



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

**UTILIZZO DI METODI E STRUMENTI DI AGRICOLTURA DI
PRECISIONE PER LA TRANSIZIONE DI SISTEMI
CONVENZIONALI AD UNA AGRICOLTURA 2.5**

Il caso studio di un'azienda contoterzista per la raccolta di granella

TIPO TESI: SPERIMENTALE

Studentessa:
CENTORAME LUANA

Relatore:
PROF.SSA FOPPA PEDRETTI ESTER

Correlatore:
DOTT. ILARI ALESSIO

ANNO ACCADEMICO 2019-2020

A mio nonno Albino,
per avermi indicato la strada.

SOMMARIO

SOMMARIO	3
ELENCO DELLE TABELLE.....	5
ELENCO DELLE FIGURE	6
ACRONIMI E ABBREVIAZIONI	7
INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI	8
CAPITOLO 1 LA MIETITREBBIATRICE	10
1.1 Generalità.....	10
1.1.1 Testata di raccolta	11
1.1.2 Organi di trebbiatura e separazione	12
1.1.3 Organi di pulizia	14
1.1.4 Unità motrice e organi di regolazione e controllo.....	14
1.2 Evoluzione	15
1.2.1 Testata a strappo (stripper).....	15
1.2.2 Battitore a flusso assiale	17
1.2.3 Sistemi di ventilazione e pre-crivelli	18
1.3 Agricoltura di precisione.....	19
CAPITOLO 2 MATERIALI E METODI.....	21
2.1 Caso studio.....	21
2.2 Dati in campo.....	23
2.2.1 Tempi.....	23
2.2.2 Google Earth.....	24
2.2.3 Informatore dati di trebbiatura	25
2.2.4 Campo.....	25
2.3 Elaborazione dei dati.....	26
2.3.1 Excel	26
2.3.2 QGis.....	27
CAPITOLO 3 RISULTATI E DISCUSSIONE	29

3.1 Generalità.....	29
3.1.1 Tempi in dettaglio.....	30
3.1.2 Produzione.....	34
3.2 Specie coltivate.....	35
3.3 Superficie agricola utilizzabile.....	37
3.4 Indice di regolarità e resa.....	38
3.5 Scarto orario e indice di regolarità.....	40
3.6 Capacità effettiva e indice di regolarità.....	41
3.7 Pendenza media e resa.....	42
3.8 Percorso di lavoro.....	43
CONCLUSIONI.....	46
RINGRAZIAMENTI.....	48
BIBLIOGRAFIA.....	49
ALLEGATI.....	50

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1-1: Regolazione battitore-controbattitore (Bodria, 2013).....	13
Tabella 2-1: Dimensioni della mietitrebbia (CLAAS KGaA mbH, s.d.).....	22
Tabella 3-1: Dati generali	29
Tabella 3-2: Tempi.....	31
Tabella 3-3: Tempo e capacità effettiva.....	32
Tabella 3-4: Produzione e resa.....	34
Tabella 3-5: Superficie dedicata	36
Tabella 3-6: Indice di regolarità.....	39
Tabella 3-7: Scarto orario	40
Tabella 3-8: Capacità effettiva.....	41
Tabella 3-9: Dati pendenza e resa.....	43
Tabella 3-10: Distanza campo-campo e superficie.....	44

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1-1: Schema degli elementi lavoranti della mietitrebbiatrice con allestimento per cereali a paglia (Fusco, s.d.).....	10
Figura 1-2: Schema testata di raccolta e autolivellamento.....	11
Figura 1-3: Gruppo degli organi di trebbiatura e separazione (Fendt, s.d.).....	12
Figura 1-4: Esempio di modello autolivellante.....	15
Figura 1-5: Stripper in epoca romana (Tado et al., 1998).....	16
Figura 1-6: Shelbourne Reynolds stripper header (Low, s.d.).....	16
Figura 1-7: Rotore Small Tube (CaseIH, s.d.).....	17
Figura 1-8: Spirale a pressione negativa (Tang et al., 2019).....	18
Figura 1-9: Sistema di telerilevamento su mietitrebbiatrice (Vita, s.d.).....	20
Figura 2-1: Claas Medion 330H.....	21
Figura 2-2: Schema delle dimensioni.....	22
Figura 2-3: Fase di scarico.....	23
Figura 2-4: Cronometro.....	24
Figura 2-5: Informatore dati di trebbiatura.....	25
Figura 2-6: Esempio di foglio elettronico.....	26
Figura 2-7: Interfaccia QGis.....	28
Figura 3-1: Specie coltivate.....	35
Figura 3-2: Relazione tra superficie e specie coltivate.....	36
Figura 3-3: Resa per specie coltivata.....	37
Figura 3-4: SAU per produttore.....	37
Figura 3-5: Scarto SAU.....	38
Figura 3-6: Resa e indice di regolarità.....	39
Figura 3-7: Scarto ora e indice di regolarità.....	41
Figura 3-8: Capacità effettiva e indice di regolarità.....	42
Figura 3-9: Pendenza media e resa.....	43
Figura 3-10: Percorso di lavoro.....	44
Figura 3-11: Superficie e distanza.....	45

ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

CFD	Fluidodinamica Computazionale
SIA	Sistema Informativo Aziendale
ADP	Agricoltura di Precisione
GNSS	Global Navigation Satellite System
SAU	Superficie Agricola Utilizzabile
TPC	Tempo di Preparazione in Campo
TRM	Tempi di Riposo dalla Manodopera
TM	Tempi Morti

INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

L'oggetto di questa tesi riguarda la valutazione dell'efficienza di una mietitrebbiatrice convenzionale, priva di sistemi di controllo satellitare, rispetto alle macchine di nuova generazione che dispongono di automazione e controllo satellitare. L'ipotesi è che la transizione di questi sistemi convenzionali verso un'agricoltura "smart" sia necessaria e migliorativa per l'azienda contoterzista.

Le motivazioni che hanno spinto a sviluppare questo lavoro di tesi sono varie. In primis, comprendere l'importanza dei sistemi introdotti recentemente per supportare l'agricoltura di precisione e in che misura possono essere introdotti in questo contesto. In secondo luogo, garantire un sostegno tecnico-scientifico alle aziende convenzionali ed agevolare la loro transizione, dimostrandone l'applicabilità e il miglioramento delle condizioni di lavoro.

La tesi ha molteplici obiettivi:

- individuare i limiti dell'agricoltura convenzionale e fornire degli upgrade, nella prospettiva dettata dall'agricoltura di precisione;
- promuovere l'utilizzo di software, anche open source, per l'elaborazione dei dati e la gestione del lavoro, svolgendo quindi la funzione di "Quaderno di Campagna" interattivo;
- fornire delle informazioni implicite alla raccolta di granella, come le correlazioni tra variabili o di carattere puramente agronomico, che contribuiscano ad ottimizzare il lavoro, la resa e la qualità del prodotto;

La realizzazione di questo lavoro di tesi si articola in diverse fasi. Durante la prima fase è stato necessario seguire le operazioni di mietitura in campo, raccogliendo tutte le informazioni ritenute utili a tale scopo e per un periodo di tempo sufficiente ad ottenere delle evidenze scientifiche.

Quindi, nella fase successiva, i dati sono stati inseriti ed elaborati attraverso i software Excel e QGis che saranno trattati nei capitoli opportuni. La fase finale prevede invece l'analisi delle informazioni ricavate e un commento appropriato per trarre le conclusioni.

La tesi si suddivide in: una parte introduttiva per descrivere il fulcro del lavoro, ovvero “La Mietitrebbiatrice”, e le principali evoluzioni che sono state introdotte recentemente; in questa prima parte si è sviluppato anche il tema dell’agricoltura di precisione.

La seconda parte invece si occupa di “Materiali e Metodi” per analizzare dettagliatamente la macchina utilizzata, gli strumenti per la raccolta ed elaborazione dei dati. Serve per fornire al lettore un ausilio alla comprensione del capitolo successivo. Segue, infatti, il capitolo “Risultati e Discussione” dedicato all’esposizione dei risultati ottenuti e all’analisi degli stessi, elaborando un commento.

Infine, le conclusioni per riassumere il lavoro svolto e chiarire quindi se l’ipotesi è stata verificata.

Capitolo 1

LA MIETITREBBIATRICE

1.1 Generalità

«La mietitrebbiatrice è la macchina che realizza – con una sola passata in campo – l'intero ciclo di lavoro, dal taglio dei culmi alla trebbiatura, separazione e pulizia della granella (Bodria, 2013).»

Le componenti della macchina semovente nell'allestimento per la raccolta di cereali a paglia (Fig. 1-1) sono: testata di raccolta, organi di trebbiatura e separazione, organi di pulizia e movimentazione della granella, unità motrice e organi di regolazione e controllo.

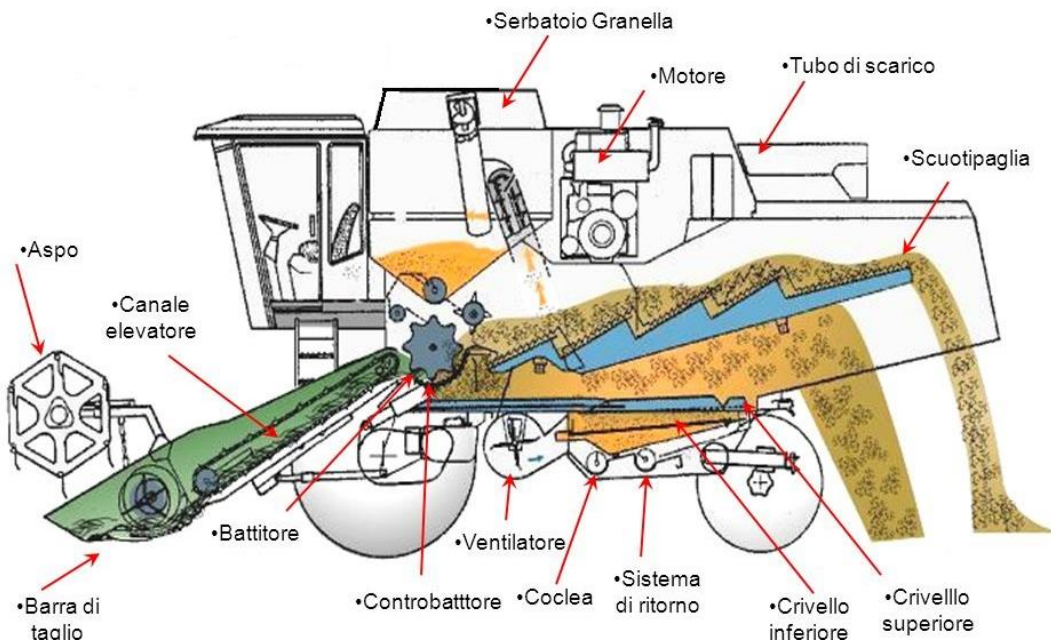


Figura 1-1: Schema degli elementi lavoranti della mietitrebbiatrice con allestimento per cereali a paglia (Fusco, s.d.)

1.1.1 Testata di raccolta

La testata di raccolta, mostrata in Fig. 1-2, è caratterizzata da una serie di elementi: la barra falciante formata da lama oscillante e controlama fissa a denti, eventualmente possono essere agganciati dei denti alzaspighe particolari che hanno la speciale funzione di portare al taglio le colture allettate; quindi, in posizione superiore ruota l'aspo abbattitore che, grazie alla presenza di denti equidistanti e leggermente inclinati, garantisce il moto della coltura appena falciata verso la coclea convergente nel rullo con dita retrattili ed infine nel canale elevatore.

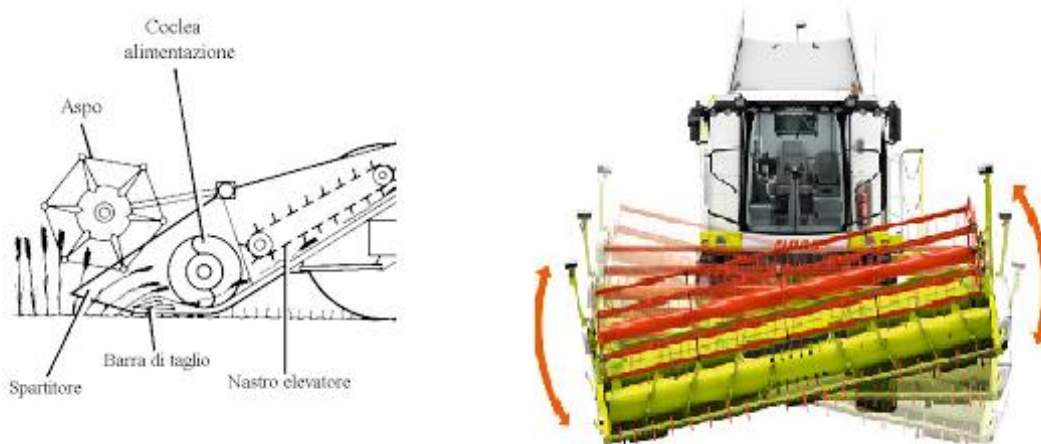


Figura 1-2: Schema testata di raccolta e autolivellamento

La testata è delimitata alle estremità da spartitori carenati, dove è montato il sistema di trasmissione per regolare: le velocità di oscillazione della lama, di rotazione dell'aspo abbattitore e della coclea.

