stazione rappresenta l'ingresso nella vasca di macerazione; essa deve garantire un ingresso ottimale delle barre cariche di ginestre. La ginestra, infatti, risulta frastagliata ed aperta all'estremità per cui essa può incastrarsi durante l'ingresso nella vasca. Per garantire l'ingresso in vasca, delle barre porta ginestre, sono stati pensati e progettati diversi sistemi che hanno portato successivamente alla versione oggi utilizzata. Inizialmente si pensò di ingabbiare le ginestre appese alla barra e immergerle, così costrette all'interno della vasca per poi recuperare l'ingabbiamento alla terza stazione. Questo sistema prevedeva l'utilizzo di una serie di catene che potessero avvicinare tra loro delle sbarre di metallo, che si sarebbero poi bloccate tramite degli occhielli (Figura 2.27) stringendo così le piante prima dell'ingresso in



Figura 2.25: Scambiatore termico - Vasca di macerazione

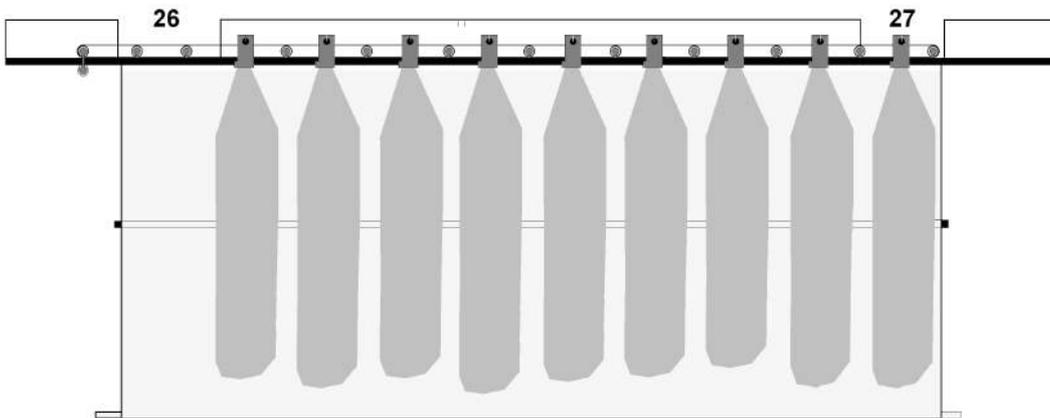


Figura 2.26: Sistema di trasporto - Vasca di macerazione

vasca. Per velocizzare le operazioni di ingresso in vasca, si pensò anche a un sistema simile a questo, ma che utilizzasse più sbarre per poter comprimere in successione più sbarre porta ginestre (Figura 2.28). Questi due sistemi però vennero scartati perché troppo complessi da realizzare, gestire e rallentavano eccessivamente le tempistiche di ingresso ed uscita delle ginestre dalla vasca di macerazione.

Successivamente si pensò di progettare un sistema che, tramite delle paratie, potesse compattare le ginestre e immetterle in vasca successivamente (Figura 2.29).

Anche questo sistema non si dimostrò soddisfacente e si passò alla quarta versione della seconda stazione, che utilizzava delle lastre metalliche, che chiudendosi, formavano un imbuto capace di facilitare l'ingresso delle ginestre in vasca (Figura 2.30).

Questo sistema, nonostante fosse promettente, poteva pinzare le ginestre durante la chiusura ad imbuto e per di più non si aveva la sicurezza che la barra porta piante avesse un peso abbastanza grande per spingere le ginestre più frastagliate. Così si arrivò all'ultima versione della seconda stazione, che tramite due rulli in acciaio inox di 30 cm di diametro, facilita l'ingresso delle ginestre in vasca (Figura 2.31). I rulli sono rivestiti di un tessuto gommato per aumentare l'attrito con le piante e la loro rotazione è assicurata da un unico motore trifase, che mette in rotazione il primo rullo in un senso e tramite un albero e una coppia di ruote dentate coniche il secondo, in senso opposto. Il risultato di ciò è una rotazione di entrambi i rulli verso l'ingresso della vasca di macerazione (Figura 2.32) che assicura un'introduzione veloce e sicura delle piante. Si noti come il paranco si separa dalla barra porta ginestre solo nella seconda stazione.

2.5.2 Terza stazione

Le barre porta ginestre, introdotte nella vasca di macerazione, sono portate, tramite una catena dentata in acciaio inox, verso la terza stazione (Figura 2.26). Quando le ginestre hanno subito un trattamento sufficientemente lungo, la barra viene agganciata dal paranco e sollevata per permettere alla terza stazione di stringere le piante fra due rulli in PVC (Figura 2.33). In particolare il primo rullo è collegato a un albero mosso da un motore trifase (Figura 2.34), questo può far avvicinare e allontanare il primo rullo in PVC dal secondo rullo che invece è fisso. Da notare come l'apertura massima del primo rullo sia imposta da un fincorsa, mentre la chiusura è temporizzata. Inoltre, la base del secondo rullo è collegata alla vasca di macerazione tramite due molle, per evitare pressioni eccessive sulle piante. Quando i due rulli stringono le piante, il paranco torna a far salire la barra, spremendo di fatto le ginestre e facendo cadere in vasca la soluzione in eccesso, evitando così inutili sprechi (Figura 2.35).

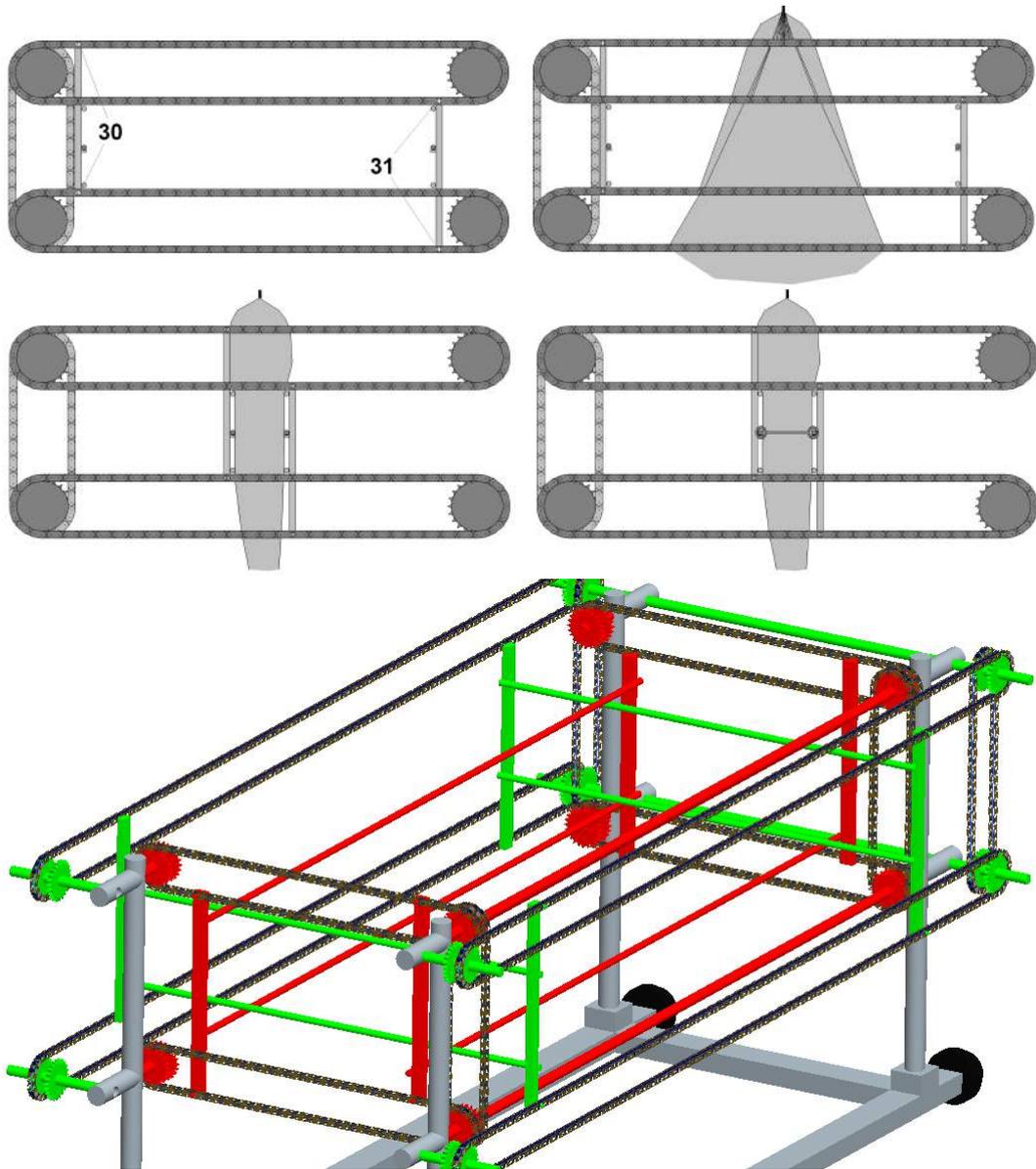


Figura 2.27: Seconda stazione - prima versione

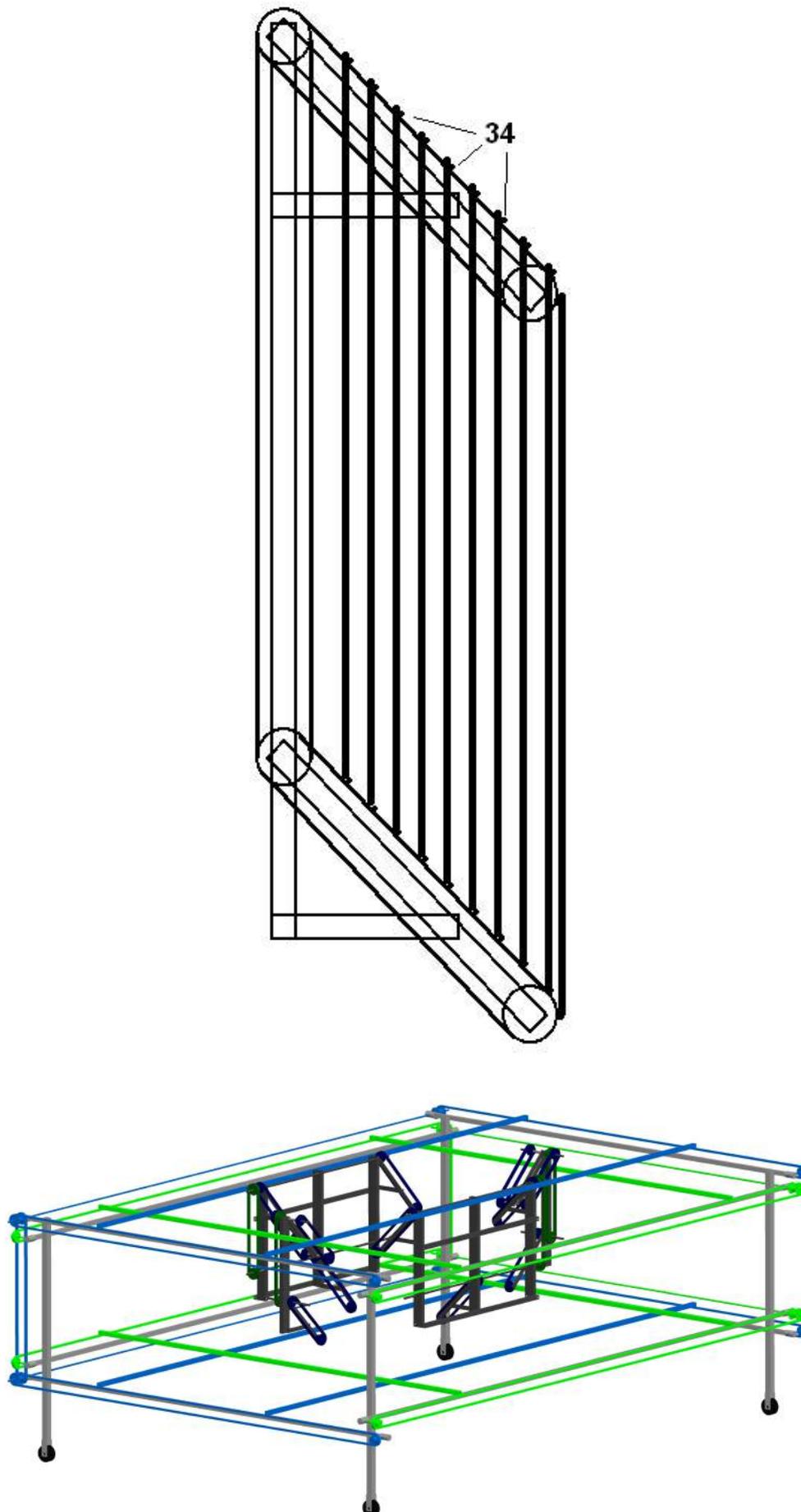


Figura 2.28: Seconda stazione con alimentatore di sbarre

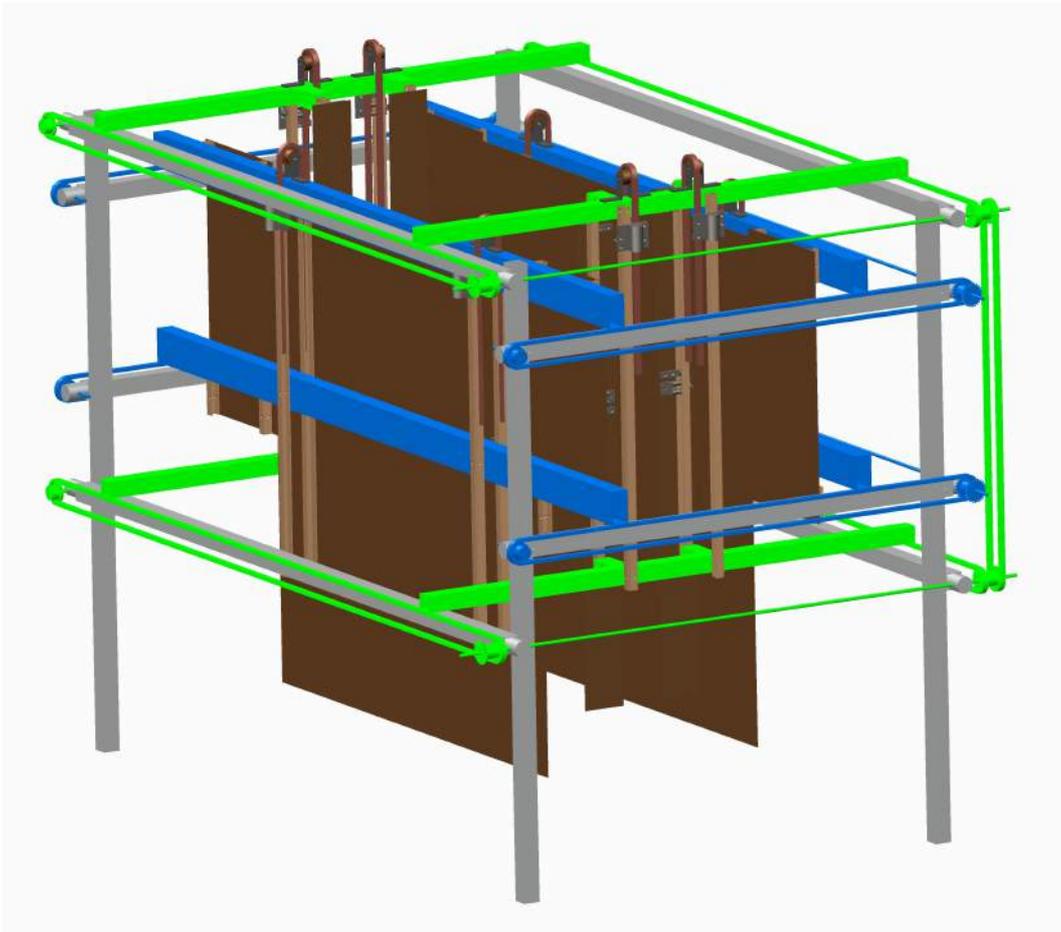


Figura 2.29: Seconda stazione - terza versione



Figura 2.30: Seconda stazione - quarta versione



Figura 2.31: Seconda stazione - quinta versione



Figura 2.32: Sistema di trasmissione dei rulli



Figura 2.33: Terza stazione



Figura 2.34: Motore trifase della terza stazione



Figura 2.35: Spremitura delle ginestre

2.6 Quarta stazione

Le ginestre trattate, nonostante siano state strizzate nella terza stazione, hanno bisogno di una fase di lavaggio ed ulteriore spremitura per recuperare quanta più soda possibile. La base della quarta stazione è rappresentata da una vasca in acciaio INOX, che accoglierà la barra porta ginestre, la cui posizione corretta è assicurata da tagli laterali che funzionano da inviti (Figura 2.36).