Ogni coltura richiede una particolare testata di raccolta che si adegui alle condizioni di raccolta ma anche alla dimensione del seme, limitando le perdite e alla densità di impianto della coltura stessa. La testata da mais è caratterizzata da separatori ben evidenti che sono progettati in funzione della distanza di impianto; la fila di raccolta viene portata al centro tra due separatori dove sono presenti dei rulli controrotanti che staccano le spighe dallo stelo. Attraverso delle catene dentate queste spighe vengono convogliate verso il canale elevatore seguendo lo stesso percorso descritto in precedenza.

La testata da girasole si distingue per la presenza di vassoi che servono per recuperare acheni e capolini che altrimenti verrebbero persi a terra. È un adattamento alla testata classica, per migliorare la resa di raccolta.

Nel caso del colza si aggiungono delle barre falcianti verticali agli estremi della testata che limitano lo scuotimento perché tagliano le colture, limitando così la perdita che si registrerebbe se la coltura venisse strappata e di conseguenza scossa.

Uno degli aspetti di recente introduzione è l'autolivellamento della testata (Fig. 1-2) grazie ad un circuito elettronico a controllo attivo che governa l'inclinazione e l'altezza della barra di taglio, seguendo l'inclinazione del terreno grazie alle slitte di appoggio; ci sono gli attuatori che eseguono il comando direttamente tramite i pistoni idraulici. Il comando manuale ha importanza prioritaria rispetto a quello automatico, garantendo un margine di controllo all'operatore.

La testata di raccolta si è evoluta nel tempo per migliorare la qualità del prodotto raccolto e il sistema di lavorazione della macchina; si è passati da sistemi di taglio orizzontale e, all'occorrenza, verticale verso sistemi a strappo come vedremo nel prossimo sotto-capitolo.

1.1.2 *Organi di trebbiatura e separazione*

Il prodotto che è stato appena falciato viene convogliato dal rullo all'interno del canale elevatore, culminante negli organi di battitura. Infatti, fanno parte di questa sezione il battitore a flusso tangenziale e lo scuotipaglia, mostrati nella Fig. 1-3.

Come nel caso precedente, gli organi lavoranti si sono evoluti e sono stati introdotti dei sistemi ibridi e, ancor più recentemente, i battitori a flusso assiale.



Figura 1-3: Gruppo degli organi di trebbiatura e separazione (Fendt, s.d.)

Il battitore trasversale è caratterizzato da un rotore, un cilindro con delle barre trasversali che esplicano l'azione nei confronti delle spighe ruotando contro una griglia che segue lo stesso perimetro. La larghezza del battitore è generalmente data dalla proporzione con la larghezza della testata di raccolta, ovvero 1 m di battitore ogni 3 m di testata; sono legate in modo imprescindibile dalla mole di materia organica che deve essere lavorata.

Il binomio battitore – controbattitore esercita l’azione vera e propria di trebbiatura, grazie a specifiche distanze e velocità di rotazione come specificato nella seguente Tabella 1-1.

Tabella 1-1: Regolazione battitore-controbattitore (Bodria, 2013)

Prodotto	Velocità di rotazione		Apertura controbattitore	
	(m/s)	(giri/min)	Anteriore (mm)	Posteriore (mm)
<i>Frumento</i>	25-30	790-950	13	5
<i>Orzo</i>	28-32	890-1000	12	6
<i>Mais</i>	15-22	490-700	20	15

I valori ottimali per ogni coltura vengono definiti dalle case costruttrici delle mietitrebbiatrici ma devono essere controllati ed aggiustati sulla base della realtà operativa. Proprio per questo motivo hanno un controllo elettroidraulico dalla cabina di comando, massimizzando così l’efficienza di lavoro.

Un caso particolare è il battitore per il riso a cui si richiede un’azione delicata per limitare i danneggiamenti del prodotto. Sono presenti dei denti del battitore complementari a quelli del controbattitore.

Successivamente all’azione di trebbiatura, si ha la separazione della granella e della pula dalla paglia attraverso il controbattitore. La paglia e le parti non trebbiate avanzano su una serie di lamiere forate ed inclinate che presentano un moto oscillatorio/sussultorio, utile per separare in maniera eccellente la granella dalla paglia. In pratica si attraversa il complesso dello scuotipaglia, costituito da 4÷8 elementi per una superficie di lavoro complessiva di 3,5-4,5 m² per metro di larghezza del battitore.

La granella viene setacciata verso il piano preparatore, riunita a quella precedente, mentre la paglia è espulsa all’esterno.

Il sistema ibrido a cui si fa riferimento all’inizio di questo sotto-capitolo nasce dall’idea di migliorare l’azione degli scuotipaglia e garantire una efficacia di separazione in qualsiasi condizione operativa. Le soluzioni migliorative introdotte nel corso del tempo sono molteplici, ad esempio: aggiunta di aspi che distribuiscono omogeneamente la paglia sul piano di lavoro oppure aggiunta di un tamburo dentato con apposita griglia in posizione anteriore rispetto al battitore; quest’ultimo caso migliora nettamente il recupero di granella prima che la paglia giunga agli organi di separazione ma, contemporaneamente, peggiora la qualità della paglia in uscita.

Questo sistema ibrido diventa obsoleto laddove si aumenta la potenza installata e la capacità di lavoro della macchina.

1.1.3 *Organi di pulizia*

Il sistema classico prevede la cooperazione tra piano preparatore, crivelli e ventilatore. Il piano preparatore accoglie la granella proveniente dalle due separazioni viste nel sottocapitolo precedente; si tratta di una lamiera inclinata che invia il prodotto ai crivelli. Ci sono due crivelli sovrapposti entrambi forati o a lamelle regolabili in funzione della coltura: quello superiore ha una superficie di lavoro maggiore rispetto a quello inferiore.

In posizione antistante i crivelli, c'è un ventilatore centrifugo che fa fluire aria tra le due lamiere. Il suo compito è quello di allontanare materiale residuo leggero (ad esempio pagliuzze e pula) ma lasciando cadere la granella, che ha un peso maggiore. Se dovessero esserci spighe non trebbiate, queste verrebbero trasportate nuovamente agli organi di trebbiatura tramite una coclea.

Al di sotto del crivello inferiore, è situato un trasportatore a coclea che trasporta la granella al serbatoio di raccolta con una capacità di 3-4 m³ per metro di larghezza del battitore.

1.1.4 *Unità motrice e organi di regolazione e controllo*

Attualmente tutte le macchine sono semoventi. L'unità motrice è costituita da un telaio che ha come base due assi articolati: anteriore e posteriore. Su quello anteriore sono montate le ruote motrici, generalmente gommate pneumatiche; su quello posteriore invece le ruote direttrici. In realtà ci sono dei modelli, sviluppati per particolari condizioni di lavoro come zone di forte pendenza, in cui si hanno quattro ruote motrici.

Per quanto riguarda gli organi di regolazione e controllo, sono stati introdotti sistemi elettronici che, direttamente dalla cabina di comando, controllano i meccanismi di regolazione della mietitrebbiatrice. Ad esempio: i modelli autolivellanti sono in grado di rilevare l'inclinazione della macchina e garantire all'operatore, ma anche a diverse componenti della macchina (crivelli e tramoggia), di mantenere posizione orizzontale; in questo modo si rende massima la capacità operativa. Il sistema autolivellante usufruisce di sensori di pendenza che innescano lo scorrimento dei pistoni idraulici montati su entrambi gli assi delle ruote, come è evidenziato dalla Figura 1-4. Un dettaglio rilevante deriva dal fatto che i pistoni sono completamente indipendenti l'uno dall'altro.



Figura 1-4: Esempio di modello autolivellante

1.2 Evoluzione

La mietitrebbiatrice si è evoluta nel tempo con l'obiettivo di migliorare la qualità di lavoro per l'operatore, la qualità della granella ed anche la capacità operante della macchina. Uno studio recente, sviluppato in Russia presso la Volgograd State Agrarian University, ha evidenziato l'importanza di creare un database di informazioni essenziali per applicare dei modelli matematici; per esempio trasmettere informazioni relative alla coclea per i cereali, setacci, tamburo trebbiante ed estensioni. Gli algoritmi utilizzati hanno l'obiettivo è di migliorare la produttività (Tronev et al., 2019).

1.2.1 Testata a strappo (*stripper*)

Lo stripper costituisce una soluzione particolare della testata di raccolta. Il principio su cui si basa la lavorazione della spiga è l'alternanza di pettinamento e strappo: ci sono dei pettini radiali adattabili a varie condizioni che strappano la granella o la spiga, riducendo nettamente la necessità di lavorare la paglia.

Nel 1998 è stato pubblicato un documento (Tado et al., 1998) che mette in luce i punti salienti dell'evoluzione della testata di raccolta. Le prime testimonianze risalgono ai romani, con un sistema molto semplice (Fig. 1-5): un contenitore in legno e dei pettini anteriori che avevano la funzione di strappare la spiga.

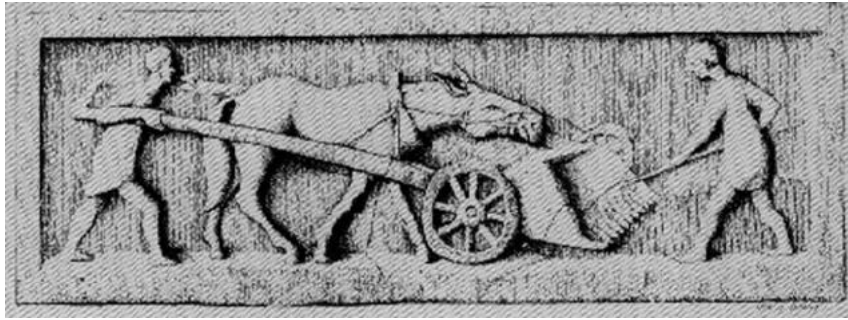


Figura 1-5: Stripper in epoca romana (Tado et al., 1998)

Attualmente il sistema più utilizzato sia nella ricerca sia in agricoltura, sperimentando condizioni di lavoro diversificate, è quello sviluppato da Silsoe Research Institute e commercializzato da Shelbourne Reynolds Engineering Ltd (UK) come mostrato in Fig. 1-6. Il modello costruito presenta degli elementi di strappo montati sul rotore trasversale, con lo scopo di mantenere un'adeguata larghezza di lavoro; tali elementi sono a "V" con dei fori da 20 mm alla base per consentire l'azione vera e propria di strappo.

La testata a strappo ha dato risultati più che positivi per il grano, ma anche per orzo e semi di foraggiere. Sicuramente la sua performance dipende da fattori esterni quali l'altezza dei culmi e la velocità di avanzamento; ad esempio, nella trebbiatura del grano è importante mantenere un'altezza di 100-150 mm dal suolo per minimizzare le perdite.



Figura 1-6: Shelbourne Reynolds stripper header (Low, s.d.)

Nonostante si tratti di una innovazione interessante sotto diversi punti di vista, non è esente da alcuni limiti. In primis, le colture allettate fanno registrare ingenti perdite perché la testata non recupera le spighe da terra. Inoltre, su grano seminato con bassa densità o immaturo non si ha buona performance.

Le prospettive per il futuro riguardano il superamento del sovraccarico della granella che giunge ai setacci, migliorando ulteriormente la capacità di lavoro e sfruttare il potenziale meccanico della mietitrebbiatrice. Di sicuro, le testate stripper rappresentano la tecnologia del futuro.

1.2.2 Battitore a flusso assiale

Il battitore a flusso assiale è il risultato del connubio delle operazioni di trebbiatura e separazione. In pratica si tratta di un controbattitore a maglia variabile all'interno del quale ruota un rotore che consente sia l'avanzamento del prodotto verso gli altri organi sia la separazione della granella dalla paglia.