Quando la barra viene correttamente posizionata, all'interno della vasca, due paratie sempre di acciaio inox, si avvicinano e si allontanano comprimendo ripetutamente le ginestre trattate. Si noti, come per evitare di comprimere eccessivamente le ginestre, è stata utilizzata una cella di carico, che fa invertire il moto delle paratie dopo che è stata raggiunta una soglia di forza limite (Figura 2.37).

Contemporaneamente le piante vengono irrorate da una nebulizzatore, che insieme alle compressioni successive, lavano le ginestre dalla soda caustica in eccesso (Figura 2.38). L'acqua raccolta nella vasca viene pompata prima in un filtro più grossolano, che utilizza del cotone come elemento filtrante (Figura 2.39).

Successivamente la soluzione filtrata si raccoglie in una cisterna di fianco alla vasca di macerazione (Figura 2.40), per poi passare da tre filtri micrometrici a maglie sempre più strette (Figura 2.41). In fine, la soluzione completamente filtrata, viene immessa nuovamente nella vasca di macerazione per diminuire il più possibile l'utilizzo di nuova soda caustica.



Figura 2.36: Vasca di lavaggio

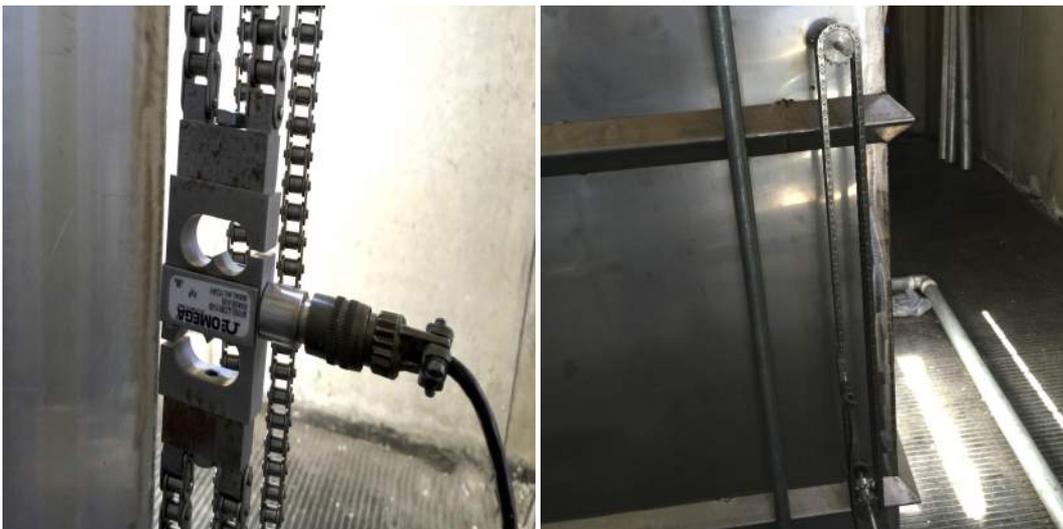


Figura 2.37: Cella di carico della quarta stazione



Figura 2.38: Nebulizzatore e paratie della quarta stazione



Figura 2.39: Primo filtro



Figura 2.40: Cisterna di raccolta



Figura 2.41: Filtri micrometrici

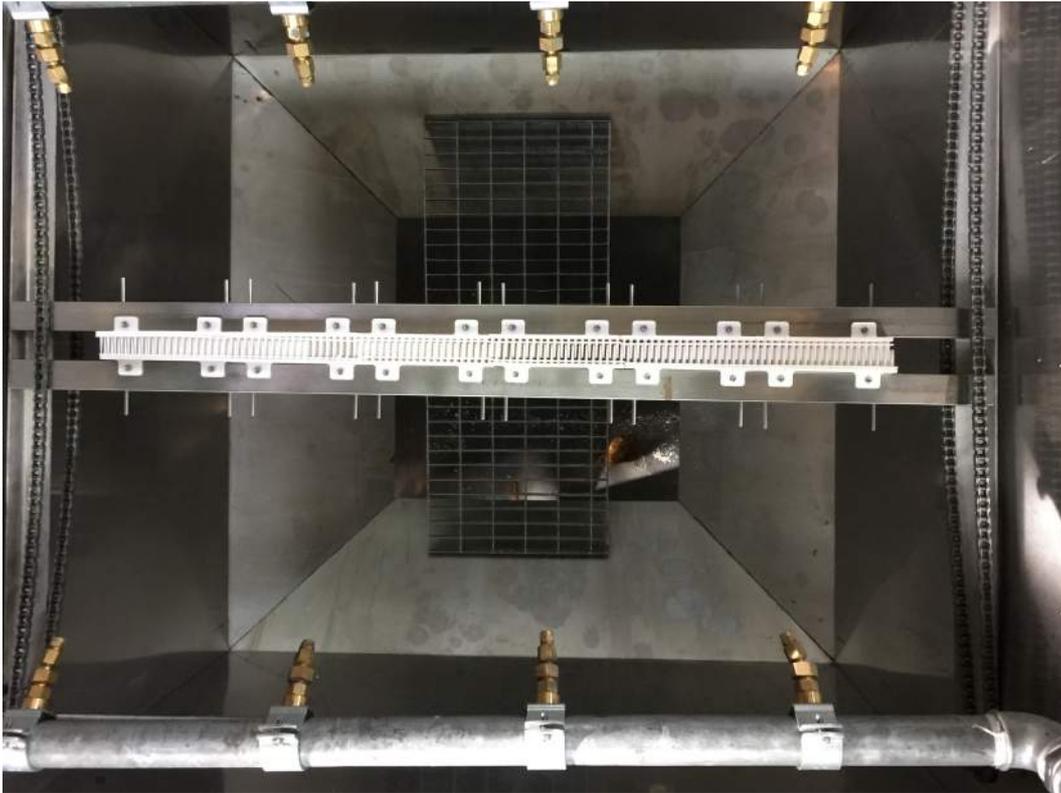


Figura 2.42: Spazzole di estrazione

2.7 Quinta stazione

A questo punto le ginestre sono state trattate e lavate dalla soda in eccesso e sono pronte per il distacco della fibra dalle vermene. Per far ciò, la quinta stazione è dotata di un sistema di spazzole contrapposte (mosse l'una contro l'altra da un motorino DC), appositamente progettate e realizzate (Figura 2.42), che lavorano in sinergia con degli ugelli capaci di spruzzare acqua in pressione, con un getto a lama (Figura 2.43). La stazione in questione è composta da una vasca senza fondo e con un profilo inferiore ad imbuto per far cadere l'acqua e le fibre su un nastro trasportatore, formato da una rete metallica molto fine (Figura 2.44).

Questa, fa passare l'acqua, che cade in un'ulteriore vasca sottostante, mentre trattiene le fibre (Figura 2.45). Tali fibre, mettendo in moto il nastro trasportatore, vengono fatte cadere in un contenitore.

L'acqua in pressione viene erogata da una pompa chimica (Figura 2.46), inserita in un circuito chiuso, in grado di utilizzare sempre la stessa acqua per evitarne un eccessivo utilizzo. Nello specifico, la pompa chimica utilizzata preleva l'acqua da una vasca di alimentazione (Figura 2.47), spingendola ad alta pressione nelle tubazioni (Figura 2.48), che portano agli ugelli posti sulla vasca di separazione. L'acqua, dalla vasca sottostante, viene raccolta e spinta da un circolatore nuovamente verso la vasca



Figura 2.43: Ugelli a lama della quinta stazione

di alimentazione, chiudendo così il circuito.

Per estrarre efficacemente le fibre, la barra viene calata nella quinta stazione e tramite un fincorsa si attivano le spazzole e la pompa, che comincia a spruzzare l'acqua in pressione. Successivamente il paranco solleva la barra facendo passare le ginestre attraverso le spazzole e l'acqua in pressione. A questo punto, le spazzole si allontanano e la barra porta ginestre si abbassa nuovamente per ripetere un altro ciclo di estrazione delle fibre. Si noti come ad ogni ciclo la struttura reticolare, collegata alle spazzole, vada a pulire le stesse dalla fibra appena raccolta (Figura 2.50).

Dopo il ciclo di separazione, le fibre si ammucchiano sul nastro trasportatore, che viene successivamente messo in moto per farle cadere in un recipiente apposito. Le fibre raccolte, verranno introdotte prima in un essiccatore e successivamente in una cardatrice automatica per ripulire la fibre grezze.

2.8 Sesta stazione

L'ultima stazione del ciclo produttivo, ha la funzione di sganciare le ginestre ormai prive di fibre, dalle barre porta piante, che saranno nuovamente pronte per la prima stazione. Tale stazione è composta da una struttura portante, che permette di posizionare correttamente la barra porta ginestre, utilizzando delle guide laterali



Figura 2.44: Quinta stazione



Figura 2.45: Nastro trasportatore



Figura 2.46: Pompa chimica



Figura 2.47: Vasca di alimentazione

(Figura 2.51). Il posizionamento della barra aziona una routine automatica, tramite un fine corsa (Figura 2.52), che fa attivare un motorino che ruota un albero (Figura 2.53), posto su una struttura mobile, a cui sono saldate quattro astine (Figura 2.54). Queste si posizionano sulla barra porta ginestre, nei pressi dei perni degli sportelli. A questo punto si attiva un secondo motorino che fa ruotare una vite (Figura 2.55), che permette di avvicinare la struttura mobile e di conseguenza le astine saldate, che facendo pressione sui perni, permettono di aprire tutti e quattro gli sportelli contemporaneamente e far cadere le ginestre. Queste, saranno raccolte per farne del pellet attraverso l'utilizzo di due macchinari. Successivamente il pellet di ginestra verrà bruciato in un bruciatore e dalle ceneri ricavate da esso, si estrarrà la soda caustica residua, sempre con l'obiettivo di minimizzare un nuovo utilizzo di questa sostanza.