Le operazioni di trebbiatura si svolgono nella prima sezione del rotore, dotata di una vite senza fine, mentre quelle di separazione nella seconda sezione, caratterizzate da alette regolabili in funzione del tipo di granella (Fig. 1-7). Attualmente la regolazione avviene automaticamente tramite le informazioni che vengono inviate dai sensori alla centralina elettronica.

Tra le case costruttrici pioniere del battitore a flusso assiale va menzionata Case IH, portavoce a livello mondiale dell'evoluzione di questi organi fondamentali della mietitrebbiatrice.



Figura 1-7: Rotore Small Tube (CaseIH, s.d.)

Questo sistema innovativo presenta dei limiti riguardanti il passaggio da flusso tangenziale a flusso longitudinale; l'afflusso di prodotto provoca intasamento. Uno studio condotto di recente da Tang et al. ha evidenziato l'efficacia di un dispositivo a spirale a pressione negativa mostrato in Fig. 1-8, basato sulla CFD (fluidodinamica computazionale) e su un particolare software. I risultati sono promettenti per quanto riguarda il dispositivo a due lame con passo 30 mm perché assicura un flusso regolare del prodotto e stabilizza la curva di consumo energetico.

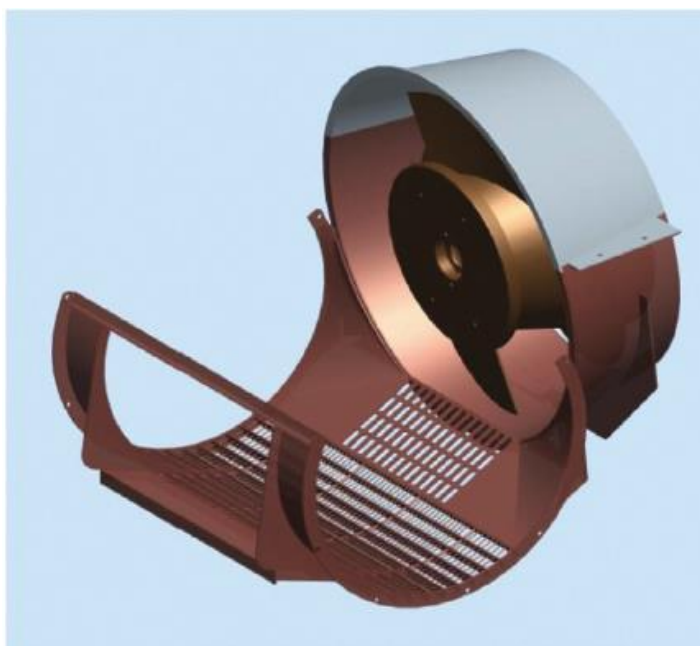


Figura 1-8: Spirale a pressione negativa (Tang et al., 2019)

1.2.3 Sistemi di ventilazione e pre-crivelli

Durante questa fase di lavorazione della granella, il problema principale è il sovraccarico degli organi di pulizia e, di conseguenza, l'inefficienza della macchina. Questo dipende dalla larghezza di lavoro della testata che determina un flusso imponente di prodotto ai crivelli.

Le soluzioni adottate per i ventilatori sono relative ad un aumento del numero degli elementi e l'autonomia l'uno dall'altro; inoltre, il flusso generato è direttamente controllato da un software che lo regola in base al tipo di cereale, alla pendenza e alle condizioni di lavoro che possono modificarne l'efficacia di allontanamento della paglia.

Per migliorare il lavoro svolto dai crivelli, è stato aggiunto un pre-crivello: lamiera forata interposta tra il piano preparatore e il crivello superiore. Ha il compito fondamentale di inviare

la granella già separata al crivello inferiore, riducendo la mole di lavoro da svolgere nelle prime due sezioni.

Altrettanto importante l'evoluzione riguardante la distribuzione omogenea del prodotto in condizioni di lavoro fortemente limitanti. Sono state inserite delle barre per re-distribuire correttamente le spighe e garantire l'efficienza di pulizia anche con pendenze del 23% (Bodria, 2013).

1.3 Agricoltura di precisione

L'agricoltura di precisione si definisce come:

«una gestione aziendale (agricola, forestale e zootecnica) basata sull'osservazione, la misura e la risposta dell'insieme di variabili quanti-qualitative inter ed intra-campo che intervengono nell'ordinamento produttivo. Ciò al fine di definire, dopo analisi dei dati sito-specifici, un sistema di supporto decisionale per l'intera gestione aziendale, con l'obiettivo di ottimizzare i rendimenti nell'ottica di una sostenibilità avanzata di tipo climatica ed ambientale, economica, produttiva e sociale (Blasi et al., 2014).»

L'obiettivo è quello di creare una rete di informazioni utili all'agricoltore per impostare una strategia di lavoro. Il workshop realizzato dal professor Mazzetto, dell'Istituto di Ingegneria Agraria di Milano, si basa sulla necessità di SIA per effettuare analisi, utilizzo, raccolta ed elaborazione dei dati (Mazzetto, 2006). Ad esempio, per le operazioni di raccolta tramite mietitrebbiatrice è possibile registrare una serie di informazioni quali: produzione, umidità, posizione e fertilità del suolo.

L'ADP riduce sia l'impatto ambientale sia il rischio di incidenti, inoltre fornisce significativi miglioramenti degli organi di lavoro della mietitrebbiatrice, riducendo le perdite di cereali. Uno studio condotto di recente all'Università di Shandong dimostra l'utilità di un sistema di controllo automatizzato basato sui sensori fotoelettrici (Changhua et al., 2018); in questo modo si possono risolvere celermente i problemi di calibrazione e garantire un errore di misurazione molto basso.

La mietitrebbiatrice, secondo quanto necessario per sviluppare l'ADP, viene equipaggiata di sistema di rilevamento GNSS (visibile in Fig. 1-9) per la guida semi-automatica; inoltre, sfrutta la tecnologia ISOBUS per controllare la svolta e le operazioni di passata, la velocità di avanzamento e il regime di rotazione della presa di potenza, ma anche l'erogazione dei prodotti eventualmente attraverso algoritmi indipendenti.

Un aspetto non trascurabile in ambito di agricoltura di precisione è il costo da sostenere: i sistemi più efficienti sono anche i più costosi, danno una risposta immediata alle richieste di

calcolo dell'agricoltore e garantiscono un margine di errore molto basso ma possono costituire un ostacolo economico; un esempio è dato dai software descritti in precedenza.



Figura 1-9: Sistema di telerilevamento su mietitrebbiatrice (Vita, s.d.)

Capitolo 2

MATERIALI E METODI

2.1 Caso studio

Il caso studio di questa tesi è il modello Claas Medion 330H 4-Trac (Fig.). La mietitrebbiatrice della casa Claas è equipaggiata con motore DaimlerChrysler OM 906 LA, cilindrata 6370 cm³ e una potenza lorda di 190 kW.



Figura 2-1: Claas Medion 330H

Una delle caratteristiche principali di questo modello è l'impianto autolivellante che consente di regolare la macchina su campi in pendenza ed è costituito da: 4 interruttori di finecorsa, 2 per il livellamento laterale e 2 per il livellamento in altezza, e 2 valvole elettromagnetiche. Il comando manuale prevale su quello automatico, garantendo un margine di controllo all'operatore in situazioni complesse.

L'avanzamento è controllato da un comando idrostatico dalla piattaforma di guida tramite leva e la velocità di avanzamento può essere regolata in funzione del cambio, fino a 27,3 km/h; mentre la velocità in retromarcia è circa il 70% di quella in avanti.

Per quanto riguarda l'impianto frenante è duplice: a pedale idraulico che agisce anche sulla singola ruota e a mano meccanico (indipendente).

Le dimensioni della mietitrebbiatrice sono riassunte nella tabella seguente (Tab. 2-1) e rappresentate graficamente in figura (Fig. 2-2).

Tabella 2-1: Dimensioni della mietitrebbia (CLAAS KGaA mbH, s.d.)

Dimensione	Misura	Note
Larghezza A	3,86 m	Misurato alle ruote anteriori, con pneumatici 620/75 R 26
Lunghezza L	8,17 m	Misurato senza piattaforma di taglio
Altezza H	4,23 m	Misurato in posizione orizzontale
Passo	4,05 m	-

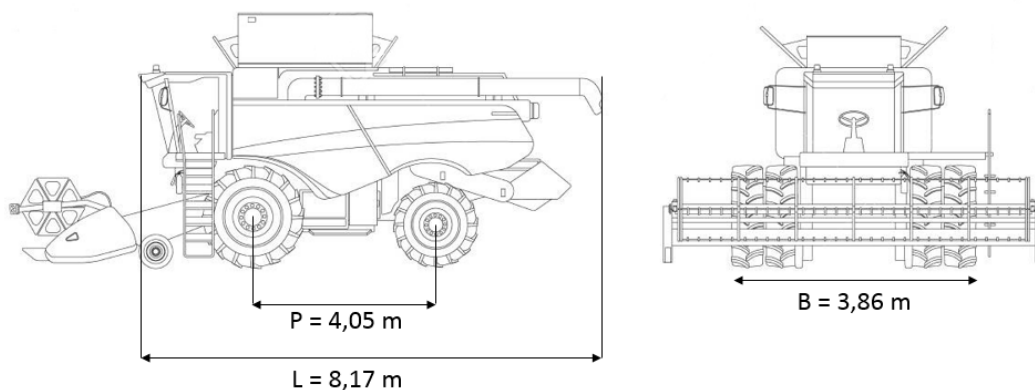


Figura 2-2: Schema delle dimensioni

La piattaforma di taglio ha una larghezza di taglio di 6 m con aspo a denti elastici con 6 elementi. La trasmissione dell'aspo è data dal variatore a cinghia ma l'elettronica permette di regolare il regime a 12-47 giri/min. La piattaforma è caratterizzata dal sistema elettroidraulico e i sensori per l'autolivellamento.

Gli organi di trebbiatura si configurano nel battitore con una larghezza di 1,32 m e diametro 450 mm; il controbattitore da cereali presenta invece 12 traverse e 11 file di fori 10x35 mm. Questi organi sono corredati da una tramoggia parasassi.

Gli scuotipaglia sono 5, proporzionali alla dimensione degli organi di trebbiatura, con un regime di 225 giri/min. La superficie di scuotimento è di 5,80 m².

Gli organi di pulitura sono costituiti da: ventilatore a pale con regime a variazione continua adeguabile alle diverse condizioni di lavoro, crivello superiore a lamelle lunghe e inferiore a lamelle corte. La superficie crivellante totale è di 5,10 m².

La tramoggia per lo stoccaggio dei cereali appena lavorati ha una capacità di 5800 litri, quindi la quantità effettiva stoccabile di grano tenero, grano duro, orzo o altri cereali dipende dal peso specifico puntiforme. Il tubo di scarico è a brandeggio idraulico.

2.2 Dati in campo

La raccolta dei dati in campo ha interessato il periodo tra il 26 giugno 2019 e l'8 luglio 2019, per un totale di 13 giorni. I campi sottoposti ad analisi fanno parte del comprensorio della provincia di Teramo, in particolare nei comuni di Atri, Silvi e Pineto.

Le informazioni essenziali di un campo sono le seguenti: produttore, specie coltivata, coordinate del sito, SAU stimata, pendenza e forma, produzione e resa.

La giornata lavorativa tipo si compone di: preparazione in campo, trasporto in campo e operazioni di raccolta. Nella pratica, le operazioni di raccolta possono essere interrotte da pause (TRM), inconvenienti come le rotture (TM) oppure anche fasi di scarico dei cereali dalla tramoggia della mietitrebbiatrice al carro botte (Fig. 2-3). Nella raccolta dati sono inclusi i tempi di svolta, di passata e la velocità di avanzamento.



Figura 2-3: Fase di scarico

2.2.1 Tempi

I tempi di svolta e passata, di riposo dalla manodopera e tempi morti sono stati calcolati attraverso un cronometro digitale, progettato appositamente per garantire precisione e accuratezza.

Il cronometro è uno strumento molto semplice, disponibile su qualsiasi dispositivo smartphone (Fig. 2-4). Essendo un'osservazione che dipende dall'operatore, è imprescindibile considerare un certo margine di errore, inteso come ritardo nella percezione dell'inizio e della fine della passata/svolta.