Figura 2.48: Tubazioni ad alta pressione



Figura 2.49: Ciclo di separazione

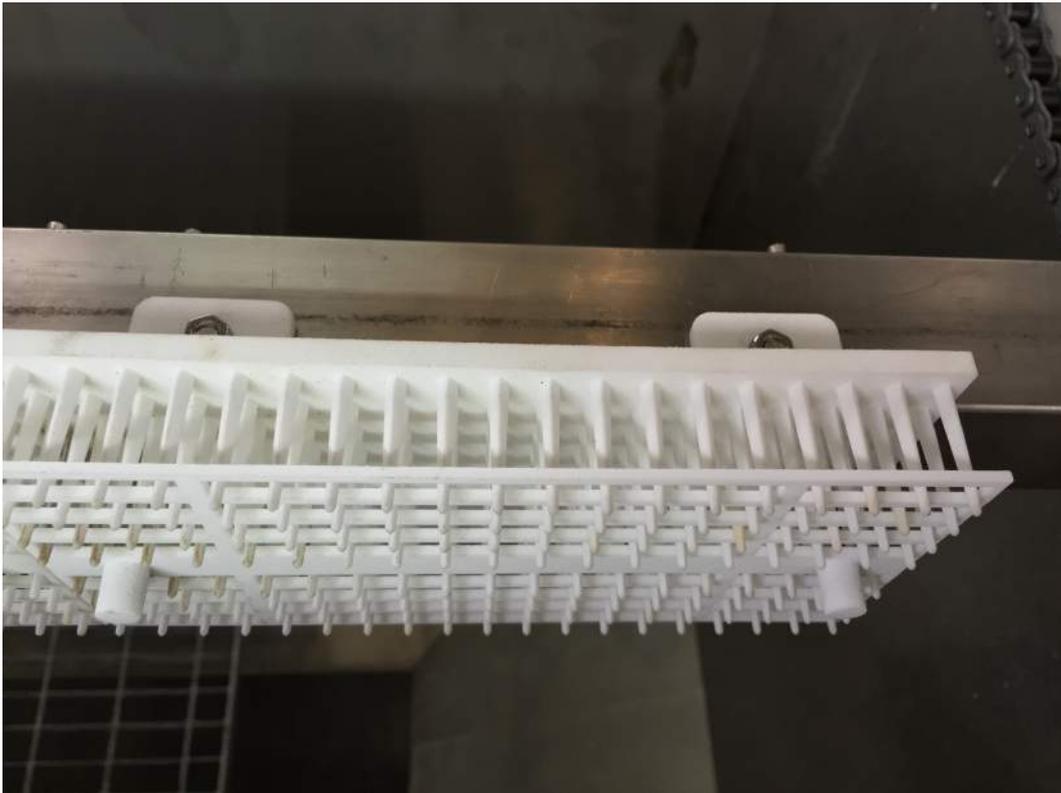


Figura 2.50: Maschere di pulizia delle spazzole



Figura 2.51: Sesta stazione



Figura 2.52: Finecorsa di azionamento

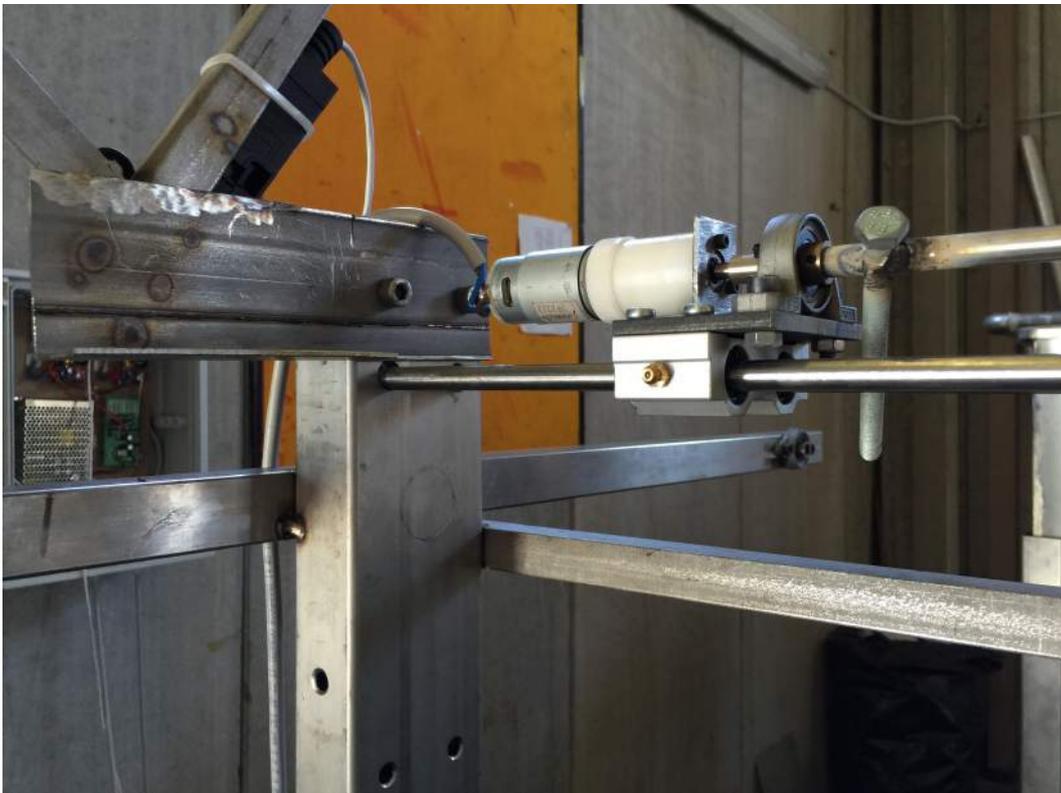


Figura 2.53: Primo motorino della sesta stazione

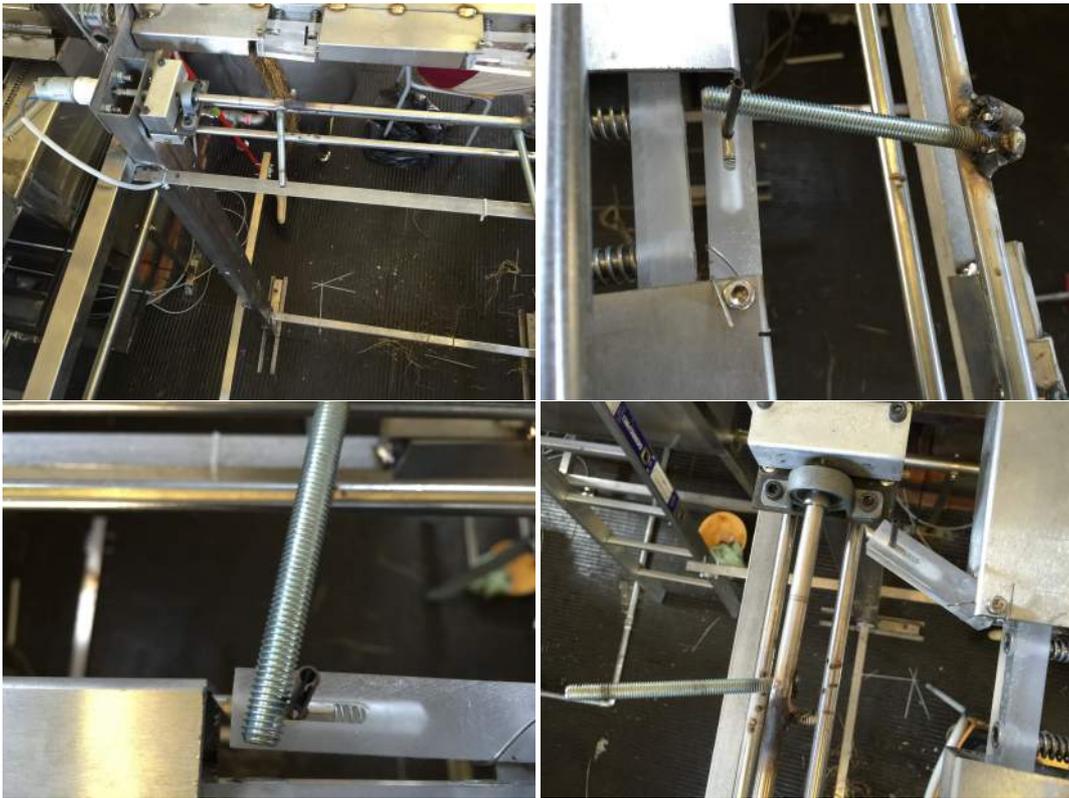


Figura 2.54: Aste di apertura



Figura 2.55: Secondo motorino della sesta stazione

Capitolo 3

Terzo capitolo

Per poter funzionare, l'impianto di estrazione necessita di un gran numero di dispositivi di controllo. Questi pilotano le varie parti in funzione dei feedback ottenuti da una serie di sensori disposti in punti chiave dell'impianto. Grazie ad essi l'impianto è in grado di compiere i vari processi in tutta sicurezza, seguendo una logica prestabilita. L'apparato elettrico/elettronico dell'impianto è stato progettato partendo da tre semplici presupposti:

- L'impianto è dotato di parti mobili (paranchi) che si muovono su un binario, descrivendo un anello. Queste, per funzionare correttamente, necessitano di una linea di alimentazione e una di comunicazione.
- Le varie stazioni di lavorazione della fibra, necessitano di una linea di alimentazione e una di comunicazione.
- L'operatore da PC, deve essere in grado di seguire l'intero processo di lavorazione e quindi, in qualsiasi momento intervenire sulle singole operazioni.

Dovendo, inoltre, rispettare gli standard industriali, si è adottato un protocollo di comunicazione dati che fosse il più robusto e semplice possibile. Inoltre deve essere garantita una perfetta compatibilità con il contatto rotante, descritto nel capitolo precedente, per ottenere così, una comunicazione sicura tra i paranchi, le stazioni a terra e il computer master. Per quanto riguarda il controllo dell'impianto stesso, la scelta è ricaduta su schede elettroniche a microcontrollore progettate e realizzate appositamente (Figura 3.1).

I paranchi vengono pilotati direttamente dal computer master, tramite un algoritmo appositamente realizzato in Labview, arrivando su ogni stazione ed eseguendo una serie di comandi che dipendono dalla stazione stessa. Il corretto allineamento paranco-stazione è garantito da un doppio controllo, effettuato tramite un sensore ad infrarossi e un fincorsa meccanico. Le stazioni a loro volta, eseguono una serie di attività dettate dalle schede a microcontrollore.



Figura 3.1: Schede elettroniche

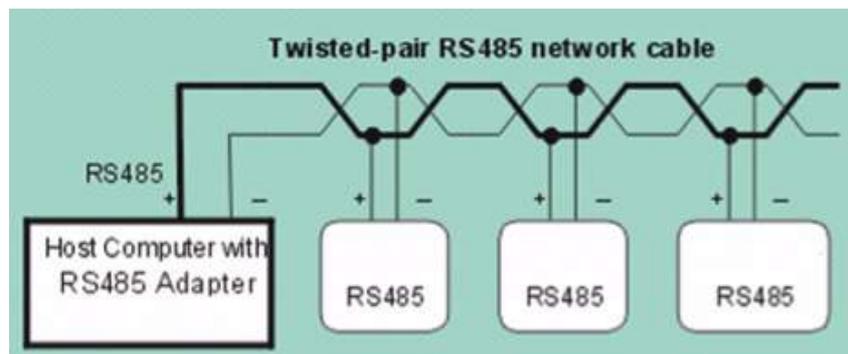


Figura 3.2: Daisy-chain RS485

3.1 La linea di comunicazione

Il primo problema è stato capire come interfacciare il PC a tutte le stazioni a terra e ai paranchi sospesi sul binario. Quello di cui si ha bisogno è di una linea di comunicazione semplice ma robusta, che permetta connessioni a lunga distanza e che rispetti gli standard industriali. La scelta è ricaduta sullo standard RS-485, questo, offre la possibilità di connessioni daisy-chain (Figura 3.2), che permettono l'accesso diretto, da parte del master, al singolo slave senza passare attraverso gli slave precedenti. Così facendo in caso di rottura di uno slave, il master è comunque in grado di comunicare con gli altri.

Per una corretta comunicazione tra il master e i vari slave, è stato realizzato un pacchetto composto da 7 byte:

- `START_BYTE`, con questo byte viene occupato il canale e si può procedere alla comunicazione dell'informazione.

- ADDRESS, indica l'indirizzo del dispositivo che deve ricevere l'informazione.
- DATALEN, indica se il mittente del messaggio è il master o uno slave, inoltre descrive la lunghezza dell'informazione.
- DATA1, primo byte della vera e propria informazione trasmessa.
- DATA2, secondo byte della vera e propria informazione trasmessa.
- CRC (cyclic redundancy check, ovvero controllo a ridondanza ciclica), viene generato in funzione dei tre byte precedenti (DATALEN, DATA1, DATA2). La periferica che riceve l'informazione, grazie al CRC, è in grado di comprendere se l'informazione ricevuta è valida.
- STOP_BYTE, con questo byte si chiude il pacchetto di informazioni e si libera il canale.

La figura 3.3, rappresenta lo schema adottato per connettere tra loro le varie periferiche presenti.

3.2 Sistema di sollevamento e trasporto

Come spiegato al capitolo precedente, la movimentazione delle piante di ginestra, è affidata a sei paranchi che si muovono su una rotaia. Nel dettaglio ora verrà illustrato il principio di funzionamento dei vari paranchi, dal punto di vista hardware.

Sopra il telaio del paranco è stata installata una cassetta in PVC contenente l'elettronica di controllo dello stesso (Figura 3.4).

Al suo interno troviamo:

- PSU da 12V - 5A, con la funzione di alimentare l'hardware di controllo e il motorino installato sul sistema di presa.
- Scheda a microcontrollore, con la funzione di interpretare i comandi ricevuti dal master e di eseguirli.
- Scheda relay, questa contiene due relay con la funzione di pilotare i due avvolgimenti di avviamento e di marcia, definendo così il senso di rotazione del motore monofase del paranco.
- Driver a ponte H, questa ha la funzione di pilotare il motorino del sistema di presa.
- TSOP 38KHZ, questo ricevitore ad infrarossi ha la funzione di identificare il paranco quando è sulla prima stazione.

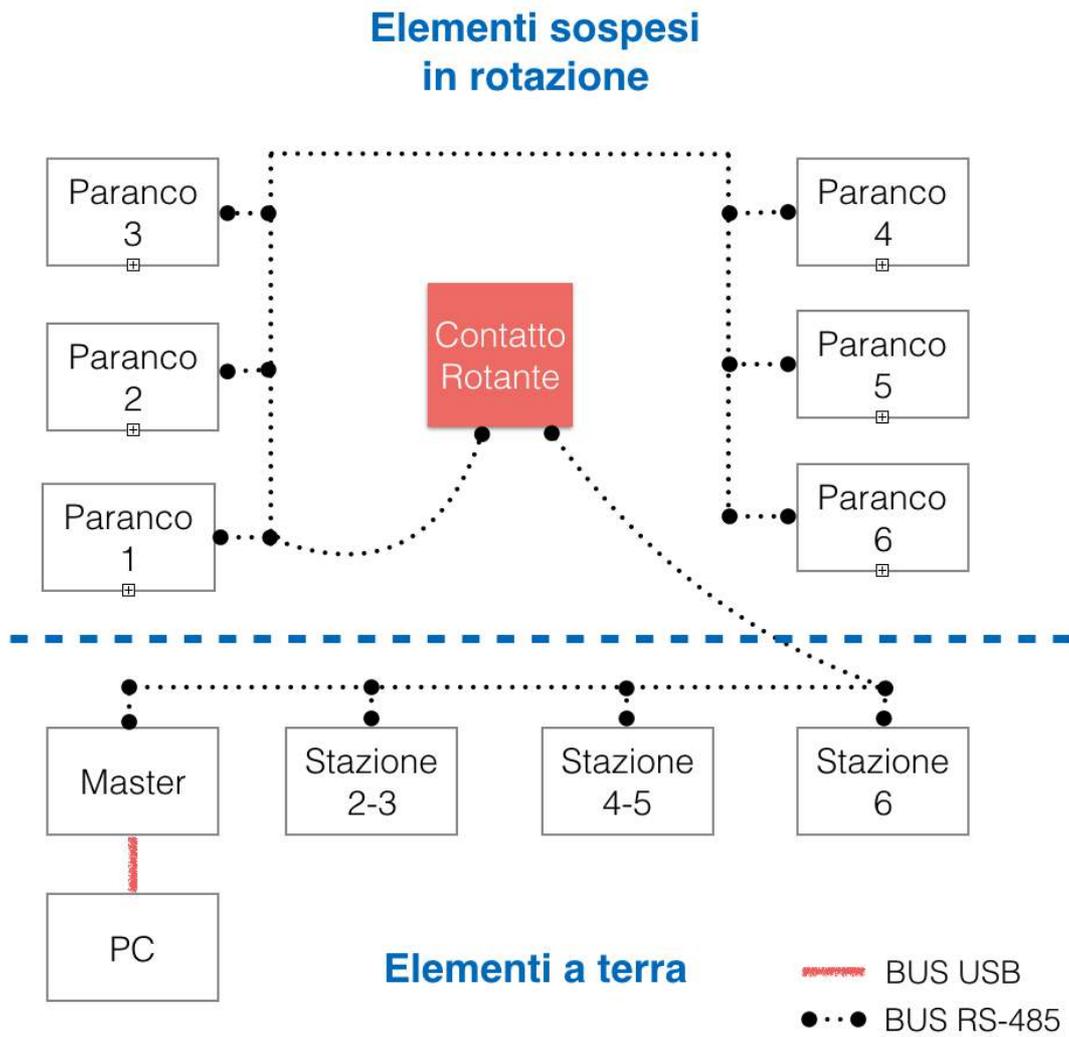


Figura 3.3: Canale di comunicazione RS-485

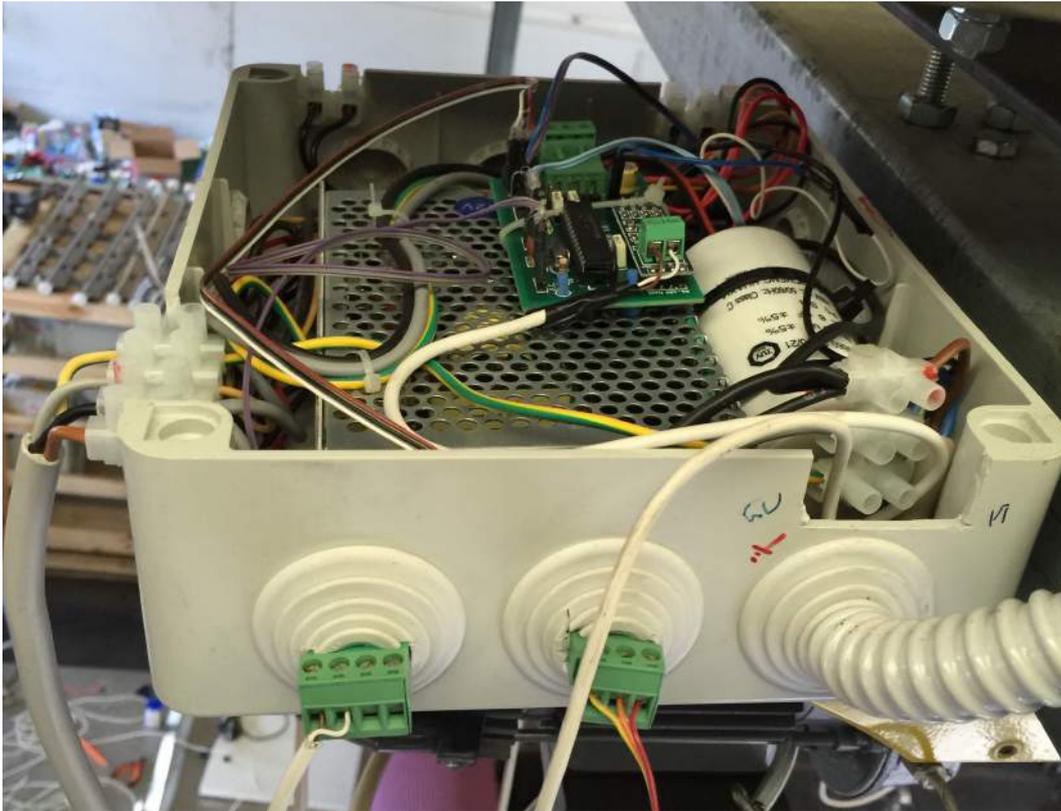


Figura 3.4: Hardware paranco

La figura 3.5 rappresenta lo schema di alimentazione e comunicazione dei sei paranchi sospesi su rotaia. Si osservi che la linea di potenza è stata sdoppiata, con lo scopo di bilanciare il carico gravante sul contatto rotante dei cavi di alimentazione.

3.3 Master del sistema

L'intero processo di estrazione delle fibre dalle piante di ginestra è stato suddiviso in vari step di lavorazione. Questi vengono svolti da una collaborazione tra i paranchi e le stazioni, la cui gestione, in principio era stata affidata ad una scheda elettronica detta master, questa grazie all'ausilio di una tastiera (composta da cinque pulsanti) e sette LED permetteva la gestione dell'impianto con relativi feedback visivi. Questa soluzione non permetteva all'utilizzatore di fare modifiche sulla gestione dell'impianto in corso d'opera, inoltre, i feedback delle singole stazioni erano difficili da interpretare, rendendo quindi, la gestione della lavorazione molto complessa. Per questo, ad oggi, la gestione dell'impianto è affidata ad un PC che diventa, quindi, il master del sistema. Il PC, per poter comunicare con le varie periferiche (stazioni, paranchi, ecc.), ha bisogno di una interfaccia tra USB e RS-485, per questo è stata realizzata una scheda elettronica dedicata. A tale scheda, con lo svilupparsi dell'impianto, è stato collegato il motore trifase che ha il compito di far avanzare

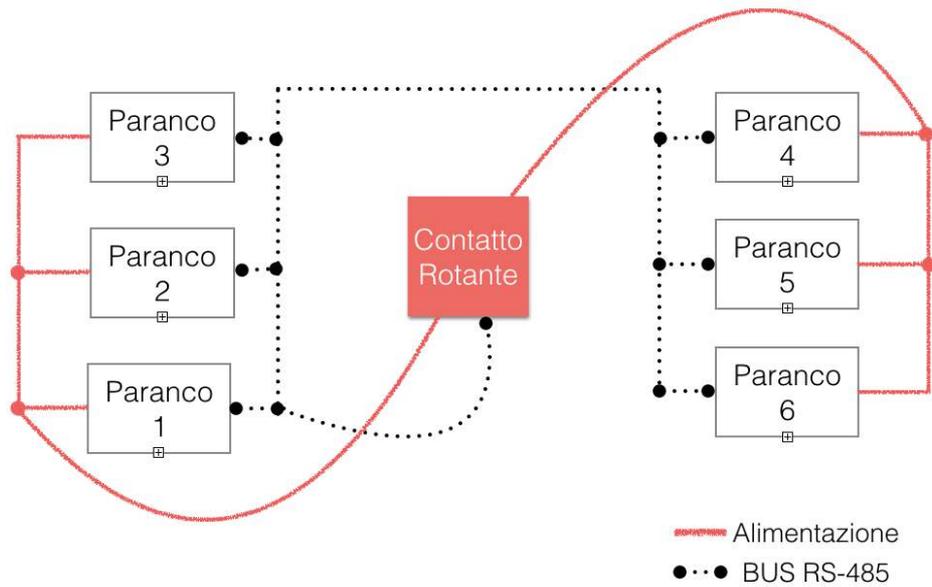


Figura 3.5: Schema di alimentazione dei paranchi

i paranchi lungo il binario sospeso. Il feedback sulla posizione dei paranchi in tale processo, avviene tramite l'utilizzo di due fine corsa ancorati alla rotaia. In particolare il primo fine corsa è di tipo meccanico, la cui funzione è quella di allineare correttamente i paranchi sulle stazioni sottostanti. Mentre il secondo fine corsa è di tipo ottico e permette al paranco che si è fermato sulla prima stazione di identificarsi con il master.

All'interno del quadro elettrico (Figura 3.6) è possibile osservare l'elettronica di interfaccia tra il PC e l'impianto, inoltre sempre all'interno dello stesso sono stati installati i componenti elettromeccanici dedicati alla movimentazione della rotaia. Questi nello specifico sono:

- Una scheda master, questa interfaccia il PC con il resto dell'impianto.
- Due teleruttori, che hanno il compito di far avanzare o indietreggiare i paranchi lungo il binario.
- Due relay, utilizzati dal master per pilotare i teleruttori.

Mentre, sullo sportello del quadro elettrico in esame, sono presenti tre luci spia ed un LED. Rispettivamente si osservano:

- Una spia verde, per indicare la presenza di tensione sulla linea che alimenta i paranchi.

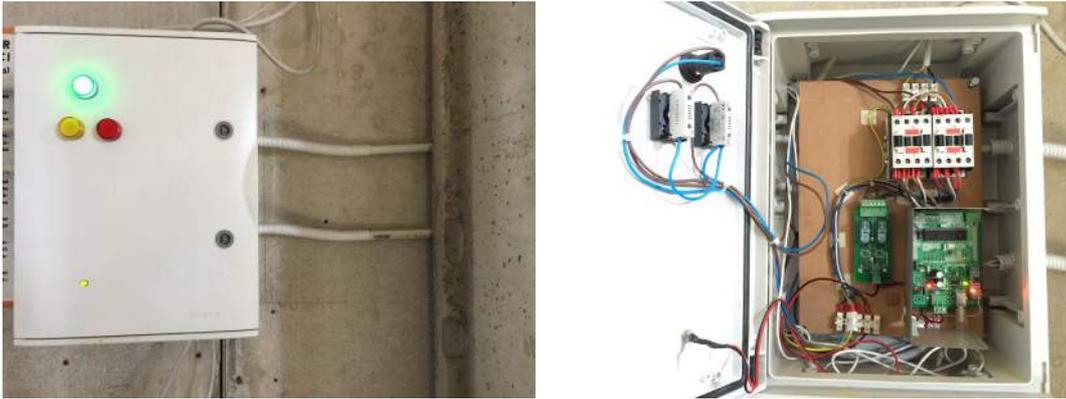


Figura 3.6: Quadro elettrico della scheda master

- Una spia gialla, questa indica che il motore trifase è alimentato e i paranchi si muovono in senso orario.
- Una spia rossa, che come per la spia gialla, indica la presenza di tensione sul motore trifase, ma in questo caso i paranchi si muoveranno in senso antiorario.
- Un LED verde, questo sta ad indicare che, l'elettronica a bassa tensione è alimentata.

3.4 Prima stazione

La prima stazione è stata programmata per seguire lo schema logico in figura 3.7. Come si può vedere in figura, dopo che la barra porta ginestre è stata posizionata sulla prima stazione, si attenderà che l'operatore utilizzi il telecomando in dotazione per chiudere il primo dei quattro sportelli della barra. Quando il comando manuale viene inviato allora la stazione chiuderà uno sportello per poi attendere un altro comando manuale. Questo verrà ripetuto fino alla chiusura di tutti e quattro gli sportelli e a questo punto sarà possibile prelevare la barra porta ginestre per trasportarla alla seconda stazione.

La prima stazione, a differenza delle altre, è controllata da un PLC, questa scelta è stata fatta in quanto è un sistema assistente gestito direttamente dall'operatore. All'interno del quadro elettrico (Figura 3.8) sono presenti i seguenti dispositivi per la gestione del processo sopra descritto:

- Un PLC, questo in funzione dei fine corsa e del telecomando aziona il meccanismo di chiusura degli sportelli.
- Due teleruttori trifase, essi hanno il compito di alimentare il motore connesso al meccanismo di chiusura degli sportelli. Accendendo uno o l'altro teleruttore è possibile pilotare il verso di rotazione del motore stesso.

Stazione 1

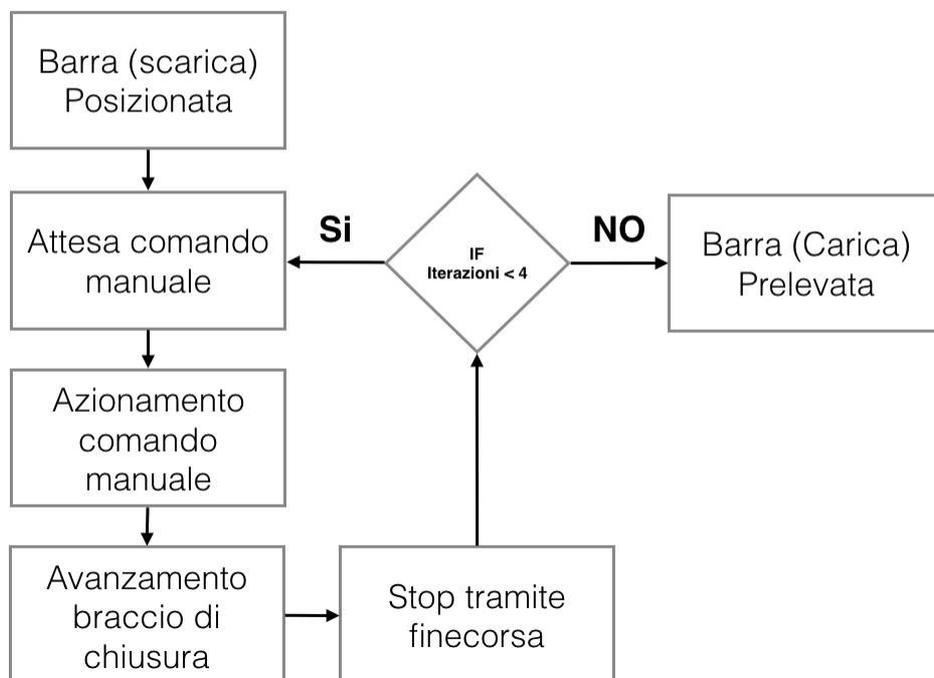


Figura 3.7: Schema logico della prima stazione

- Due relays, servono per pilotare i due teleruttori, in quanto non è possibile connettere il PLC ai teleruttori stessi.
- Un telecomando dotato di un pulsante a due posizioni utilizzato dall'operatore per interfacciarsi al PLC (Figura 3.9).

3.5 Vasca di macerazione

Seconda e terza stazione fanno parte, come scritto in precedenza, della vasca di macerazione nel suo complesso. In figura 3.10 viene mostrato come all'inserimento di una barra, all'interno della seconda stazione, la catena di trasporto avanzi di uno step prestabilito. A regime la vasca di macerazione avrà al suo interno dieci barre porta ginestre. Così, mentre una nuova barra viene caricata nella seconda stazione, un'altra raggiungerà la terza stazione e sarà pronta per essere prelevata. Durante il sollevamento le ginestre prelevate vengono anche strizzate per estrarre quanta più soluzione calda possibile.

Alla vasca di macerazione è stato affiancato un quadro elettrico contenente tutta la parte di elettronica di controllo e potenza (Figura 3.11). Dal quadro in questione vengono pilotati due motori trifase. Il primo, ruoterà in un unico senso di marcia, questo installato sulla seconda stazione ha il compito di far ruotare i rulli che aiutano la barra porta ginestre, ad entrare nella vasca di macerazione. L'accensione di questo dispositivo è manuale e viene effettuata grazie ad un interruttore presente sullo sportello del quadro elettrico. Sullo stesso è anche presente una luce spia, per segnalare all'operatore che il dispositivo è in funzione. Il secondo motore trifase ha il compito di azionare il sistema di spremitura delle ginestre in uscita dalla terza stazione. Questo è pilotato da due teleruttori, accesi da una scheda relay, che a sua volta è comandata dallo slave a microcontrollore. Anche in questo caso, sono presenti sullo sportello del quadro elettrico, due luci spia che segnalano il verso di rotazione del motore trifase. All'interno del quadro è presente un PSU da 12V - 5A che alimenta tutta la parte in bassa tensione, che comprende: le schede relay, lo slave e un motorino DC. Quest'ultimo viene utilizzato per l'avanzamento della catena di trasporto delle barre porta ginestre. Infine allo slave sono stati connessi tre sensori digitali che misurano la temperatura in vasca.

3.6 Quarta stazione

La quarta stazione (Figura 3.12) possiede una logica iterativa, in cui le ginestre vengono sciacquate e spremute per un certo numero di volte per estrarre la soluzione di soda caustica in eccesso presente sulle ginestre. Al momento, vengono effettuate

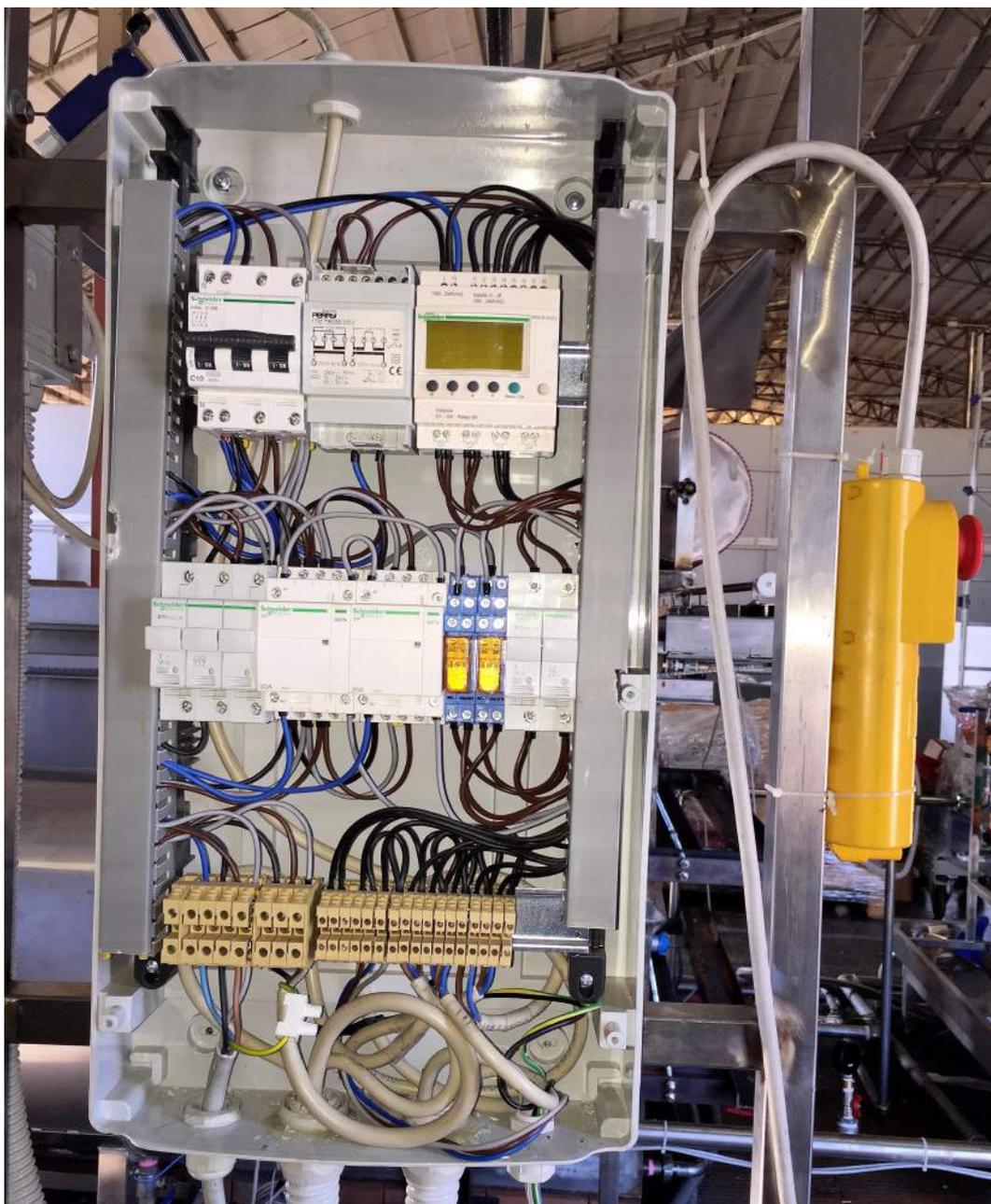


Figura 3.8: Quadro elettrico della prima stazione

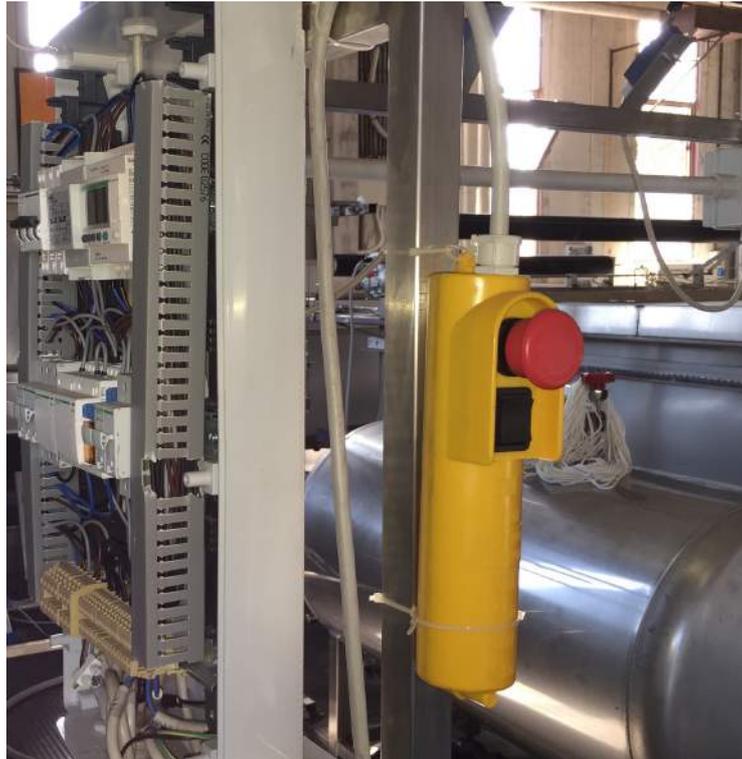


Figura 3.9: Telecomando di controllo

quattro iterazioni, ma questo valore è modificabile da PC in base ai risultati di sperimentazione ottenuti.

Quarta e quinta stazione condividono lo stesso quadro elettrico (Figura 3.13), nonché la stessa unità di controllo (slave). All'interno del quadro è presente una scheda relay a cui è connessa una pompa, utilizzata per la nebulizzazione d'acqua, che verrà poi recuperata tramite un circolatore monofase, comandato da un relay temporizzato. Sulla parte alta del quadro elettrico, è stata installata la componentistica necessaria per la gestione del dispositivo di spremitura delle ginestre. Lo slave per gestire questa manovra sfrutta una scheda relay interconnessa a due teleruttori, che permettono la movimentazione delle paratie di spremitura. Come feedback sul processo, lo slave si interfaccia ad una cella di carico che (Figura 2.37), tramite un modulo dedicato, fornisce in tempo reale le informazioni necessarie sulla forza esercitata dalle paratie. Da notare, che da PC, è possibile decidere la forza massima che le due paratie eserciteranno sulle piante in fase di spremitura.