Per quanto concerne i tempi di trasporto e preparazione in campo sono stati calcolati come differenza tra l'orario di inizio e fine. I tempi di trasporto possono essere molto variabili in funzione della distanza tra un campo ed il successivo, la necessità di effettuare uno spostamento coordinato su strada o attraverso strade di campagna. Invece il tempo di preparazione in campo, nella maggior parte dei casi, è concentrato nelle prime ore della mattinata per garantire le operazioni di pulizia degli organi e dei filtri, eventuali riparazioni, manutenzione e rifornimento carburante.

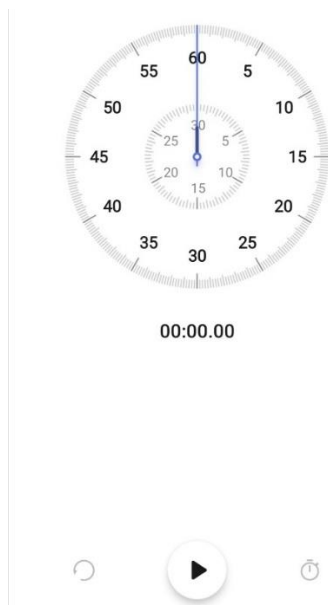


Figura 2-4: Cronometro

2.2.2 Google Earth

Google Earth è un software distribuito gratuitamente dalla Google LLC che, tramite il telerilevamento, fornisce immagini 3D della Terra e un database di informazioni come le coordinate, funzioni esplorative dei luoghi più ricercati e utilizzo di funzioni tecniche come la griglia per latitudine e longitudine.

Il software si è rivelato utile per la localizzazione della posizione, così da assegnare le coordinate al campo di riferimento e generare un percorso di lavoro.

2.2.3 Informatore dati di trebbiatura

All'interno della cabina della mietitrebbiatrice è presente un terminale (Fig. 2-5) in grado di fornire una serie di informazioni relative alle operazioni di trebbiatura. In primis, questo strumento si è rivelato utile per campionare la velocità di avanzamento in tutte le condizioni di lavoro, ad esempio in pendenza o in zone pianeggianti.

Il terminale permette di valutare anche gli ettari lavorati e le ore di lavoro impiegate nella raccolta. Offre anche la possibilità di monitorare il riempimento della tramoggia, grazie ai sensori, attraverso la progressione in “quarti” sul display.



Figura 2-5: Informatore dati di trebbiatura

2.2.4 Campo

In base alle informazioni fornite dal cliente e all'esperienza dell'operatore, la SAU viene stimata e, come vedremo successivamente, è soggetta ad un certo errore rispetto alla SAU effettiva.

Seguendo il metodo empirico, la pendenza è stata categorizzata in classi: bassa, normale, moderata o elevata. È una definizione che dipende dalla percezione. Mentre per quanto riguarda la forma, la classificazione data è la seguente: quadrata, rettangolare o irregolare; in tal caso, grazie alle immagini satellitari, è stato possibile avere un'idea ben precisa della forma del campo visto dall'alto.

I dati della produzione sono stati rilevati indirettamente conoscendo la capacità della tramoggia di circa 5800 litri e il peso specifico del prodotto, in pratica seguendo la formula:

$$\text{Produzione} = \text{Volume (m}^3\text{)} \times \text{Peso specifico (kg/m}^3\text{)}$$

Il risultato, espresso in chilogrammi, viene convertito in quintali. Poi si valuta la resa, mettendo in relazione la produzione complessiva e il tempo impiegato per la mietitura del campo.

2.3 Elaborazione dei dati

Successivamente alla fase di raccolta dei dati, questi sono elaborati per ottenere grafici, risultati confrontabili e condurre indagini di rilievo. Principalmente sono stati utilizzati due programmi informatici: Excel e QGIS.

2.3.1 Excel

Excel è un software prodotto e distribuito da Microsoft per inserire dati e utilizzarli per produrre analisi anche complesse. Il foglio elettronico è organizzato in righe e colonne, alle quali vengono attribuite le informazioni; quindi si possono effettuare operazioni di calcolo e costruzione di grafici.

Questo programma è stato utilizzato sia nella fase iniziale sia nella fase di elaborazione; nel primo caso si è rivelato utile per trascrivere i dati relativi ai singoli campi su foglio elettronico, a scopo di esempio si inserisce un'immagine di interfaccia Excel (Fig. 2-6). In sintesi, nel foglio elettronico vengono inserite tutte le informazioni raccolte in campo. In primis informazioni generali quali: data, codice campo, specie coltivata, superficie stimata, pendenza e forma. In secondo luogo, tempi tecnici, dati di produzione, velocità di avanzamento e tempi di svolta e passata.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	26/06/2019																
2	Apprezzamento	A1 - Grano duro															
3	Coordinate	42°32'28" N 14°07'06" E															
4	Estensione SAU	10 ha															
5	Pendenza	Normale															
6	Classificazione forma	Irregolare															
7																	
8		Tempo effettivo	Ora														
9	Tempo di trasporto campo-campo	40 minuti	07:10 - 07:50														
10	Preparazione macchina	/															
11	Inizio lavoro		8:15														
12	Fine lavoro		14:30														
13	Pausa pranzo	50 minuti															
14	Tempi morti	/															
15	Ritorni a vuoto	4 min															
16	Numero di ritorni a vuoto	2															
17																	
18	Scarichi		9														
19	Produzione		48 q.														
20	Produzione complessiva		432 q.														
21	Resa		43,2 q./ha														
22																	
23	Tempo di svolta	Tempo di percorrenza	Velocità di avanzamento														
24	S1 = 20"	P1 = 3'20" (max larghezza campo)	V1 = 6,70 km/h														
25	S2 = 27"	P2 = 1'42" (restigimento)	V2 = 8,40 km/h														
26	S3 = 35"	P3 = 1'43" (zona sud)	V3 = 7,70 km/h														
27	S4 = 15"	P4 = 2'05"	V4 = 6,90 km/h														
28																	



Figura 2-6: Esempio di foglio elettronico

La potenzialità di questo software è insita nella possibilità di calcolo e rappresentazione grafica. Questi due aspetti sono stati sfruttati per elaborare dati significativi, ad esempio: la quantità complessiva degli ettari lavorati (120,33 ha) oppure il tempo effettivo di raccolta, calcolato come differenza tra il tempo totale e i tempi accessori (TRM, TM e passate a vuoto). Un altro dato importante è la capacità effettiva, cioè il tempo impiegato per mietere 1 ha di coltura, calcolata come rapporto tra il tempo effettivo e la superficie.

Come vedremo nel prossimo capitolo, i dati sono interessanti dal punto di vista della rappresentazione grafica sia perché danno un impatto visivo immediato sia perché permettono di notare certe correlazioni, spesso invisibili con il dato assoluto.

2.3.2 *QGis*

QGis è un software open source in grado di gestire informazioni di diversa natura: dati geometrici, topologici e informativi. La versione utilizzata nell'elaborazione dei dati di questa tesi è QGis 3.8 Zanzibar.

Dall'interfaccia grafica iniziale del QGis (Fig. 2-7) è possibile lavorare sulla mappa dei terreni, attraverso Google Satellite. In primis occorre inserire uno shapefile, cioè un vettore per sistemi informativi geografici che serve a registrare dati geometrici spaziali; ci sono dei comandi di input che consentono di disegnare elementi lineari o poligonali, in base alle necessità: i primi sono stati utilizzati per tracciare il percorso lavorativo dal centro aziendale ai campi, mentre gli elementi poligonali sono rappresentativi del campo stesso.

Ognuno degli elementi disegnati è collegato ad un codice identificativo (id) e ad una tabella degli attributi. Questa tabella ha l'obiettivo di fungere da database, registra informazioni non spaziali. Gli elementi poligonali sono corredati di informazioni quali: codice del produttore, specie coltivata, coordinate, tempi e velocità rilevati in campo; inoltre, è disponibile un calcolatore che permette di implementare il database con l'area effettiva del campo.

Invece, per quanto riguarda gli elementi lineari usati per tracciare il percorso di lavoro, l'informazione cardine è la lunghezza, ottenuta dal calcolatore.

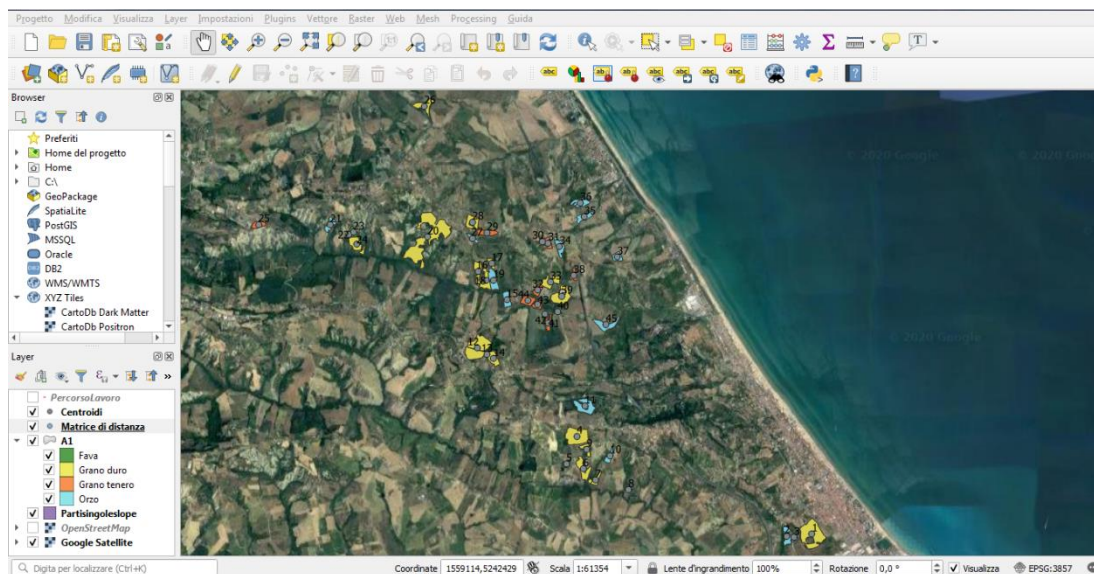


Figura 2-7: Interfaccia QGIS

QGIS è stato utilizzato anche per calcolare la regolarità del campo, intesa come rapporto tra perimetro e area:

$$RegIndex = \frac{Perimetro}{Area}$$

Sul campo questo parametro è stato definito in maniera semplificata come forma quadrata, rettangolare o irregolare. Utilizzano gli algoritmi a disposizione sul QGIS, si ottiene un valore percentuale, come vedremo nel prossimo capitolo.

Infine, il software si è rivelato utile per calcolare la pendenza. In campo, la definizione di pendenza è fortemente soggetta alla percezione dell'operatore; motivo per cui è stata classificata come: bassa, normale, moderata o elevata. Invece, attraverso il QGIS, è possibile rilevare valori di minimo, massimo, media e deviazione standard.

Capitolo 3

RISULTATI E DISCUSSIONE

3.1 Generalità

Tutte le informazioni, raccolte secondo i metodi descritti nel capitolo precedente, sono state elaborate tramite il software Excel in un foglio di lavoro elettronico riportato integralmente negli Allegati 1-6.

Da una prima analisi dei dati (Tab. 3-1), si evince l'attribuzione di un codice identificativo per ciascun campo, denominato "id", e un codice per ciascun produttore, denominato "Produttore", così da poter associare campi diversi appartenenti al medesimo agricoltore. Inoltre, è stata specificata la specie coltivata (con relativo codice) in ogni appezzamento per avere dei risultati utili ai fini statistici.