3.7 Quinta stazione

Anche la quinta stazione possiede una logica iterativa (Figura 3.14), infatti la barra porta ginestre, nel posizionarsi, attiva il getto d'acqua in pressione e l'avvicinamento delle spazzole. A questo punto il paranco solleverà la barra e così facendo

Vasca di macerazione

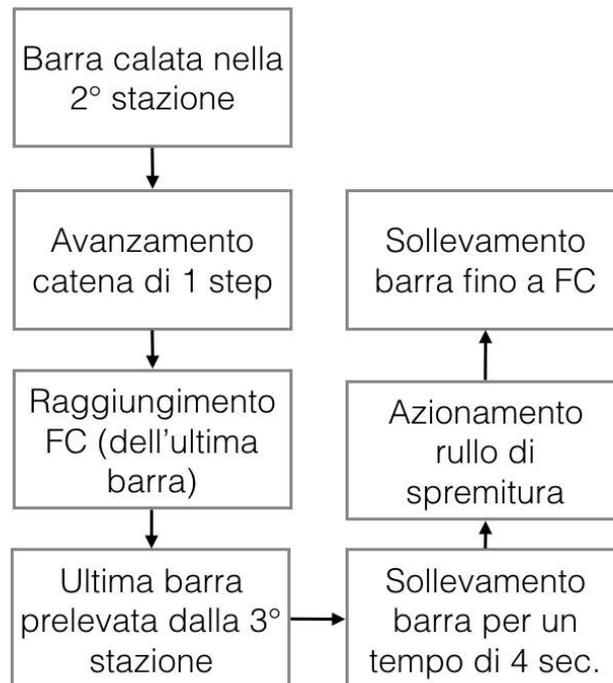


Figura 3.10: Schema logico della vasca di macerazione (stazioni due e tre)

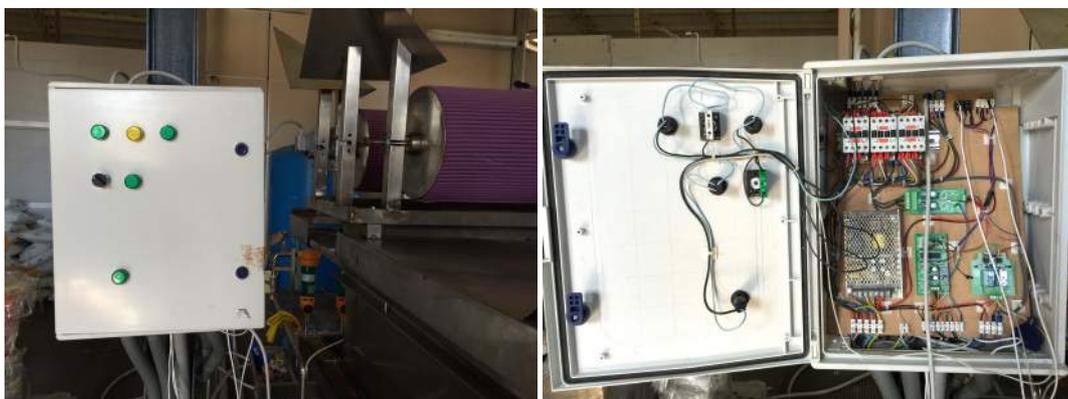
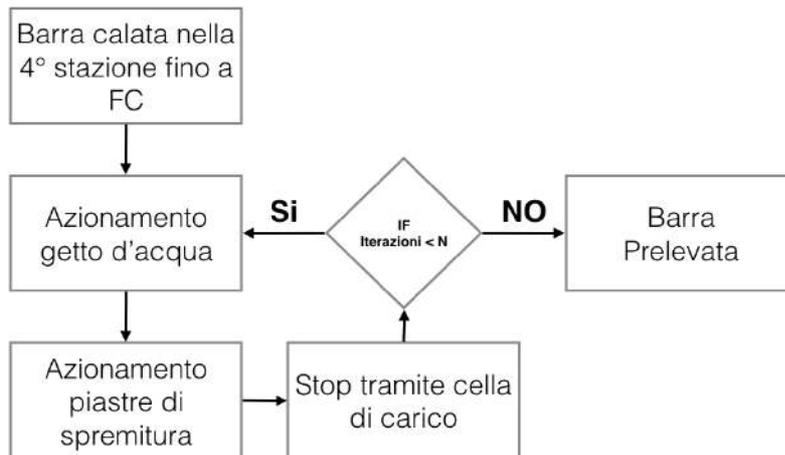


Figura 3.11: Quadro elettrico della vasca di macerazione

Stazione 4



N: parametro settabile da PC

Figura 3.12: Schema logico della quarta stazione



Figura 3.13: Quadro elettrico della quarta e quinta stazione

Stazione 5

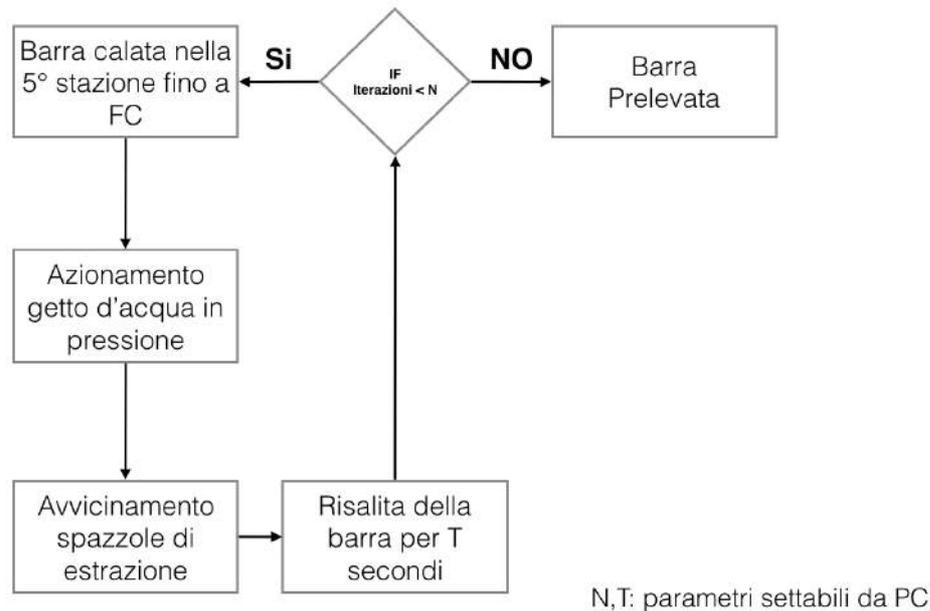


Figura 3.14: Schema logico della quinta stazione

le ginestre verranno spazzolate e irrorate d'acqua nella loro interezza. Questo procedimento sarà ripetuto per almeno tre volte, ma come per la quarta stazione, questo numero potrebbe cambiare durante le sperimentazioni.

Il getto d'acqua in pressione è affidato ad una pompa da 7 kW, questa è pilotata da un teleruttore presente all'interno di un quadro elettrico dedicato. A sua volta esso viene acceso da un relay direttamente connesso allo slave, presente nel quadro comune con la quarta stazione (Figura 3.13). La movimentazione delle spazzole è affidata ad un motorino DC a 12V, questo è collegato ad un driver a ponte-H, che a sua volta è connesso allo slave. Grazie a questo tipo di driver, lo slave è in grado di gestire l'apertura e la chiusura delle spazzole e di conoscere lo sforzo che stanno esercitando sulle piante. In tal modo, l'operatore da PC, può decidere e quindi impostare lo sforzo massimo esercitato dalle spazzole.

La fibra ottenuta, dal processo iterativo descritto all'inizio del paragrafo, andrà a cadere su un nastro trasportatore la cui movimentazione è affidata ad un motorino DC a 12V, gestito dallo slave tramite un ulteriore driver dedicato. La parte di sistema a bassa tensione (12V), del quadro comune a quarta e quinta stazione, è alimentata da un PSU a 12V - 5A.

Stazione 6

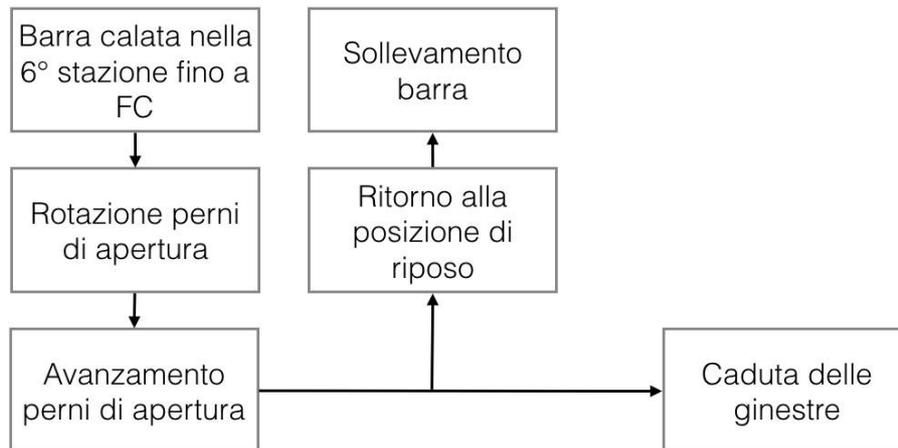


Figura 3.15: Schema logico della sesta stazione

3.8 Sesta stazione

Quando la barra porta ginestre viene posizionata sulla sesta stazione, grazie a un fine corsa, viene eseguito il processo automatico di apertura degli sportelli (Figura 3.15). Questo avviene con la rotazione e successivamente l'avanzamento delle astine di apertura, che andranno ad incidere sui perni degli sportellini della barra fino all'apertura degli stessi, con la conseguente caduta delle ginestre ormai prive di fibre esterne.

La sesta stazione è dotata di un modulo slave, per la gestione del processo appena descritto. Per la movimentazione del sistema sono stati utilizzati due motorini DC a 12V, anche in questo caso sono stati scelti due driver a ponte-H in modo tale da poter gestire lo sforzo e la rotazione di ogni singolo motorino. L'alimentazione dell'intera stazione è affidata a un PSU a 12V - 5A, che riesce a soddisfare il consumo della scheda slave e dei due motorini DC. La figura 3.16 raffigura il quadro elettrico della sesta stazione e come feedback visivo è stato installato un LED verde che indica la presenza di tensione all'interno del quadro stesso.



Figura 3.16: Quadro elettrico della sesta stazione

3.9 Software di controllo

Per la gestione dell'impianto sono stati realizzati due software, definiti "manuale" e "automatico". Entrambi i software sono stati realizzati utilizzando il linguaggio grafico G di LabVIEW.

Il primo software, "manuale", è stato realizzato durante la costruzione dell'impianto, infatti, ogni qual volta veniva installato una nuovo componente elettrico, elettromeccanico o un sensore collegato ad uno slave, il controllo di questo veniva integrato nel suddetto software. Così facendo, da PC, è stato possibile testare ogni singola parte che costituisce l'intero impianto. In figura 3.17 si può osservare, sulla destra l'interfaccia utente, mentre sulla sinistra tre spaccati di linguaggio G.

Il secondo software, "automatico", è il cervello dell'impianto, infatti grazie ad esso è possibile far lavorare in contemporanea tutte e sei le stazioni (Figura 3.18, sulla destra). Il software, periodicamente, interroga e comanda i vari slave (stazioni e paranchi), infatti in funzione delle risposte ottenute il software darà i comandi alle varie periferiche in modo da rispettare gli schemi a blocchi mostrati nei paragrafi precedenti. In fase di progettazione delle varie periferiche, è stato utilizzato un software in grado di simulare l'hardware dell'intero impianto di lavorazione delle piante di ginestra (Figura 3.18, sulla sinistra). Grazie ad esso, è stato possibile sviluppare in laboratorio entrambi i software ("automatico" e "manuale"), potendo virtualizzare tutte le periferiche dell'impianto e quindi interfacciarle con i software stessi.

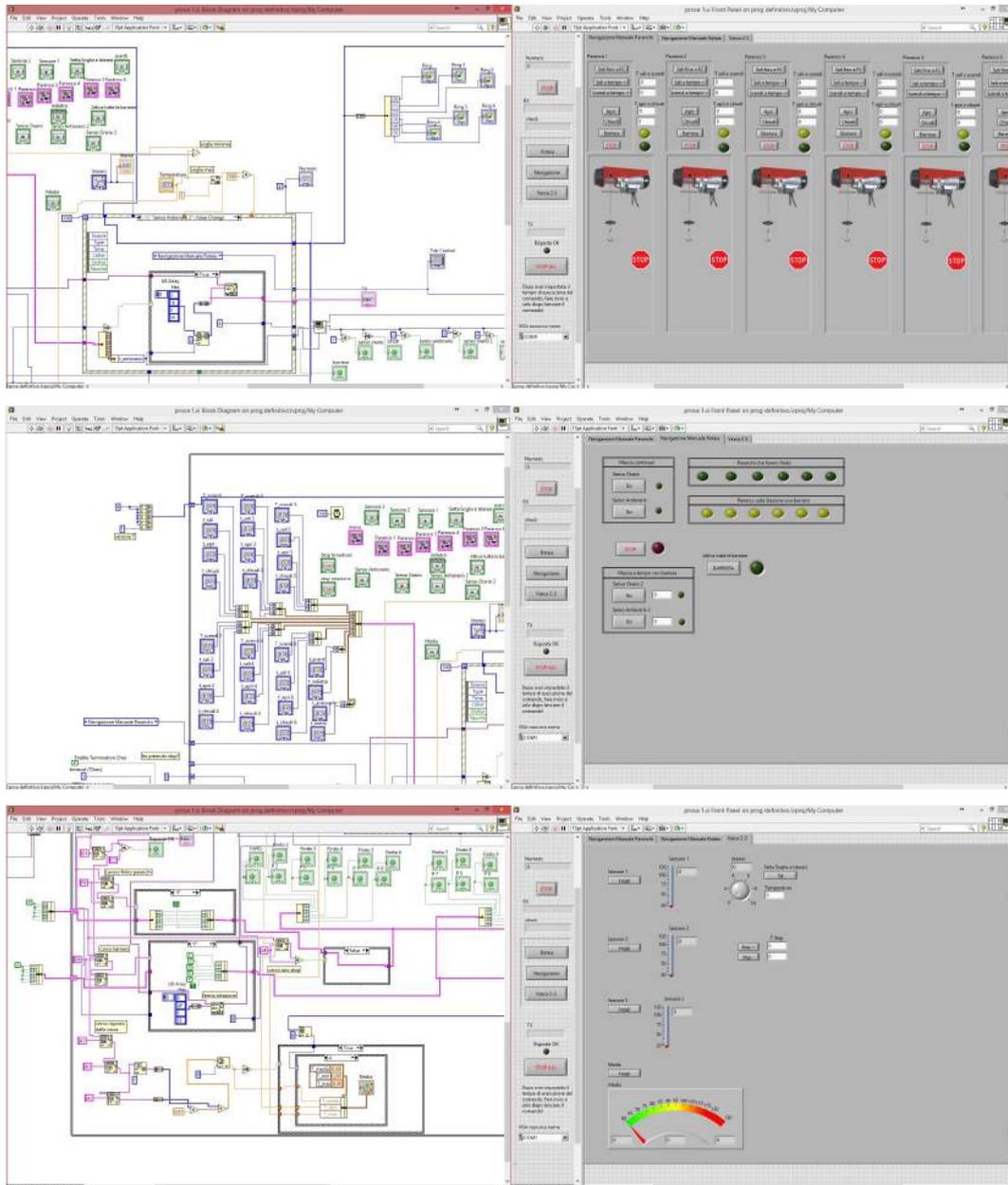


Figura 3.17: Interfaccia e codice del software “manuale”

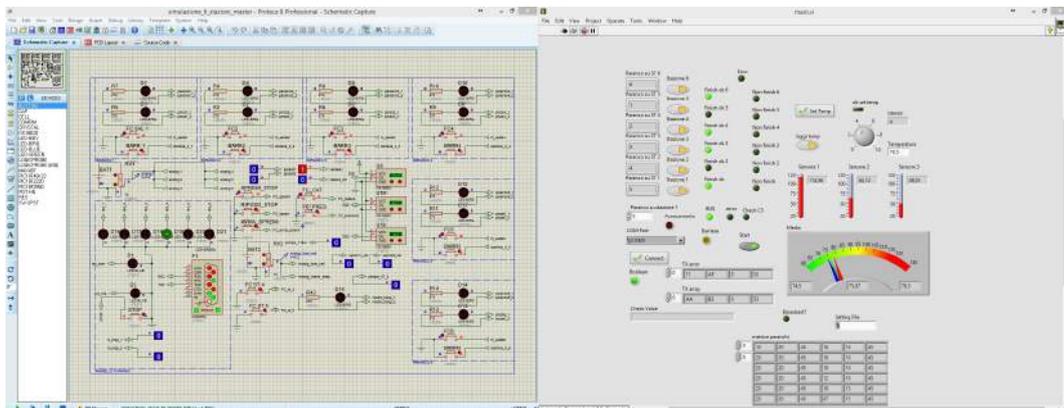


Figura 3.18: Software “automatico” e di simulazione dell’impianto

Capitolo 4

Quarto capitolo

In questo capitolo sarà mostrato l'impianto termico ausiliario all'impianto per l'estrazione della fibra dalle piante di ginestra, descrivendo i vari componenti di cui è composto e i motivi, funzionali ed economici, che ne hanno determinato la loro scelta. Esso possiede il compito di fornire il calore e l'acqua calda necessari, affinché la vasca di macerazione soddisfi le condizioni termodinamiche necessarie ad un corretto svolgimento del processo di cottura delle piante.