Tabella 3-1: Dati generali

id	Codice	Produttore	Specie	Codice specie	id	Codice	Produttore	Specie	Codice specie
1	A1	1	Grano duro	1	14	D2	5	Grano duro	1
2	A2	1	Orzo	2	15	D3	6	Orzo	2
3	A3	1	Orzo	2	16	E1	1	Grano duro	1
4	A4	2	Grano duro	1	17	E2	1	Grano duro	1
5	B1	3	Orzo	2	18	E3	1	Grano duro	1
6	B2	3	Grano duro	1	19	E4	1	Orzo	2
7	B3	3	Grano duro	1	20	E5	5	Grano duro	1
8	B4	3	Grano duro	1	21	F1	7	Orzo	2
9	B5	3	Grano duro	1	22	F2.1	8	Orzo	2
10	C1	2	Orzo	2	23	F2.2	8	Fava	4
11	C2	1	Orzo	2	24	F2.3	8	Grano duro	1
12	C3	5	Grano duro	1	25	F3	9	Grano tenero	1
13	D1	4	Grano duro	1	26	G1	10	Grano duro	1

id	Codice	Produttore	Specie	Codice specie	id	Codice	Produttore	Specie	Codice specie
27	G2	11	Orzo	2	37	L2	16	Orzo	2
28	G3	12	Grano duro	1	38	L3	13	Grano tenero	3
29	H1	13	Grano tenero	3	39	L4	5	Grano duro	1
30	H2	13	Grano tenero	3	40	M1	1	Grano tenero	3
31	H3	13	Grano tenero	3	41	M2	1	Grano tenero	3
32	H4	13	Grano tenero	3	42	M3	1	Grano tenero	3
33	I1	1	Grano duro	1	43	M4	1	Grano tenero	3
34	I2	14	Orzo	2	44	M5	1	Grano tenero	3
35	I3	15	Orzo	2	45	M6	17	Orzo	2
36	L1	15	Orzo	2					

3.1.1 *Tempi in dettaglio*

Il lavoro tiene conto anche di data e ora in cui vengono eseguite le operazioni di raccolta, i tempi di trasporto, di preparazione in campo e quelli accessori che contribuiscono ad amplificare il tempo stimato per un campo.

La data coincide con il giorno in cui inizia la trebbiatura; infatti, in due casi le operazioni si sono protratte per qualche giorno.

Il tempo di trasporto si riferisce all'intervallo di tempo impiegato per trasferire la macchina da un campo all'altro. In alcuni casi è trascurabile in quanto i campi sono adiacenti, in altri invece costituisce una variabile rilevante che incide sull'efficienza di lavoro.

Il tempo di preparazione in campo, indicato in tabella come TPC, fa riferimento alla manutenzione ordinaria che viene eseguita nella routine giornaliera al mattino. Consiste nella pulizia degli organi lavoranti e dei filtri, rifornimento di carburante (con frequenza giornaliera) e di olio (con frequenza settimanale), eventuali riparazioni e applicazione di grasso lubrificante per garantire il corretto funzionamento degli elementi sottoposti ad un'intensità di azione notevole.

I tempi accessori sono:

- tempo di riposo dalla manodopera (TRM), in genere riferito alla pausa pranzo;
- tempi morti (TM) comprendenti riparazioni in campo, rimozione di corpi estranei dal canale o attesa del carro-botte;
- ritorni a vuoto, in caso di guasto tecnico o imprevisti in campo.

I valori sono riportati nella Tabella 3-2 seguente.

Tabella 3-2: Tempi

id	Trasporto	TPC	TRM	TM	A vuoto	N. a vuoto
1	00:40:00		00:50:00		00:04:00	2
2	00:10:00					
3	00:02:00		00:10:00		00:02:00	1
4	01:00:00	02:00:00		01:20:00		
5	00:05:00			00:05:00		
6	00:20:00					
7	00:05:00					
8	00:05:00					
9	00:17:00					
10	00:05:00	01:20:00				
11	00:40:00	00:10:00	00:15:00	00:07:00		
12	00:30:00	00:10:00		00:20:00		
13	00:02:00	01:40:00				
14	00:03:00					
15	00:20:00		00:25:00	01:15:00	00:04:00	2
16	00:15:00	03:00:00				
17	00:20:00			00:05:00		
18	00:15:00		00:50:00	00:15:00		
19	00:01:00			00:20:00		
20	00:45:00	06:50:00	00:20:00	00:40:00		
21	00:20:00	02:30:00				
22	00:10:00					
23						
24	00:02:00					
25						
26	00:30:00	00:05:00		00:15:00	00:05:00	1
27	00:30:00	00:05:00				
28	00:20:00					
29	00:10:00	03:00:00		00:10:00		
30	00:40:00			00:10:00		
31				00:45:00		
32	00:30:00				00:04:00	2
33	00:05:00	01:50:00		01:05:00	00:05:00	2
34	00:20:00			00:10:00		

id	Trasporto	TPC	TRM	TM	A vuoto	N. a vuoto
35	00:30:00			00:10:00	00:03:00	1
36	00:10:00	01:30:00				
37	00:10:00					
38	00:20:00					
39	00:15:00					
40	00:20:00	02:00:00				
41	00:02:00					
42	00:01:00			00:05:00		
43	00:05:00					
44	00:01:00		00:55:00			
45	00:20:00					

Inoltre, è stato calcolato il tempo effettivo, ovvero la differenza tra tempo totale di permanenza in campo e i tempi accessori.

$$\text{Scarto Ora} = \text{Fine} - \text{Inizio}$$

$$\text{Tempo effettivo} = \text{Scarto Ora} - (\text{TRM} + \text{TM} + \text{A vuoto})$$

Infine, la capacità effettiva (Tab. 3-3) indica il tempo impiegato in rapporto alla superficie. Un indice di efficienza espresso in ore per ettaro.

$$\text{Capacità effettiva} = \frac{\text{Tempo effettivo}}{\text{Superficie}}$$

Tabella 3-3: Tempo e capacità effettiva

id	Scarto ORA	Tempo effettivo	Capacità effettiva	Superficie
1	06:15:00	05:21:00	00:33:43	9,52
2	02:10:00	02:10:00	00:56:31	2,30
3	00:38:00	00:26:00	00:39:24	0,66
4	06:00:00	04:40:00	00:39:06	7,16
5	01:05:00	01:00:00	01:26:57	0,69
6	01:35:00	01:35:00	00:28:32	3,33
7	01:02:00	01:02:00	00:39:29	1,57
8	00:15:00	00:15:00	00:46:52	0,32
9	01:20:00	01:20:00	01:02:30	1,28
10	01:20:00	01:20:00	00:54:25	1,47
11	03:20:00	02:58:00	00:40:05	4,44
12	06:00:00	05:40:00	00:37:59	8,95
13	00:20:00	00:20:00	00:55:33	0,36

id	Scarto ORA	Tempo effettivo	Capacità effettiva	Superficie
14	01:25:00	01:25:00	00:35:43	2,38
15	03:50:00	02:06:00	00:57:48	2,18
16	01:35:00	01:35:00	00:40:15	2,36
17	00:40:00	00:35:00	00:38:53	0,90
18	03:40:00	02:35:00	00:54:23	2,85
19	02:30:00	02:10:00	00:40:30	3,21
20	13:55:00	12:55:00	00:44:13	17,53
21	01:05:00	01:05:00	00:38:41	1,68
22	00:30:00	00:30:00	01:25:43	0,35
23	01:20:00	01:20:00	00:57:58	1,38
24	02:45:00	02:45:00	00:50:18	3,28
25	01:20:00	01:20:00	00:47:54	1,67
26	01:55:00	01:35:00	00:31:40	3,00
27	00:55:00	00:55:00	00:57:54	0,95
28	02:35:00	02:35:00	00:54:35	2,84
29	01:40:00	01:30:00	00:44:47	2,01
30	00:45:00	00:35:00	00:55:33	0,63
31	02:05:00	01:20:00	00:59:42	1,34
32	01:10:00	01:06:00	00:42:35	1,55
33	03:35:00	02:25:00	00:45:10	3,21
34	02:15:00	02:05:00	00:52:45	2,37
35	02:30:00	02:17:00	01:03:08	2,17
36	01:50:00	01:50:00	00:46:49	2,35
37	01:15:00	01:15:00	00:48:23	1,55
38	00:50:00	00:50:00	00:42:22	1,18
39	03:45:00	03:45:00	00:47:52	4,70
40	00:20:00	00:20:00	00:46:31	0,43
41	00:53:00	00:53:00	00:37:51	1,40
42	00:19:00	00:14:00	01:10:00	0,20
43	01:15:00	01:15:00	00:53:57	1,39
44	02:29:00	01:34:00	00:41:58	2,24
45	01:35:00	01:35:00	00:31:40	3,00

3.1.2 Produzione

Si prendono in esame anche le produzioni ricavate dalla raccolta di granella. Conoscendo il volume della tramoggia della mietitrebbia, ovvero 5800 litri, e il peso specifico della granella, fornito volta per volta dai consorzi ai quali sono conferiti i cereali, è possibile conoscere la produzione.

I dati sono stati raccolti per calcolare la resa per ettaro, un parametro utile per definire la relazione con la specie coltivate, come verrà descritto in seguito. Queste informazioni sono riportate nella Tabella 3-4.

Tabella 3-4: Produzione e resa

id	Scarichi	Produzione (q)	Prod Tot (q)	Resa (q/ha)
1	9	48	432	43,2
2	3	35,9	107,7	30,7
3	1	35,9	35,9	35,9
4	5	43,5	217,5	27,2
5	1	37	37	37
6	0.4	17,2	17,2	2,6
7	1.3	42,9	55,7	37,2
8	0.5	21,5	21,5	43
9	0.5	21,5	21,5	43
10	2	38	53,2	35,5
11	4	40,6	138,1	34,5
12	8	48	384	32
13				
14	2.7	48	129,6	51,8
15	4	38,7	154,8	44
16	2	45	90	45
17	0.5	17,05	17,05	34,1
18	2.5	34,1	85,25	34,1
19	3.3	35,9	118,5	53,9
20	13	46	605	30,25
21	1.6			
22	1	25	25	50
23	1	10	10	10
24	3	28,4	85,2	28,4
25	2.7	48	129,6	64
26	2	45	90	30

id	Scarichi	Produzione (q)	Prod Tot (q)	Resa (q/ha)
27	1.5			
28	2.7	48	129,6	51
29	3.5	48	168	84
30	1	43	43	61
31	2.6	46	119,6	70
32	2	48	96	48
33	4			
34	3	40,6	121,8	60,9
35	3.6			
36	2.4	34	81,6	40,8
37	2			
38	1	50	50	41,6
39	4	45	180	36
40	1	18,4	18,4	92
41	1	46,1	46,1	38,4
42	1	18,5	18,5	61
43	2			
44	4	46	184	92
45	2			

3.2 Specie coltivate

Le principali specie di interesse agronomico prese in esame per questa indagine sono quattro: grano duro, grano tenero, orzo e fava.

Dai dati emerge una vocazione dell'area per le colture cerealicole; infatti, come mostrato nel grafico sottostante (Fig. 3-1), su 45 campi considerati: 19 erano occupati da grano duro, 15 da grano tenero, 10 da orzo e 1 da fava.

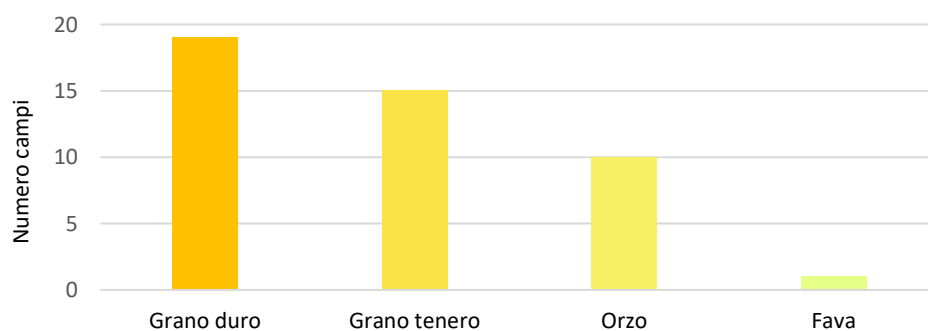


Figura 3-1: Specie coltivate

Inoltre, la relazione tra superficie e specie coltivate (Fig. 3-2) ha un duplice riscontro: per quanto riguarda il grano duro, ne conferma una estensione di coltivazione maggiore rispetto alle altre specie, occupando ben 75,5 ha su un totale di 120,3 ha. Invece, il grano tenero, seppur scelto con frequenza maggiore rispetto all'orzo considerando i singoli campi, occupa una superficie complessiva inferiore. I dati sulle superfici occupate per ciascuna specie sono riportati nella Tabella 3-5.

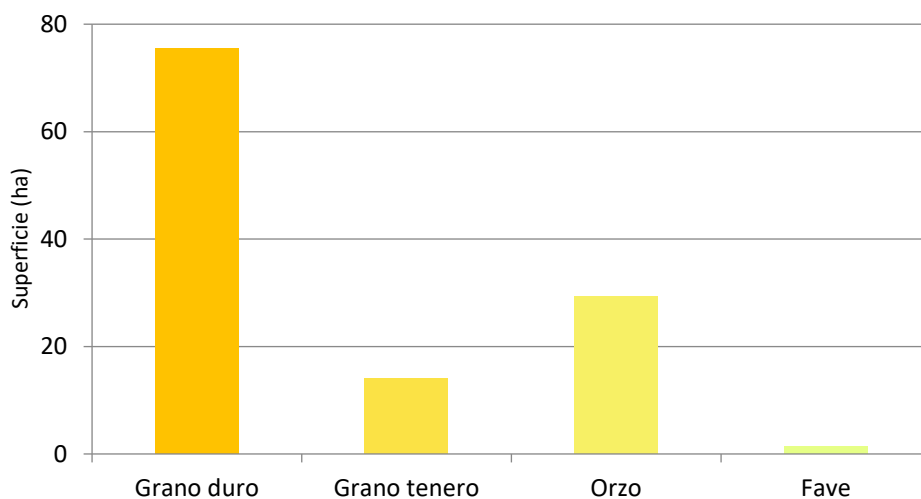


Figura 3-2: Relazione tra superficie e specie coltivate

Tabella 3-5: Superficie dedicata

Specie	Superficie
<i>Grano duro</i>	75,54 ha
<i>Grano tenero</i>	14,04 ha
<i>Orzo</i>	29,37 ha
<i>Fave</i>	1,38 ha
<i>Totale</i>	120,33 ha

Infine, è stata considerata la resa per ciascuna specie attraverso un grafico a dispersione (Fig. 3-3) in cui le variabili sono: la resa, espressa in q/ha, e la frequenza con la quale una specie viene scelta dall'agricoltore. L'obiettivo è quello di verificare eventuali correlazioni tra queste due variabili.

Il risultato evidenzia una possibile correlazione per il grano duro e l'orzo e questo sarebbe in linea con quanto detto finora, confermandone la vocazione del territorio. Viceversa, per il grano tenero in cui, la dispersione dei dati nel grafico, fa riferimento ad una scarsa correlazione

tra resa e frequenza. Per la fava non ci sono dati sufficienti per ricavare informazioni utili a riguardo.

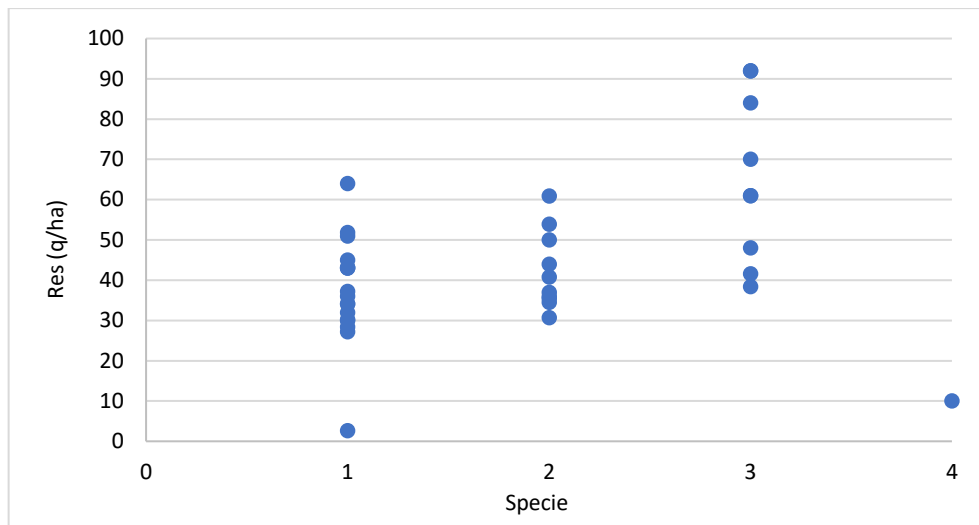


Figura 3-3: Resa per specie coltivata

3.3 Superficie agricola utilizzabile

L'indagine è stata condotta su 17 aziende, disponenti di uno o più campi ognuna, e con una superficie media lavorata di 7,08 ha. Dal grafico sottostante (Fig. 3-4) e dal valore della media, si deduce che siano principalmente aziende di piccole dimensioni a conduzione familiare e che, di conseguenza, si rivolgano ad un'azienda contoterzista per delle lavorazioni onerose come la mietitura.

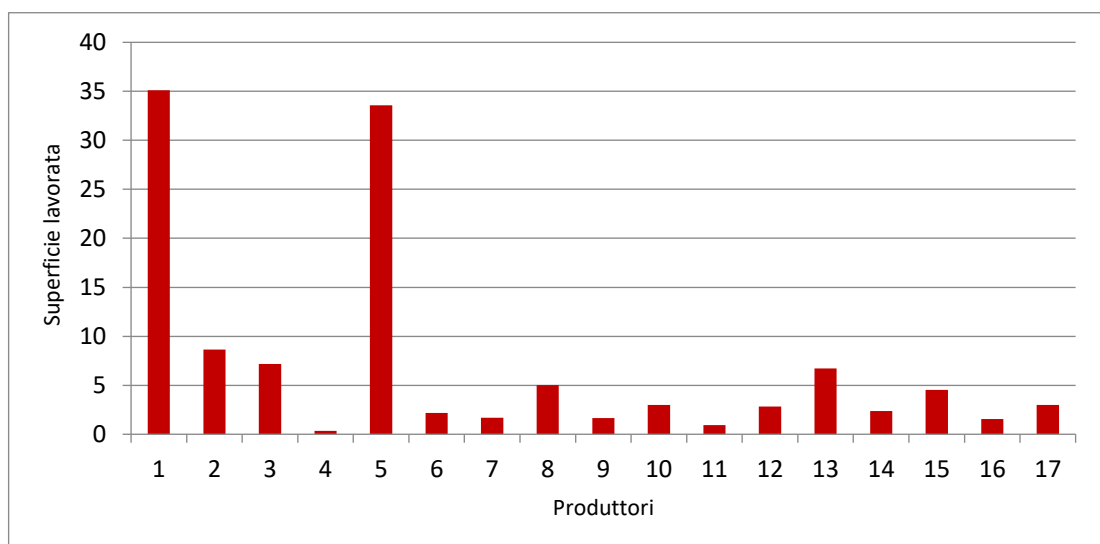


Figura 3-4: SAU per produttore

In campo, la SAU viene stimata dal contoterzista inevitabilmente con un certo margine di errore, che sia esso in positivo o in negativo. L'introduzione di nuove tecnologie e software basati sull'accuratezza e precisione delle informazioni, come il QGis, permette di ottenere dati corretti. In questo modo, con l'ausilio del foglio elettronico, è stato calcolato lo scarto tra la SAU stimata e la SAU effettiva, riportato nel grafico (Fig. 3-5): la comparazione evidenzia che vi siano campi sovrastimati e sottostimati.

Quindi, si ribadisce l'importanza dei nuovi metodi di gestione dell'agricoltura di precisione per garantire condizioni di lavoro migliori. Infatti, generalmente, un'azienda contoterzista si occupa di un campo per l'intero ciclo colturale; ciò significa che impiega risorse per: preparazione del terreno in presemina, semina, controllo delle infestanti, concimazione e, alla fine, raccolta del prodotto.

Se venissero utilizzati dati SAU errati, la conseguenza potrebbe essere critica dal punto di vista agronomico (ad esempio per la quantità di seme per ettaro e le dosi di concime e diserbo per ettaro) ed economico.

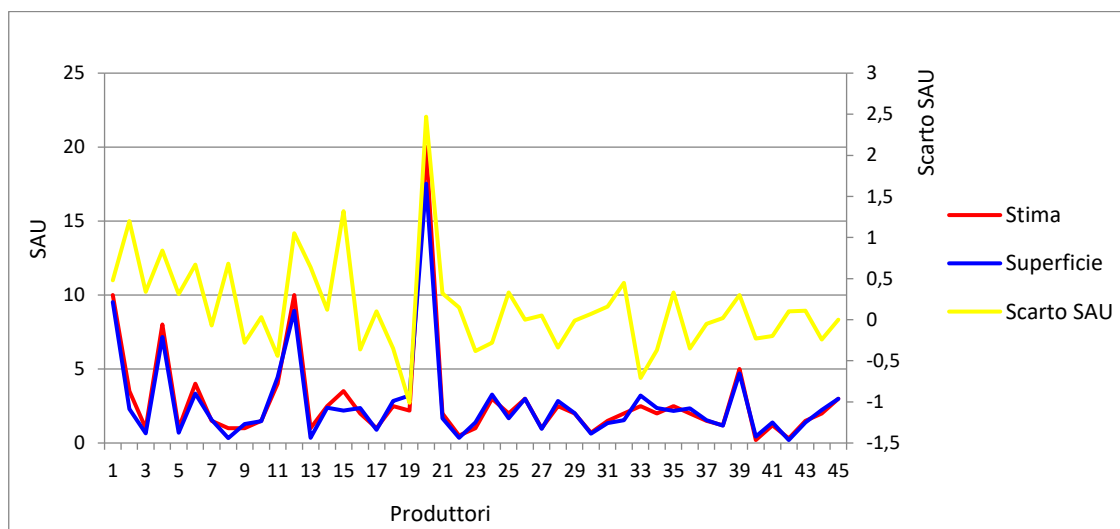


Figura 3-5: Scarto SAU

3.4 Indice di regolarità e resa

Il lavoro prosegue nella ricerca di eventuali correlazioni tra variabili fondamentali, come ad esempio: la regolarità del campo e la resa.

La regolarità del campo è espressa attraverso un indice, come rapporto tra perimetro ed area; per ogni appezzamento si ottengono dei valori, riportati nella Tabella 3-6, che possono essere significativi: tanto più è basso l'indice ottenuto, maggiore è la regolarità del campo.

Tabella 3-6: Indice di regolarità

id	RegIndex	id	RegIndex	id	RegIndex
1	2,18	16	4,34	31	4,10
2	4,61	17	4,91	32	3,24
3	7,65	18	3,84	33	3,14
4	1,57	19	2,62	34	3,48
5	5,06	20	2,50	35	3,37
6	3,70	21	5,08	36	5,14
7	5,54	22	8,58	37	3,23
8	6,82	23	3,72	38	4,62
9	5,31	24	3,49	39	2,50
10	5,38	25	3,43	40	6,48
11	3,40	26	4,19	41	4,88
12	2,08	27	5,85	42	9,78
13	7,63	28	4,01	43	3,96
14	2,91	29	3,83	44	2,77
15	3,05	30	5,45	45	3,53

Il grafico seguente (Fig. 3-6) è un grafico a dispersione che serve per evidenziare l'eventuale correlazione tra due variabili, in questo caso: resa e indice di regolarità. Dalla distribuzione dei punti è evidente che, qualora ci fosse una minima relazione, sarebbe comunque debole.

Questa ipotesi iniziale è confermata dalla retta di regressione, tracciata in rosso, e dal relativo coefficiente di determinazione R^2 : tanto maggiore è il valore di R^2 , maggiore sarà la correlazione che lega le due variabili. In questo caso ha un valore di appena 2,5% che dimostra assenza di correlazione: le due variabili sono indipendenti l'una dall'altra.

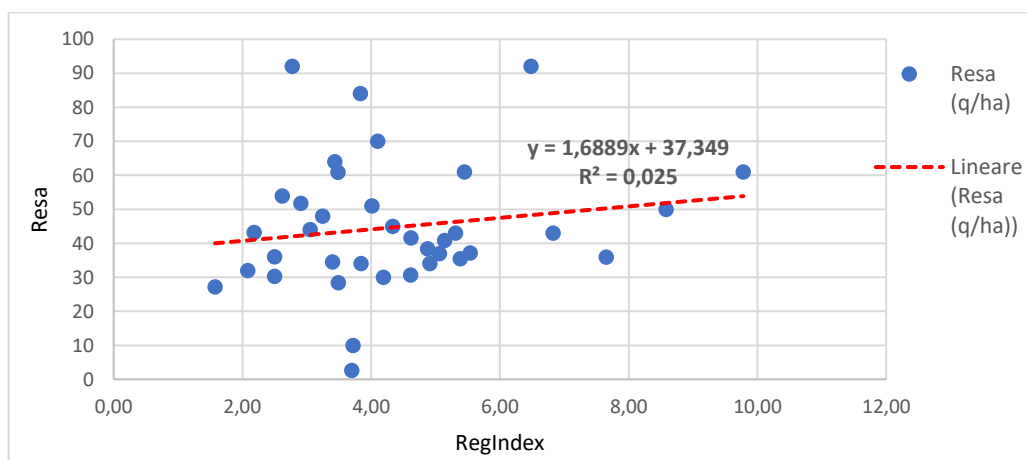


Figura 3-6: Resa e indice di regolarità

3.5 Scarto orario e indice di regolarità

La ricerca prosegue mettendo in relazione l'indice di regolarità e lo scarto orario di lavoro in campo. Quest'ultima variabile deriva dalla differenza tra l'orario di inizio e fine della raccolta, in Tabella 3-7, compresi tutti i tempi: tempo effettivo di raccolta, tempo di riposo dalla manodopera, tempi morti e ritorni a vuoto.