4.1 Fabbisogno termico dell'impianto

La stima del fabbisogno termico di un sistema è un'operazione notevole importante nella progettazione di un impianto termico. Sui risultati che essa fornisce, infatti, viene stabilita l'entità del carico termico che l'impianto fronteggia, fornendo al sistema l'adeguata potenza termica affinché questi, riesca a portarsi e a mantenersi in un determinato stato termodinamico. Nella progettazione dell'impianto termico si è cercato di ottenere una stima che sia la più precisa possibile, in modo da dimensionare un impianto che garantisca lo svolgimento dei processi alle condizioni termodinamiche stabilite e che nel contempo, non costi più del necessario.

4.1.1 Dispersioni termiche della vasca di macerazione

La geometria del modello semplificato della vasca di macerazione è riportata in figura 4.1. Essa è costituita da lastre in acciaio AISI 316 dello spessore di 2mm, opportunamente saldate per ospitare $4m^3$ di acqua (per ipotesi distillata), fornita dalla rete idrica alla temperatura di 10°C .

Il massimo grado di dispersione energetica si verifica a vasca piena di liquido a temperatura di esercizio (80°C). Durante la progettazione dell'impianto, si è ritenuto utile effettuare una analisi per zone della vasca e di raggruppare quindi, i flussi termici e di materia in dispersioni dal fondo vasca, dispersioni dalle pareti verticali (lunghe e corte) e dispersioni dallo specchio d'acqua.

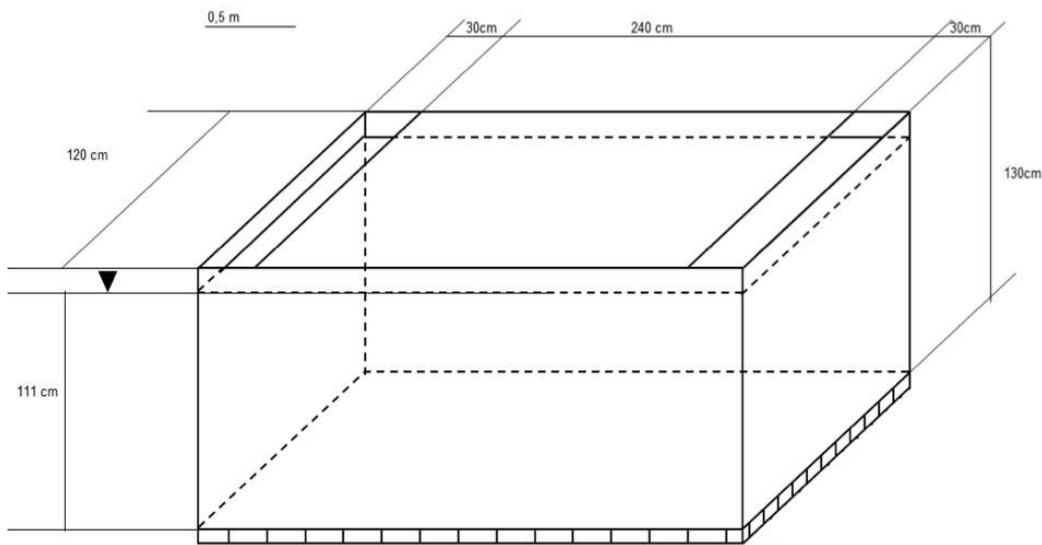


Figura 4.1: Modello semplificato della vasca di macerazione

Per quanto riguarda la dispersione termica di fondo vasca, l'unica possibile, salvo problemi di tenuta, è quella per contatto con il suolo. Il meccanismo con cui avviene il trasferimento energetico è esclusivamente per conduzione ed è dovuto al contatto, mediato da strati di materiale diversi, tra l'acqua a temperatura di 80°C ed il pavimento che per ipotesi, è alla temperatura di 10°C . Per limitare la dispersione termica dal fondo, il contatto fra pavimento e vasca è mediato da uno strato di mattoni refrattari isolanti, aventi conducibilità termica molto bassa e con uno spessore di 8,5 cm. Per la loro posa, al fine di incrementare la resistenza termica, si è anche valutata l'ipotesi di una disposizione geometrica atta a realizzare cavità distribuite in modo che, una frazione della superficie del fondo vasca fosse separata dal suolo da piccole cavità contenenti aria. L'idea è stata abbandonata perché, nonostante le proprietà isolanti del fluido, i benefici sono stati valutati già poco apprezzabili nell'ipotesi di aria ferma all'interno delle cavità e quasi del tutto vanificati dalla difficoltà di impedire la fuoriuscita di flussi d'aria tra le cavità e l'esterno.

Per quanto riguarda le dispersioni dalle pareti verticali, la sottrazione del calore dall'acqua in vasca, avviene secondo il meccanismo radioattivo-convettivo ed avviene esclusivamente dai lati esterni delle pareti. Vista l'entità della superficie delle pareti e considerata l'elevata temperatura esterna delle stesse (assumendo lo spessore della parete trascurabile si pone la temperatura a 80°C), la presenza di un isolamento termico per limitare l'entità della dispersione è assolutamente necessaria. Come isolante, si è deciso di applicare lastre adesive in elastomero espanso a celle chiuse dello spessore di 6 cm.

In fine, si arriva alla dispersione termica proveniente dallo specchio d'acqua, che risulta quella più significativa. Questa è dovuta all'elevata temperatura, alla natura

liquida della superficie e alle proprietà fisiche dell'acqua, che rendono particolarmente importanti i fenomeni di sottrazione energetica dal contenuto della vasca. Allo scopo di contenere le perdite energetiche il più possibile, si è pensato di applicare una estesa superficie in acciaio AISI 316 a copertura dello specchio, che lascia lo spazio strettamente necessario all'immissione e all'estrazione delle piante. La copertura realizzata crea una cavità al di sopra dello specchio d'acqua capace di contenere le dispersioni energetiche e di materia captando la gran parte della radiazione emessa dalla superficie liquida e trattenendo i flussi di evaporativi e convettivi. In tal modo si stimola la formazione di un cuscino di aria umida satura (idealmente ferma), che ricopre la superficie libera del liquido in vasca. Nel far questo, le pareti della cavità si riscaldano e pertanto si è pensato di isolare anche la superficie esterna della copertura applicando le stesse lastre di elastomero espanso usate per le pareti verticali. Ciò allo scopo di inibire gli effetti dispersivi dei meccanismi convettivi e radioattivi rivolti verso l'ambiente che ridurrebbero l'azione di contenimento della copertura.

4.2 Produzione energetica

Nella sezione seguente si mostrerà con quali mezzi l'impianto riesce a fornire l'energia adeguata per il funzionamento corretto del processo di macerazione. Verranno mostrate, infatti, scelte di fondamentale importanza quali: il tipo di combustibile e fluido termo-vettore, il modello di caldaia, bruciatore e la linea di alimentazione combustibile.

4.2.1 Combustibile e fluido termo-vettore

Per la produzione energetica dell'impianto di estrazione sono state valutate diverse alternative tra cui l'impiego di collettori ad energia solare. Ma il costo di acquisto e di installazione, si è dimostrato non conveniente per gli scopi di sperimentazione. Per cui si è deciso di utilizzare una forma energetica a combustibile GPL. Esso è composto per circa il 30% da propano commerciale e per il 70% da butano commerciale. Secondo le indicazioni ministeriali¹, il GPL è un gas liquefattibile a temperatura ambiente, avente tensione di vapore massima di 18 bar a 50°C e densità non inferiore a 440 kg al metro cubo a 50°C. Ha un potere calorifico inferiore pari a $\Delta_c H_i^\circ = 46,1 \text{ MJ/Kg}^2$. Rispetto a gas naturale e gasolio, la scelta del GPL come combustibile, si è dimostrata la soluzione più pratica in quanto è "pulito", ha un alto potere calorifico, è fornibile per trasporto ed è stoccabile in appositi serbatoi. Quello a disposizione dell'impianto, ha capienza di 1 m^3 .

Altra scelta molto importante è stata fatta sul tipo di fluido termo-vettore da utilizzare, la cui funzione è quella di trasportare l'energia termica dalla caldaia alla

¹Decreto del Ministero dell'Interno (1994).

vasca di macerazione. Tale scelta è stata fatta valutando tra i fluidi che consentono il trasporto di energia ad alta temperatura (vapore e olio diatermico) e i fluidi caratterizzati da capacità termica maggiore (acqua). Ma sono stati scartati i fluidi diatermici per la loro tossicità e perché il loro impiego avrebbe comportato la realizzazione di configurazioni di impianto e procedure manutentive eccessivamente complesse. Allo stesso modo, sono stati ritenuti poco idonei i fluidi aeriformi, perché obbligatoriamente bisognosi di trattamento per l'abbattimento della durezza e della installazione di condotte parallele ai tubi della sezione trasporto per la raccolta di condensa, raddoppiando di fatto i metri di tubazione necessari. Perciò, la scelta del fluido termo-vettore è ricaduta sull'acqua, fluido facilmente reperibile e dotato di capacità termica praticamente doppia rispetto agli altri due fluidi termo-vettori. Quest'ultima proprietà consente, a parità di portata, il trasporto di una quantità praticamente doppia di energia termica. Ciò si traduce in un ulteriore vantaggio economico al momento del dimensionamento delle sezioni dei condotti, potendo scegliere sezioni più piccole.

4.2.2 Caldaia, bruciatore e linea di alimentazione combustibile

La temperatura di mandata, per consentire fenomeni di scambio termico convettivo adeguati, deve essere superiore alla temperatura della vasca di macerazione, stabilita in 80°C. A parità di gradiente termico fra ingresso e uscita nello scambiatore del fluido termo vettore e quindi di potenza termica "disponibile", uno scambiatore che opera a temperature più alte, richiede una superficie di scambio più piccola. Il vantaggio si traduce in due effetti positivi: minor costo di realizzazione dello scambiatore, sicuramente una delle voci più significative visto il materiale utilizzato (AISI 316 L); vasca non soffocata dalle tubazioni, quindi maggiore volume utile di immersione per le ginestre con riduzione del rischio di ancoraggi dei rami ai tubi e minore superficie da sottoporre a manutenzione.

Avendo scelto come fluido termo-vettore l'acqua, il generatore termico deve essere costituito dalla coppia caldaia-bruciatore. Per un corretto dimensionamento, i parametri da considerare sono la massima potenza termica richiesta e la temperatura di mandata. La potenza termica all'avviamento è di circa 80 kW, di cui l'80% è richiesta per un avvio rapido dell'impianto, stimato in 5 ore. Il tempo scelto è giustificato dal fatto che, trattandosi di un impianto sperimentale, non è nota la frequenza di interventi manutentivi da eseguire a vasca vuota, quali ispezioni, pulizia, riparazioni e sostituzione.

Le caldaie considerate, per lo scopo, sono quelle di serie destinate al riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria. Tra queste, in un'indagine da cataloghi disponibili in rete, la caldaia Euro Bon Jet HR 100 della Bongioanni (Figura 4.2)



Figura 4.2: Caldaia dell'impianto termico

è quella che per caratteristiche tecniche e prezzo di acquisto², si è dimostrata più aderente alle necessità sopra esposte. Si tratta di una caldaia a basamento a più passaggi di fumo, caratterizzata da una potenza termica nominale di 100kW, il cui surplus di potenza, rispetto al fabbisogno, può essere sfruttato per un avviamento ancora più rapido³. In più essa possiede una temperatura di massima di mandata pari a 90°C, una temperatura di sicurezza di sicurezza pari a 110°C e può operare ad una pressione massima di esercizio di 5 bar.

L'accoppiamento caldaia-bruciatore deve soddisfare due condizioni. La prima è che la potenza nominale della caldaia ricavabile dai dati di targa, sia compresa tra i valori di potenza minima e massima esprimibili dal bruciatore, anche essi forniti dai produttori (Figura 4.3). La seconda è la verifica che il punto di lavoro della caldaia, cada nel campo di lavoro del bruciatore⁴ (Figura 4.3). Tenuto conto di ciò, si è deciso di accoppiare alla caldaia il bruciatore atmosferico a funzionamento monostadio BTG 15 della Baltur, caratterizzato da una potenza termica compresa tra 50 kW e 160kW e da una pressione di adduzione combustibile di 30 mbar (Figura 4.4).

²Sito internet della Bongioanni Caldaie: <http://www.bongioannicaldaie.it>

³Manuale Euro Bon Jet, istruzioni per l'installazione e la manutenzione

⁴G. Scattolin, "Guida pratica alla scelta di un bruciatore".

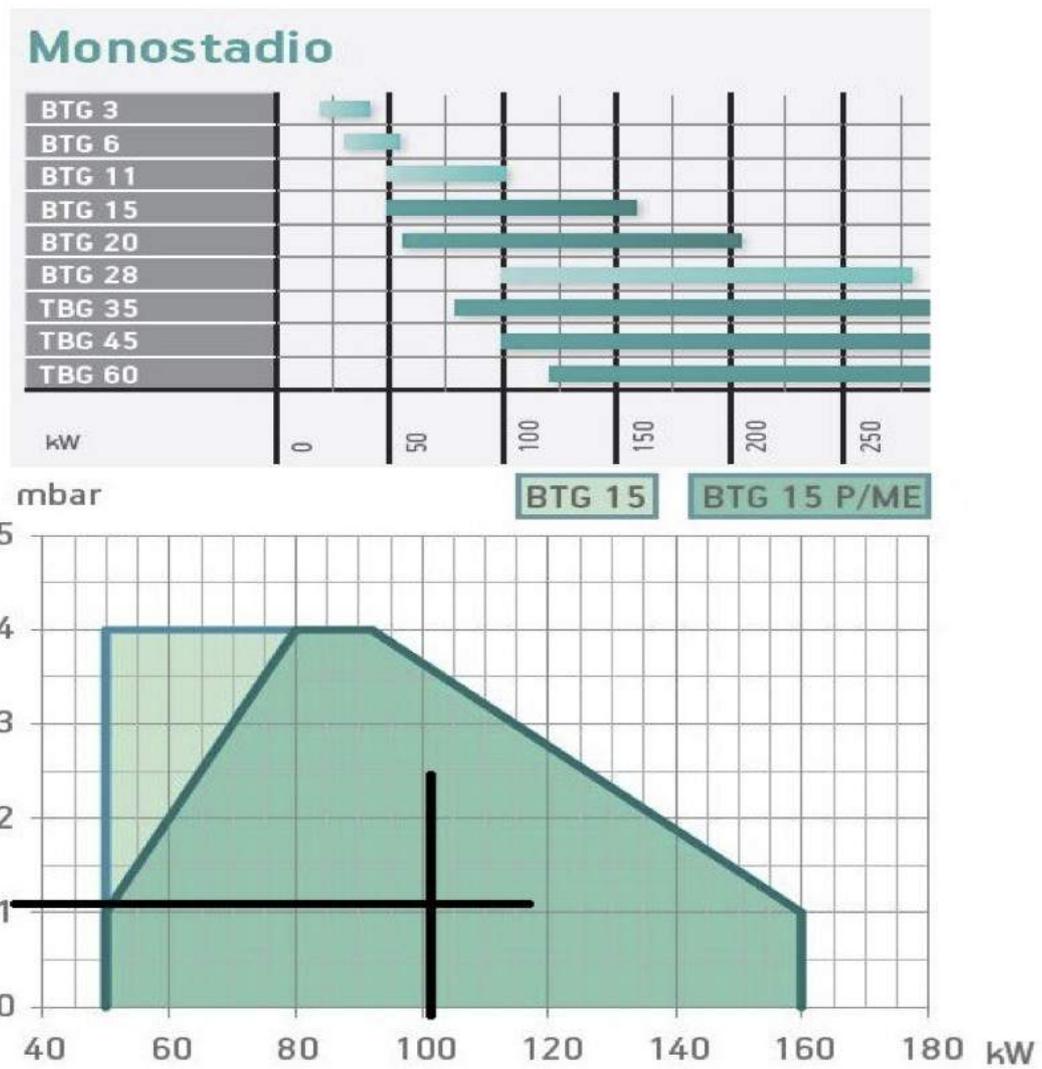


Figura 4.3: Scelta del bruciatore



Figura 4.4: Bruciatore BTG 15

4.2.3 Centrale termica

Seguendo le indicazioni ministeriali⁵, si è deciso di destinare ad uso di centrale termica, il locale adiacente a quello dell'impianto di estrazione delle fibre. Essa ospiterà molti dei componenti dell'impianto termico ausiliario, quali, generatore termico, pompe di circolazione, vasi di espansione, organi di controllo e via discorrendo. Inoltre, tale centrale termica è al pianterreno, possiede tre pareti cedevoli ed ha una altezza di circa quattro metri. Al locale vi si accede dall'esterno tramite porta di ingresso (situata sul lato est del locale), risultando per tanto accessibile ai vigili del fuoco, come da normativa. Essendo la potenza termica nominale dell'impianto inferiore ai 116 kW, alla centrale termica non è richiesta una superficie minima, se non quella sufficiente ad ospitare gli elementi necessari e a consentirne l'esecuzione di tutte le operazioni di manutenzione e pulizia richieste. L'area di diciassette metri quadri ed il posizionamento centrale della caldaia rendono agevole le ispezioni nel locale. Per finire, l'utilizzo di GPL come combustibile, comporta la presenza di una apertura di 0,5 metri quadrati per la ventilazione, di cui almeno i due terzi devono essere poco sopra il pavimento. Per ottemperare a questa prescrizione si è deciso di installare all'ingresso del locale, una porta grigliata in modo da conciliare le esigenze

⁵Decreto ministeriale "Regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, la costruzione e l'esercizio di impianti termici alimentati da combustibili gassosi" (1996).