Tabella 3-7: Scarto orario

id	Scarto ora	id	Scarto ora	id	Scarto ora
1	06:15:00	16	01:35:00	31	02:05:00
2	02:10:00	17	00:40:00	32	01:10:00
3	00:38:00	18	03:40:00	33	03:35:00
4	06:00:00	19	02:30:00	34	02:15:00
5	01:05:00	20	13:55:00	35	02:30:00
6	01:35:00	21	01:05:00	36	01:50:00
7	01:02:00	22	00:30:00	37	01:15:00
8	00:15:00	23	01:20:00	38	00:50:00
9	01:20:00	24	02:45:00	39	03:45:00
10	01:20:00	25	01:20:00	40	00:20:00
11	03:20:00	26	01:55:00	41	00:53:00
12	06:00:00	27	00:55:00	42	00:19:00
13	00:20:00	28	02:35:00	43	01:15:00
14	01:25:00	29	01:40:00	44	02:29:00
15	03:50:00	30	00:45:00	45	01:35:00

Il grafico a dispersione (Fig. 3-7) manifesta una condensazione dei punti nello spazio, esprimendo una forte correlazione tra le variabili. Nel caso in esame, la correlazione è negativa ed è deducibile dall'andamento dei punti (chiarito poi dalla linea di tendenza logaritmica).

Il coefficiente di determinazione esprime un valore pari al 72% e conferma l'esistenza di una correlazione: l'indice di regolarità e lo scarto orario sono influenzati reciprocamente.

In questo grafico è stato eliminato un caso estremo i cui valori sono: RegIndex = 2,50 e Scarto Ora = 13:55. È per tale ragione che, non considerandolo nel grafico, il coefficiente evidenzia un sensibile miglioramento dal 69 al 72%.

Deriva da una condizione imprevedibile per l'operatore, quale la rottura della mietitrebbiatrice. Il tempo impiegato per la riparazione ha contribuito a dilatare la permanenza della macchina in campo, dando luogo ad una situazione che si discosta nettamente dalla normalità.

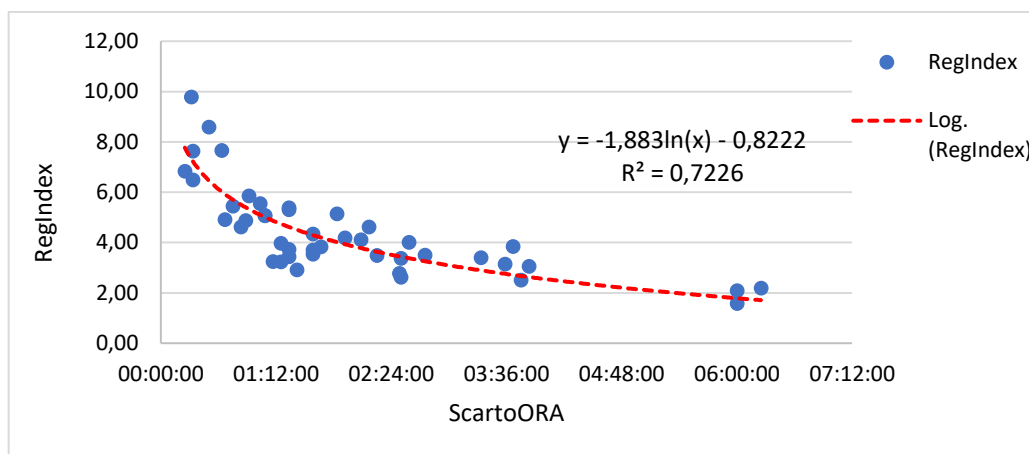


Figura 3-7: Scarto ora e indice di regolarità

3.6 Capacità effettiva e indice di regolarità

L'indice di regolarità è stato relazionato anche alla capacità effettiva. Ciò che differisce rispetto al caso precedente, è che il tempo indicato dalla capacità effettiva si riferisce al rapporto tra il tempo effettivo (ovvero la differenza dello scarto orario con i tempi accessori – TRM, TM, A vuoto) e la superficie del campo. Vale a dire che la capacità effettiva, i cui valori sono riportati in Tabella 3-8, indica il tempo impiegato per la raccolta di granello di un ettaro di terreno.

Tabella 3-8: Capacità effettiva

id	C.eff	id	C.eff	id	C.eff
1	00:33:43	16	00:40:15	31	00:59:42
2	00:56:31	17	00:38:53	32	00:42:35
3	00:39:24	18	00:54:23	33	00:45:10
4	00:39:06	19	00:40:30	34	00:52:45
5	01:26:57	20	00:44:13	35	01:03:08
6	00:28:32	21	00:38:41	36	00:46:49
7	00:39:29	22	01:25:43	37	00:48:23
8	00:46:52	23	00:57:58	38	00:42:22
9	01:02:30	24	00:50:18	39	00:47:52
10	00:54:25	25	00:47:54	40	00:46:31
11	00:40:05	26	00:31:40	41	00:37:51
12	00:37:59	27	00:57:54	42	01:10:00
13	00:55:33	28	00:54:35	43	00:53:57
14	00:35:43	29	00:44:47	44	00:41:58
15	00:57:48	30	00:55:33	45	00:31:40

Il grafico (Fig. 3-8) mette in relazione le due variabili sopracitate e i punti sono abbastanza concentrati da avere una correlazione sufficiente. In questo caso il valore del coefficiente di determinazione è del 20% e potrebbe non avere rilevanza dal punto di vista statistico; osservando però il coefficiente di correlazione R, otterremmo un valore del 45%, utile per stabilire una correlazione positiva: tanto più è basso l'indice di regolarità, minore è il tempo impiegato per la raccolta di un ettaro di terreno.

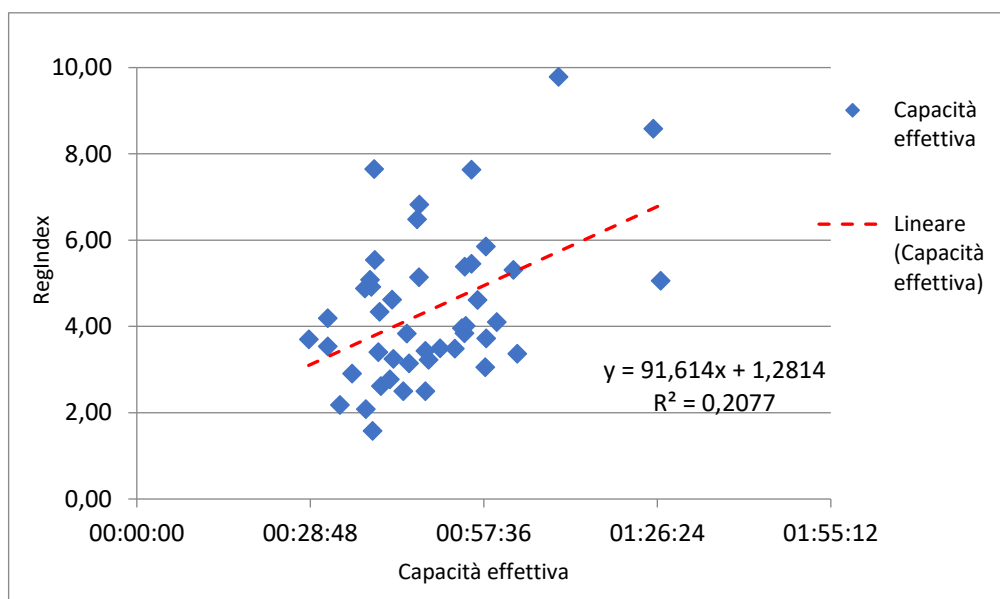


Figura 3-8: Capacità effettiva e indice di regolarità

3.7 Pendenza media e resa

In tal caso, si pongono in relazione la pendenza media e la resa di un campo (Tab. 3-9). Questo tipo di correlazione si basa sul concetto teorico per cui la resa dovrebbe aumentare al diminuire della pendenza. Il grafico 3-9 dimostra proprio questo, con un coefficiente di determinazione pari al 40% che indica quindi la presenza di una correlazione negativa, anche se comunque non si tratta di una correlazione forte.

Occorre considerare che il dato della pendenza media è limitato dal fatto che compensa situazioni di pendenza lieve e pendenza notevole. Quindi, il risultato ottenuto dal grafico a dispersione va considerato limitatamente come esercizio di prova per verificare le eventuali correlazioni.

Tabella 3-9: Dati pendenza e resa

id	Lc_mean	Resa	id	Lc_mean	Resa	id	Lc_mean	Resa
1	0,028111	43,2	16	0,021807	45	31	0,009017	70
2	0,008211	30,7	17	0,00873	34,1	32	0,003049	48
3	0,004272	35,9	18	0,019833	34,1	33	0,015699	
4	0,050651	27,2	19	0,018868	53,9	34	0,015954	60,9
5	0,004432	37	20	0,116548	30,25	35	0,012189	
6	0,016016	2,6	21	0,014706		36	0,013695	40,8
7	0,009083	37,2	22	0,002749	50	37	0,009417	
8	0,003204	43	23	0,010418	10	38	0,008069	41,6
9	0,010741	43	24	0,028149	28,4	39	0,010868	36
10	0,011905	35,5	25	0,001932	64	40	0,001436	92
11	0,027759	34,5	26	0,025654	30	41	0,009193	38,4
12	0,04475	32	27	0,007307		42	0,001188	61
13	0,003207		28	0,015448	51	43	0,00036	
14	0,011283	51,8	29	0,007087	84	44	0,000964	92
15	0,008208	44	30	0,005202	61	45	0,018321	

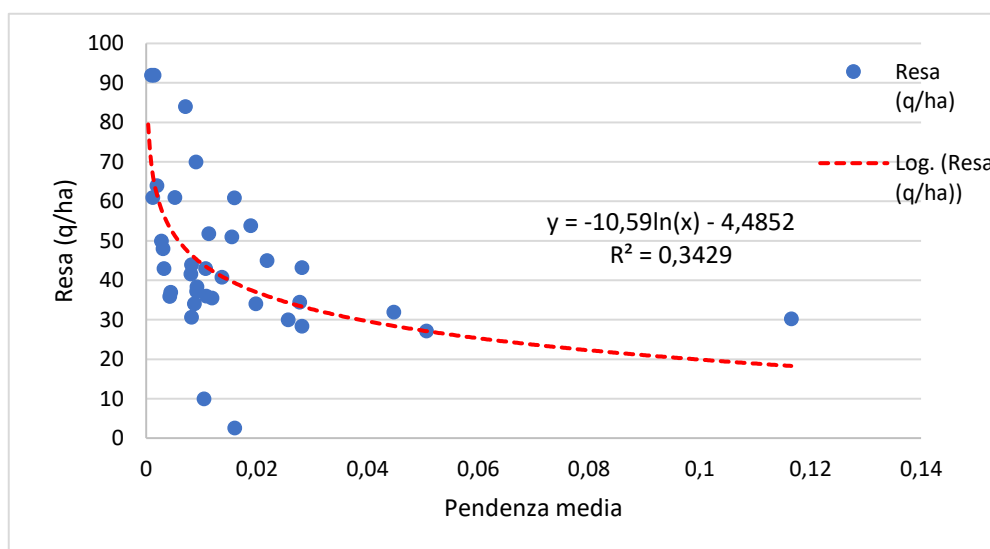


Figura 3-9: Pendenza media e resa

3.8 Percorso di lavoro

Attraverso l’ausilio del software QGis è stato possibile riprodurre il percorso effettuato dalla mietitrebbiatrice dal centro aziendale al primo campo e, successivamente, gli spostamenti campo-campo. L’iter è evidenziato dalle tracce rosse in Figura 3-9.

Questo genere di informazione potrebbe rivelarsi utile per identificare una logica di lavoro, interna all’azienda stessa, per ottimizzare i tempi. Nel percorso individuato, l’obiettivo è quello di creare gruppi di lavoro che escludano spostamenti ridondanti su strada.