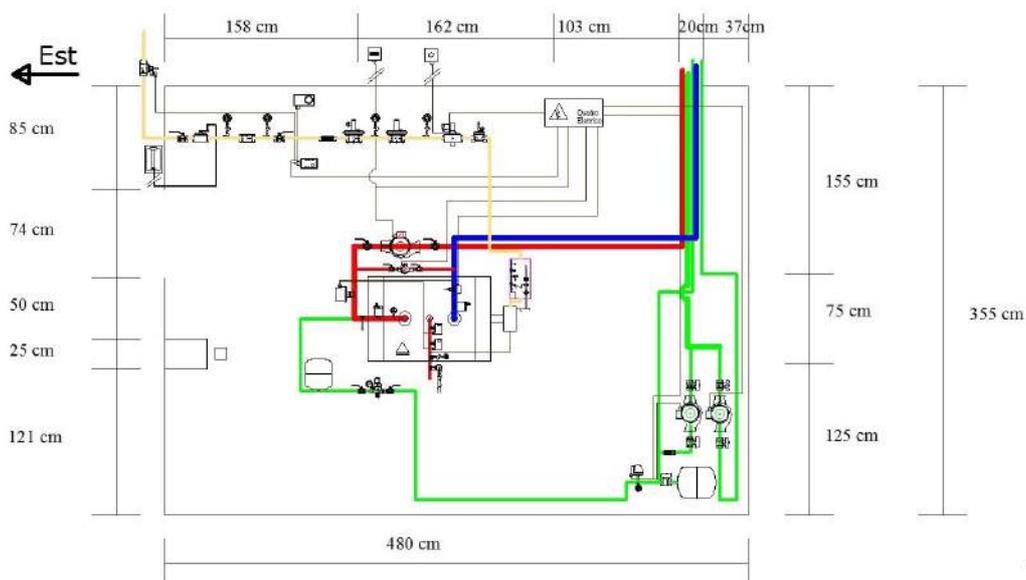


Figura 4.5: Centrale termica

di ventilazione e limitazione all'accesso nel locale.

4.2.4 Linea di alimentazione del combustibile

Il bruciatore per sviluppare la massima potenza termica, deve essere alimentato con una adeguata portata di combustibile e quindi da una sezione di linea di alimentazione e da componenti adeguati. Tra l'altro si noti che, essendo una parte dell'impianto a pericolo elevato, la linea di alimentazione combustibile va assemblata secondo le già citate prescrizioni ministeriali.

Dal serbatoio di stoccaggio da 1 metro cubo, distante 10 metri dall'edificio, inizia la linea di alimentazione (Figura 4.6). La pressione del gas, viene abbattuta fino a 45 mbar da un riduttore di pressione da 20 kg/h. Dal serbatoio parte un primo tratto di alimentazione interrato da 1 pollice in polietilene, che si estende per 18 metri circa. Questo tratto arriva appena fuori la centrale termica, per poi passare, attraverso un opportuno giunto di transizione, ad un secondo tratto in acciaio zincato, che si estende per circa 7 metri, fino ad arrivare al bruciatore (Figura 4.7). Per quanto riguarda i dispositivi si tenga in considerazione, che oltre ai dispositivi la cui presenza è obbligatoria, si è pensato di aggiungere ulteriori dispositivi per aumentare il livello di sicurezza (Figura 4.8). I dispositivi presenti sulla linea sono riportati in figura 4.9 e nella fattispecie abbiamo: un filtro (34), un giunto antivibrante (37), un regolatore di pressione (40), una valvola di intercettazione combustibile (43), una elettrovalvola normalmente chiusa a riarmo manuale (29), una rampa gas a corredo del bruciatore (44), una valvola di blocco massima pressione (39), un rilevatore gas (36) un segna-



Figura 4.6: Serbatoio combustibile

latore acustico luminoso (35) e due dispositivi di interruzione dell'alimentazione gas, i cui azionamenti sono disposti nel locale dell'impianto di estrazione.

4.2.5 Il camino

Per un buon funzionamento dell'impianto termico, occorre un corretto dimensionamento del camino (Figura 4.10). Per fare ciò occorre seguire le procedure indicate nella norma UNI 9615 (fondamenti per il calcolo delle dimensioni dei camini) e nella norma UNI EN 13384-1 (metodi di calcolo delle caratteristiche termiche e fluidodinamiche dei camini asserviti ad un solo apparecchio).

4.3 Sezione di scambio termico

Il carico termico che grava sulla vasca di macerazione è fronteggiato da un scambiatore immerso. Fra le diverse tipologie, è stata scelta quella costituita da un unico tubo, che entrando ed uscendo da uno stesso lato corto della vasca, la percorre più volte per tutta la sua lunghezza. Per il dimensionamento di tale scambiatore è stato utilizzato un metodo iterativo. Tali iterazioni hanno portato ad avere uno scambiatore con area di scambio di 4,79 metri quadrati, formato da un unico tubo da un pollice e un quarto lungo 36 metri.



Figura 4.7: Passaggio dal tratto in polietilene ad acciaio zincato



Figura 4.8: Dispositivi di sicurezza

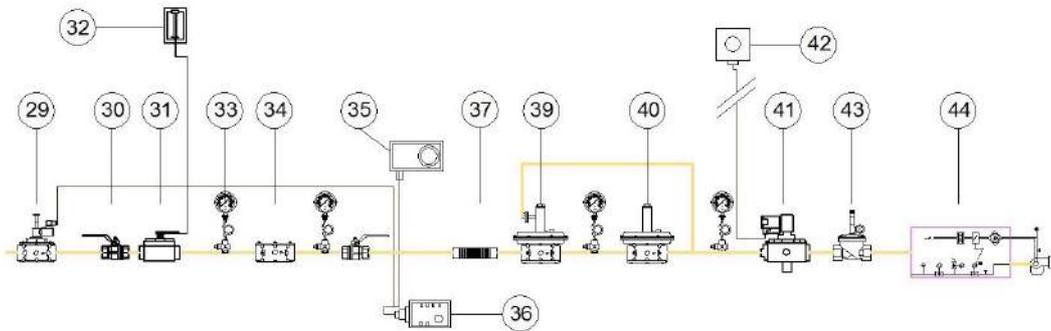


Figura 4.9: Linea gas



Figura 4.10: Camino dell'impianto termico ausiliario

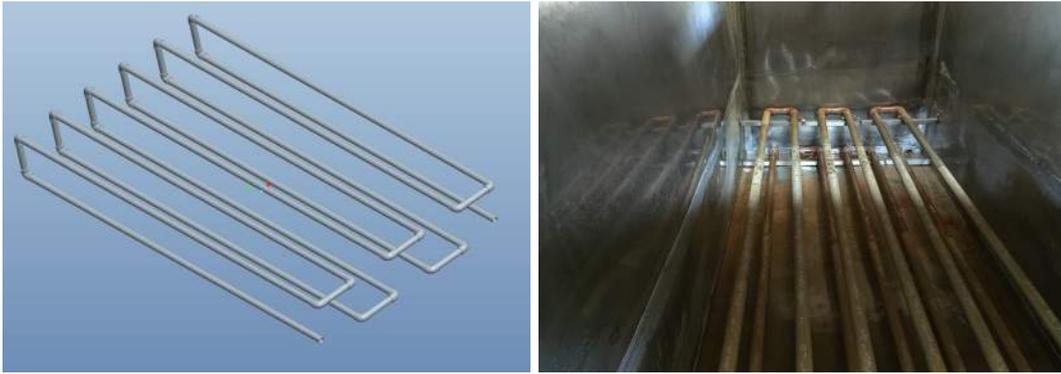


Figura 4.11: Scambiatore termico

Lo scambiatore, dovendo essere immerso nella vasca di macerazione, è stato realizzato in acciaio AISI 316. Per il contenimento dei costi si è pensato di realizzare il collegamento dei tubi di mandata e ritorno non con raccordi ad U, ma con curve a 90° collegati dai pezzi di tubo che dopo il taglio risultano superflui. Per non creare rischi di strozzamento dei flussi convettivi, si è pensato ad una disposizione dei tubi su due livelli come mostrato in figura 4.11.

4.4 Descrizione del circuito

Si presenterà ora il funzionamento del circuito per il riscaldamento della soluzione nella vasca di macerazione attraverso lo schema riportato in figura (Figura 4.12). Il riempimento dell'impianto, viene effettuato con acqua fornita dal serbatoio di accumulo (21), mediante il tratto di rete di distribuzione messo in pressione (a 3 bar) dal gruppo "autoclave", costituito da pompa auto adescante (22), vaso di espansione (23) (50 litri e precarica 3 bar), valvola di ritegno da 1 pollice (23b) e pressostato (24). Quest'ultimo è regolato per attivare la pompa quando la pressione nel circuito scende al disotto di 1,8 bar (ON) e disattivarla quando la pressione raggiunge 3 bar (OFF). Al fine di togliere completamente l'aria dal circuito, la procedura si articola in due fasi. La prima, il cui scopo è quello di togliere l'aria dallo scambiatore, si realizza iniettando il liquido della rete in pressione attraverso la valvola (46). Chiudendo la valvola (45), si impone all'acqua di attraversare lo scambiatore e di spingere l'aria che incontra fino alla caldaia (27), ove si accumula per la maggior parte. Chiudendo la valvola (46) e riaprendo la valvola (45), l'operazione di riempimento riprende e si completa con la seconda fase, nella quale il fluido viene immesso nel circuito dal gruppo di riempimento automatico (14), fino a che non viene raggiunta la pressione statica di 1,5 bar. L'aria presente nel circuito viene fatta defluire definitivamente all'esterno attraverso due valvole di sfogo d'aria automatiche, collocate una sul tratto di mandata e l'altra sul tratto di ritorno ed entrambe poste sui punti più alti.

Nell'impianto sono distinguibili due sezioni in ognuno dei quali vi è un circolatore che imprime il moto al fluido. Essi sono il circuito primario ed il circuito secondario. Nel circuito primario trovano posto, oltre alle valvole di sfogo d'aria automatiche, i dispositivi di controllo e sicurezza per le alte temperature, nello specifico, termometro (1), pozzetto di controllo (2), bitermostato (12), il flussostato (11) e la pompa anticondensa (20). Quest'ultima svolge la funzione di lenire gli effetti sulla temperatura dell'acqua in caldaia provocati dai "ritorni" troppo freddi e quindi, di prevenire fenomeni corrosivi conseguenti alla condensazione dei fumi. Il fluido nel circuito secondario è mosso dal circolatore (19). Fra i tanti disponibili in commercio, si è preferito sceglierne uno dotato di inverter, in modo da avere un minimo di controllo sulla velocità del fluido, requisito particolarmente utile in fase di avviamento del sistema vasca di macerazione. La temperatura e la pressione del fluido termo-vettore vengono misurate mediante termomanometri (17). I punti scelti sono quelli prossimi ad ingresso ed uscita dello scambiatore, in modo da poter risalire alla potenza impressa alla soluzione in vasca (Figura 4.13). Nel circuito secondario è stata realizzata a monte del circolatore di mandata, una predisposizione, inserendo una giunzione filettata a T, affinché sia possibile innestare ulteriori circuiti che possano soddisfare altre esigenze termiche. Secondo le stime fatte, nel corso del funzionamento a regime, il generatore termico offre una disponibilità di 70-80 kW termici, il cui impiego non compromette il normale svolgimento del processo. Una possibile applicazione potrebbe essere quella di alimentare un essiccatore a convezione, nel quale le fibre ricavate, dall'impianto di estrazione, vengono private dell'umidità in eccesso, prima di essere stoccate e/o lavorate.

Infine, in una sorta di appendice del serbatoio della caldaia, realizzata mediante un tratto di tubazione cieca, sono stati collocati i dispositivi di controllo e sicurezza per le alte pressioni. Partendo dalla caldaia vi sono il pressostato di massima (3), il pressostato di minima (4), il rubinetto porta manometro per misurazione con manometro campione (5), il manometro Bourdon (7) e la valvola di sicurezza a membrana tarata INAIL. Il vaso di espansione (10) invece, è collocato nel tratto di riempimento del circuito, tra caldaia e gruppo di riempimento. Sempre nel medesimo tratto è installato il rubinetto (13) per lo svuotamento della caldaia.

4.4.1 Tubazioni ed isolamento

Seguendo le indicazioni delle norme vigenti, il collegamento tra caldaia, scambiatore immerso in vasca di macerazione e tutti i dispositivi riportati nello schema tecnico funzionale, è realizzato mediante tubi e raccorderia in acciaio zincato a collegamenti filettati. La sezione che si è ritenuta ottimale, per il tratto caldaia-scambiatore, è da 1" $\frac{1}{4}$. Per gli altri tratti, nei quali le portate elaborate non superano i 2,5m³/h, la sezione dei tubi scelta è quella da $\frac{3}{4}$.

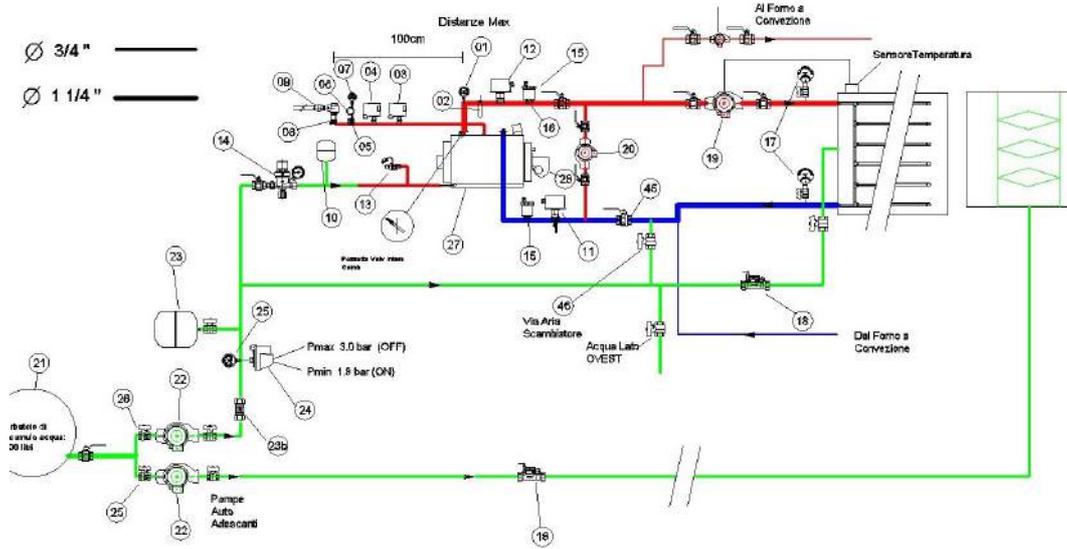


Figura 4.12: Schema tecnico funzionale



Figura 4.13: Termomanometri dello scambiatore

I tubi del circuito di riscaldamento sono rivestiti di isolamento termico costituito da cospelle in lana di roccia dello spessore di 30mm della Assotherm⁶. Ciò è stato fatto sia per contenere le dispersioni termiche, sia per evitare il pericolo di contatto accidentale con superfici calde che potrebbero essere causa di seri danni a persone. L'importanza dell'isolamento delle tubazioni calde, ha anche una giustificazione dal punto di vista delle prestazioni dello scambiatore. Infatti, ad una dispersione di calore consegue sempre una riduzione di temperatura del fluido termo-vettore. Pur partendo dalla caldaia a 90°C, il fluido termo-vettore cederebbe calore all'esterno e potrebbe presentarsi all'ingresso dello scambiatore anche con 5-6°C in meno e ciò comprometterebbe l'opportunità di potare e mantenere la vasca di macerazione alla temperatura di funzionamento (80°C).

4.4.2 Modalità di funzionamento

La procedura di avviamento inizia con il riempimento della vasca di macerazione con 4m³ di soluzione acquosa di idrossido di sodio al 5% a temperatura ambiente, già preparata nella vasca di stoccaggio. Come mostrato in figura 4.14, il trasporto del liquido da una vasca all'altra, avviene attraverso il circuito realizzato con tubi in polietilene ad altissima densità. La prevalenza necessaria è fornita da una pompa chimica Stubbe da 1bar. Riempita la vasca, la procedura di avviamento continua con il riscaldamento della soluzione mediante scambiatore immerso e termina al raggiungimento della temperatura di esercizio di 80°C. In questa fase non è possibile alimentare lo scambiatore con il fluido termo-vettore alle condizioni di regime. Infatti, con una soluzione a temperatura ambiente eccessivamente fredda, il fluido termo-vettore sarebbe costretto a cedere alla soluzione più energia di quanto il generatore di calore riesca ad imprimergli, portando così ad un brusco abbattimento della temperatura in caldaia, che porterebbe ad un mal funzionamento dell'intero sistema. Tale pericolo, viene scongiurato, regolando la temperatura di mandata e la portata. La prima, mediante il termostato per la regolazione della temperatura dell'acqua in caldaia, mentre la seconda, tramite il circolatore con inverter. Nella definizione di un protocollo di temperature e portate da imporre al fluido termo-vettore per un avviamento soddisfacente, non si può prescindere dai limiti di funzionamento della caldaia. Oltre alle già citate potenza massima (100kW) e temperatura massima di mandata (90°C), la Bongioanni stabilisce una differenza di temperatura fra mandata e ritorno non superiore a 15°C e comunque una temperatura minima di ritorno di 50°C.

Nella fase di regime, l'obiettivo è quello di mantenere il sistema alle condizioni termodinamiche stabilite. Si ricorda che queste sono: una temperatura di 80°C in

⁶Catalogo prodotti assotherm.

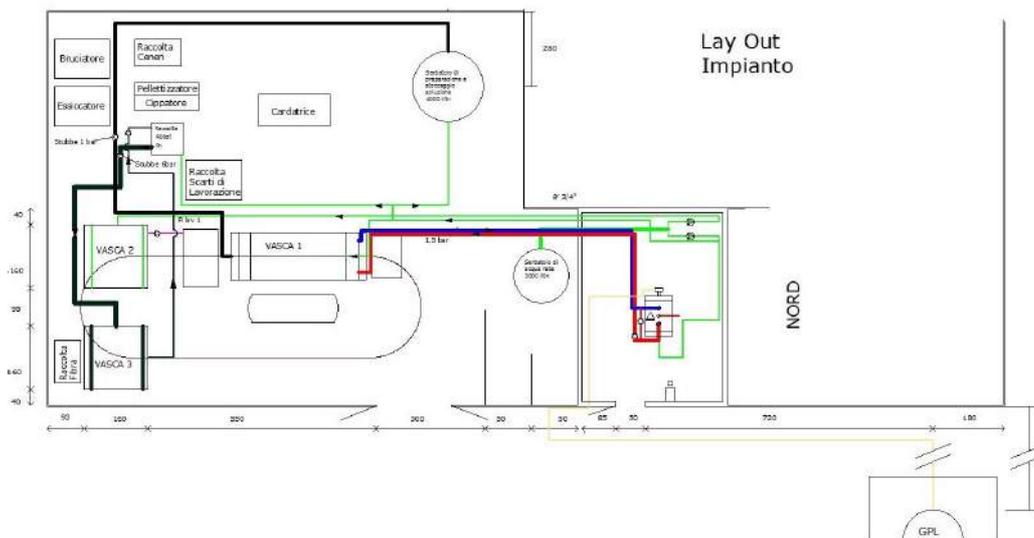


Figura 4.14: Pianta dell'impianto

vasca, una quantità di soluzione di $4m^3$ con una concentrazione del 5% in peso di soda caustica.

Il controllo della temperatura è effettuato mediante l'utilizzo di tre sensori di temperatura, posti a contatto e ad altezze diverse della parete della vasca di macerazione e ricoperti dall'isolante termico in poliuretano. In particolare, il primo è posto in corrispondenza dello scambiatore, il secondo in prossimità del pelo libero della soluzione e il terzo a metà distanza tra i primi due. Quando il valore medio delle tre temperature, scende al di sotto dei $78^{\circ}C$, viene azionata la pompa di mandata (19) e lo scambiatore riprende a riscaldare il liquido in vasca fino a raggiungere una temperatura media di $80^{\circ}C$. Anche la temperatura in caldaia viene mantenuta a 90° dall'elettro-termostato di regolazione (12). Quando la temperatura in caldaia scende al di sotto di $87-88^{\circ}C$, l'elettro-termostato chiude il circuito elettrico ed il bruciatore si accende.

Il mantenimento del livello della soluzione, viene eseguito, reimettendo nella vasca di macerazione, l'acqua risultante dal risciacquo delle ginestre, tramite la pompa dell'unità filtrante. Assumendo valida la stima secondo cui ogni barra porta ginestre porti via $4kg$ di soluzione ogni 2 minuti, il livello del liquido in vasca scende di $6,7$ cm ogni due ore. Aggiungendo anche la quantità di acqua persa per evaporazione, si stima che, per ripristinare il livello in vasca occorre che la pompa del filtro eroghi 250 litri di fluido proveniente dal lavaggio delle ginestre. Tale quantità è appena inferiore alla capacità del serbatoio di stoccaggio dell'unità filtro, per tanto $6,7$ cm costituisce il limite massimo di riduzione del livello della soluzione in vasca. Tenuto conto di questo, si è stabilito che, quando il livello di soluzione in vasca scende di $5cm$, si dà inizio alla procedura di reintegro che termina con il ripristino del livello iniziale del liquido in vasca. Tale livello viene monitorato tramite un livellostato.

Il controllo dell'alcalinità della soluzione è affidata a procedura manuale, che consiste nel prelievo periodico di un campione dalla vasca. Ma nel prossimo futuro si è pensato ad una procedura automatica anche per questo tipo di controllo.

Conclusioni

La tesi di dottorato che è stata illustrata si colloca nell'ambito dell'ingegneria meccanica e più specificatamente nell'area di robotica e automazione. Lo scopo della tesi è stata la progettazione e realizzazione di un impianto automatizzato per l'estrazione di fibre dalla pianta di ginestra. L'impianto, attualmente allocato nel capannone dell'ex-Dipartimento di Difesa del Suolo Vincenzo Marone dell'Università della Calabria (località S. Antonello di Settimo di Montalto), consente di estrarre fibra di ginestra in maniera efficace. Come si è detto nei capitoli precedenti, le fibre di ginestra possiedono ottime proprietà fisico-chimiche e si prestano a molteplici applicazioni. Inoltre, si noti come in questi ultimi anni ci sia un interesse crescente nella ricerca di materiali di derivazione naturale e a basso impatto ambientale. I settori di utilizzo di questa fibra spaziano dal settore tessile alla bio-edilizia, dalla cosmetica alla medicina, ma anche nel settore automotive, nella depurazione dai metalli pesanti e in molte altre applicazioni industriali.

Attualmente l'estrazione di fibre vegetali attraverso trattamenti di tipo chimico-fisico o microbiologico è quasi esclusivamente affidato a lavorazioni manuali, ciò rende questa attività costosa e rischiosa per il lavoratore, che molto spesso entra in contatto con sostanze pericolose per la salute. Scopo dell'impianto realizzato è quello di estrarre fibra di ginestra in maniera automatizzata, per ridurre al minimo l'utilizzo di personale, e soprattutto annullare il contatto con sostanze potenzialmente nocive. Per progettare l'impianto, si è partiti dall'analisi della possibile sequenza di operazioni necessarie per estrarre le fibre di cellulosa e le ramificazioni esterne (vermene), che potrebbero essere utilizzate come isolante termico.

Si sono divise le diverse operazioni, necessarie per la produzione della fibra, in sei stazioni di lavorazione fisicamente separate. Tutte le scelte effettuate evitano l'utilizzo di materiale monouso. Per questo motivo, quasi tutti i componenti sono in acciaio inossidabile, anche per la presenza di sostanze corrosive nel ciclo. Per trasferire le piante da una stazione di lavoro all'altra sono state impiegate delle barre, appositamente progettate per velocizzare le operazioni di aggancio-sgancio delle ginestre. In più per ridurre al minimo il costo del lavoro, soltanto nella prima stazione sarà necessario l'intervento di un operatore, mentre tutte le rimanenti saranno automatizzate. Inoltre le sei stazioni sono state posizionate in una linea di montag-

gio a circuito chiuso, che parte dalla stazione di carico e termina con la stazione di separazione delle piante dalle barre, per riavviare il ciclo immediatamente dopo.

La prima stazione è quella adibita al carico delle ginestre sulle barre. Questa è l'unica stazione controllata direttamente dall'operatore, che provvederà ad agganciare le ginestre sulle barre di acciaio inossidabile. Nella seconda stazione le barre porta ginestre vengono calate nella vasca di macerazione, contenente una soluzione al 5% di idrato sodico e tenuta alla temperatura di 80 °C. Le barre, quindi, vengono spostate da un'estremità all'altra della vasca e qui le ginestre macerano per un tempo di circa 20 minuti, arrivando così alla terza stazione. Terminata la fase di macerazione, sarà possibile prelevare la barra porta ginestre dalla vasca ed effettuare una prima spremitura delle ginestre. Si arriva alla quarta stazione che si occupa del lavaggio delle ginestre dalla soluzione di idrato sodico, che viene recuperata, filtrata e reimpressa nella vasca di macerazione. Dopo questa fase si arriva alla quinta stazione, dedicata al distacco delle fibre dalle piante di ginestra, utilizzando getti d'acqua in pressione e spazzole appositamente realizzate. In fine, nella sesta stazione, vengono liberate le piante prive di fibre dalle barre porta ginestre. La barra, oramai libera, verrà impegnata nuovamente nella prima stazione per avviare un nuovo ciclo di carico.

Durante la progettazione e la costruzione dell'impianto di tesi, è stato redatto e approvato un brevetto [8], mentre un terzo brevetto, sulle spazzole di estrazione, è in fase di stesura.

Nel prossimo futuro verranno ottimizzati i vari processi automatici dell'impianto agendo sul software di controllo e anche su alcuni meccanismi già realizzati, qualora fosse necessario. Ad esempio si potrebbero ridurre il numero di stazioni, unendo la quarta stazione con la quinta per effettuare lavaggio delle ginestre ed estrazione delle fibre in un unico passaggio. Oppure si potrebbero combinare la prima stazione con la sesta stazione per rendere più efficiente la procedura di carico e scarico delle barre porta ginestre. Tutto questo nell'ottica di poter continuamente migliorare l'impianto proposto in questa tesi e renderlo sempre più efficace ed efficiente. Inoltre non è esclusa la possibilità di utilizzare l'impianto anche per l'estrazione di fibra da piante quali canapa, lino, ecc.

Terminata l'ottimizzazione dell'impianto pilota si cercherà di realizzare altri impianti in ginestreti già esistenti per effettuare estrazione di fibra in filiera corta e rendere remunerativi terreni altrimenti poco appetibili economicamente.

Bibliografia

- [1] C ANTONIANI et al. Broom fibre extraction and its commercial possibilities. *Italia Agricola*, 77:189–97, 1940.
- [2] Maurizio Avella, Luca Casale, Ramiro Dell’Erba, and Ezio Martuscelli. Broom fibers as reinforcement for thermoplastic matrices. In *Macromolecular Symposia*, volume 127, pages 211–218. Wiley Online Library, 1998.
- [3] PJ Bellingham. Shrub succession and invasibility in a new zealand montane grassland. *Australian Journal of Ecology*, 23(6):562–573, 1998.
- [4] PJ Bellingham and DA Coomes. Grazing and community structure as determinants of invasion success by scotch broom in a new zealand montane shrubland. *Diversity and Distributions*, 9(1):19–28, 2003.
- [5] Roberta Cassano, Sonia Trombino, Ermelinda Bloise, Rita Muzzalupo, Francesca Iemma, Giuseppe Chidichimo, and Nevio Picci. New broom fiber (*spartium junceum* l.) derivatives: Preparation and characterization. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55(23):9489–9495, 2007.
- [6] PO Downey and JMB Smith. Demography of the invasive shrub scotch broom (*Cytisus scoparius*) at barrington tops, new south wales: insights for management. *Austral Ecology*, 25(5):477–485, 2000.
- [7] MPST AI GER. Natural-fibre composites in structural applications. *Properties and performance of natural-fibre composites*, page 269, 2008.
- [8] P.F. Greco, G. Danieli, M. Donnici, G. Chidichimo, A. Aloise, and A. De Rango. "impianto automatizzato per l'estrazione di fibre vegetali da piante", 06 2014.
- [9] P.F. Greco, M. Donnici, M. Perrelli, S. Meduri, P. Nudo, B. Sinopoli, A. Aloise, G. Chidichimo, and G. Danieli. "progetto di un impianto automatizzato per l'estrazione di fibre dalle ginestre". *Terzo Congresso Nazionale per il Coordinamento della Meccanica, Napoli*, 2014.

-
- [10] Ming Kang, Yvonne M Buckley, and Andrew J Lowe. Testing the role of genetic factors across multiple independent invasions of the shrub scotch broom (*Cytisus scoparius*). *Molecular Ecology*, 16(22):4662–4673, 2007.
- [11] L. Angelini L. Bacci, S. Baronti. *Manuale Di Coltivazione e Prima Lavorazione Della Ginestra Per Uso Tessile*. LaMMA-TEST: Tecnologie Per il Sistema Tessile, Firenze, Maggio 2006. (1).
- [12] Alfonso Crisci Laura Bacci, Silvia Baronti. *IL SETTORE TESSILE IN ITALIA: FIBRE NATURALI E COMFORT. Analisi conoscitiva e prospettive*. 2005. (6).
- [13] De Mastro. *Ginestra di Spagna (Spartium junceum L.)*. In: *Le colture da fibra (a cura di Venturi G. e Amaducci M.T.)*. Edizioni Edagricole, Bologna, 1999. (2).
- [14] S Nekkaa, F Chebira, and N Haddaoui. Effect of fiber treatment on the mechanical and rheological properties of polypropylene/broom fiber *spartium junceum* composites. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 1(3):278–283, 2006.
- [15] Quentin Paynter, Paul O. Downey, and Andrew W. Sheppard. Age structure and growth of the woody legume weed *Cytisus scoparius* in native and exotic habitats: implications for control. *Journal of Applied Ecology*, 40(3):470–480, 2003.
- [16] Mark Rees and Quentin Paynter. Biological control of scotch broom: modelling the determinants of abundance and the potential impact of introduced insect herbivores. *Journal of Applied Ecology*, pages 1203–1221, 1997.
- [17] C. Santulli. A biomimetic approach to the production of sustainable structural composites using plant fibres. *Biologically inspired textiles*, page 95, 2008.