Figura 3-10: Percorso di lavoro

In merito a questo parametro, sono state calcolate le distanze tra il centro aziendale e il primo campo, successivamente gli spostamenti campo-campo (Tab. 3-10).

Tabella 3-10: Distanza campo-campo e superficie

CampoStart	id	Distanza	Superficie	CampoStart	id	Distanza	Superficie
Azienda	1	6649,06	9,52	23	24		3,28
1	2	246,87	2,30	24	25	2174,07	1,67
2	3	48,19	0,66	25	26	3807,54	3,00
3	4	4026,46	7,16	26	27	2478,02	0,95
4	5	519,88	0,69	27	28	201,58	2,84
5	6	192,08	3,33	28	29	9,77	2,01
6	7	95,77	1,57	29	30	763,66	0,63
7	8	567,48	0,32	30	31	3,75	1,34
8	9	1539,76	1,28	31	32	1196,56	1,55
9	10	565,06	1,47	Azienda	33	189,28	3,21
10	11	5269,1	4,44	33	34	445,33	2,37
11	12	2660,8	8,95	34	35	730,6	2,17
12	13	226,76	0,36	35	36	130,28	2,35
13	14	171,46	2,38	36	37	1840,31	1,55
14	15	1459,8	2,18	37	38	843,66	1,18
15	16	1232,45	2,36	38	39	247,73	4,70
16	17	234,26	0,90	39	40	532,01	0,43
17	18	133,4	2,85	40	41	84,31	1,40
18	19	4,8	3,21	41	42	134,26	0,20
19	20	1401,87	17,53	42	43	123,91	1,39
20	21	3211,46	1,68	43	44	105,92	2,24
21	22	250,72	0,35	44	45	1037,57	3,00
22	23		1,38				

Dal grafico 3-11 emerge un'apparente assenza di correlazioni tra la distanza e la superficie lavorata perché il coefficiente di determinazione non supera il 20%. Però, è evidente che la maggior parte dei campi di piccole dimensioni siano distanti meno di 2 km l'uno dall'altro, mentre i campi di grandi dimensioni risultino distanti rispetto ad essi. Il motivo che spinge ad allontanarsi dal centro aziendale anche per circa 8 km, effettuando spostamenti su strada, è relativo alla convenienza (economica) di lavorare su campi di grandi dimensioni e con una buona resa produttiva.

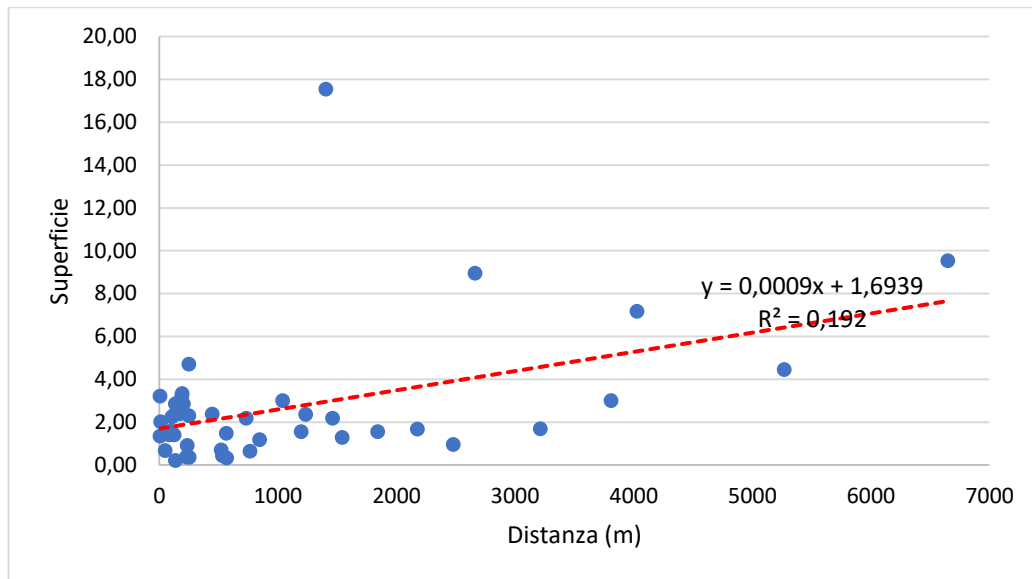


Figura 3-11: Superficie e distanza

CONCLUSIONI

L'ipotesi iniziale, per la quale la transizione dei sistemi convenzionali verso l'agricoltura smart sia necessaria e migliorativa per l'azienda contoterzista, è supportata ampiamente dai risultati ottenuti.

In primo luogo, i dati stimati vengono tradotti in dati reali attraverso software open source e questo fornisce un approccio alle tecniche di Agricoltura di Precisione. È importante utilizzare delle informazioni obiettive che consentano di elaborare dei risultati che si modellino perfettamente alla realtà.

In secondo luogo, emerge la possibilità di ridurre gli input impiegati, agevolando sia il contoterzista sia l'azienda agricola. Nella pratica questo si traduce con l'ottimizzazione delle risorse impiegate: l'azienda contoterzista si occupa, nella maggior parte dei casi, dell'intero ciclo colturale a partire dalla preparazione del terreno in presemina, semina, controllo delle infestanti, concimazioni, fino alla raccolta del prodotto; ognuna delle fasi citate determina un costo per entrambe le parti. Attraverso l'approccio "smart" all'agricoltura, è possibile definire in maniera minuziosa la quantità necessaria di seme per ettaro, le dosi di concime e diserbo per ettaro, il tempo impiegato per lo svolgimento delle operazioni; la conseguenza diretta è la riduzione degli input e dei costi da sostenere.

Questo è un buon punto di partenza per fidelizzare il cliente, dimostrando l'efficacia del sistema di ADP attraverso l'ottimizzazione delle spese sostenute.

I piccoli imprenditori non usufruiscono di sistemi di nuova generazione poiché l'investimento iniziale è cospicuo e, di conseguenza, si presta (per il momento) solo ad una nicchia di aziende contoterziste. Il metodo sviluppato attraverso questa tesi ha costo zero: si basa sulla raccolta di dati in campo, effettuata normalmente dal contoterzista, e l'elaborazione di essi tramite software open source, quindi accessibili gratuitamente dall'azienda. In questo modo, oltre ai vantaggi già descritti, si ottiene un archivio dati ben strutturato e di facile consultazione; si potrebbe anche estendere la raccolta dati a tutte le fasi del ciclo colturale, così da avere un database utile per gestire i campi migliorandone le prestazioni.

Un altro punto a sostegno di questa tesi è che, attraverso l'analisi di dati reali tramite un sistema oggettivo, è possibile impostare dei modelli previsionali che permettano di stimare le

peculiarità di campi nuovi che vengono assegnati all'azienda contoterzista. In pratica, si riesce a gestire anticipatamente il campo senza la necessità di prelevare dei dati di prova. È un elemento chiave che potrebbe essere utilizzato come punto di forza per fidelizzare nuovi clienti, basandosi sulle esperienze positive dei clienti storici.

In conclusione, si ribadisce l'importanza e la potenzialità che gli strumenti presentati offrono alle aziende contoterziste per approcciarsi all'agricoltura di precisione. Questa tesi si propone come punto di partenza per dimostrare l'efficienza di queste tecnologie e fornire le basi per introdurle all'interno dell'azienda.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio la mia relatrice, la professoressa Foppa Pedretti Ester, per aver sostenuto fin dal principio questo progetto di tesi; la ringrazio per i preziosi consigli e il lavoro di ricerca fondamentale per la stesura della tesi. Inoltre, esprimo la mia infinita gratitudine e riconoscenza al dottor Ilari Alessio per la disponibilità, la dedizione e il supporto dato durante tutto il percorso.

Ringrazio mia madre per essere il mio porto sicuro, la mia forza durante i giorni di tempesta e per avermi insegnato a volare oltre la paura di non farcela. Per avermi supportato e sopportato in ogni momento, per avermi ascoltato e per avermi fatto sentire al sicuro a chilometri di distanza.

Ringrazio mio padre, la mia roccia dal cuore buono, per avermi insegnato il valore della vita e per avermi sostenuto nelle mie scelte. Per i sacrifici, la pazienza e il tempo che mi ha dedicato; per avermi insegnato ad amare la terra e a prendermene cura, per aver ispirato questa tesi.

A mio fratello che, nel bene e nel male, mi ha resa quella che sono. A mia sorella, la parte migliore di me, perché non posso immaginare una vita senza il mio sole.

Ringrazio i miei nonni e i miei zii per l'amore che non mi hanno mai fatto mancare, per il sostegno, la comprensione e la fiducia.

Ringrazio Emanuele, il mio braccio destro; Francesca, per esserci nonostante tutto e per il bene incondizionato; Caterina che, da quasi vent'anni, occupa uno spazio imprescindibile nel mio cuore. Ringrazio Arianna ed Emanuele per tutti i consigli; Antonella, Annagiulia, Davide e Francesca per la "disperazione in pillole" che in questi anni abbiamo condiviso, perché sono il mio riparo e la mia dose quotidiana di felicità. Ringrazio Veronica per avermi ascoltato e aver creduto in me, più di quanto faccia io stessa.

Ringrazio i miei compagni di università, una seconda famiglia, per i tutti i momenti che abbiamo condiviso, per la stima reciproca e per il sostegno che in ogni momento abbiamo dato l'un l'altro.

Infine, ringrazio tutti coloro che hanno contribuito a questo lavoro, in ogni modo.

BIBLIOGRAFIA

- Bodria, P. P., 2013. *Meccanica e Meccanizzazione agricola*. 1° edizione a cura di Milano: Edagricole - Edizioni Agricole de Il Sole 24 ORE Spa.
- Blasi, G., Pisante, M., Bisaglia, C., Corona, P., Donatelli, M., Fresco, R., Galli, A., Henke, R., Menesatti, P., Pallottino, F., & Vagnozzi, A. (2014). LINEE GUIDA PER LO SVILUPPO Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali. *Ministero Delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali*, 1–102.
- Changhua, L., Xiaofei, A., Hai, D., Weiqiang, F., Liwei, L., Qiulan, W., & Zhijun, M. (2018). Development of combine grain yield monitor system with self-feedback function. *IFAC-PapersOnLine*, 51(17), 408–411. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.187>
- Mazzetto, F. (2006). *INFORMATIVI AZIENDALI TRA MANAGEMENT INFORMATIZZATO E Precision agricu.*
- Tado, C. J. M., Wacker, P., Kutzbach, H. D., & Suministrado, D. C. (1998). Development of stripper harvesters: A review. *Journal of Agricultural and Engineering Research*, 71(2), 103–112. <https://doi.org/10.1006/jaer.1998.0318>
- Tang, Z., Li, X., Chen, X., & Chen, Y. (2019). Design of negative pressure spiral feeding device for tangential and longitudinal axial intersection of combine harvester. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/1647230>
- Tronev, S. V., Ovchinnikov, A. S., Ryadnov, A. I., Bocharnikov, V. S., Fedorova, O. A., Fomin, S. D., Skvortsov, I. P., Dugin, J. A., & Sedov, A. V. (2019). Application of a structural-topological model in the optimization of the working elements of a combine harvester. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 341(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/341/1/012121>

ALLEGATI

Allegato 1

id	Produttore	Specie	Codice specie	Scarto SAU	RegIndex	Capacità effettiva	Data	Inizio	Fine
1	1	Grano duro	1	48%	2,18	00:33:43	26/06/2019	8:15	14:30
2	1	Orzo	2	120%	4,61	00:56:31	26/06/2019	14:40	16:50
3	1	Orzo	2	34%	7,65	00:39:24	26/06/2019	16:52	17:30
4	2	Grano duro	1	84%	1,57	00:39:06	26/06/2019	18:40	20:55
5	3	Orzo	2	31%	5,06	01:26:57	27/06/2019	14:25	15:30
6	3	Grano duro	1	67%	3,70	00:28:32	27/06/2019	15:50	17:25
7	3	Grano duro	1	7%	5,54	00:39:29	27/06/2019	17:30	18:32
8	3	Grano duro	1	68%	6,82	00:46:52	27/06/2019	18:38	18:53
9	3	Grano duro	1	28%	5,31	01:02:30	27/06/2019	19:10	20:30
10	2	Orzo	2	3%	5,38	00:54:25	28/06/2019	8:25	9:45
11	1	Orzo	2	44%	3,40	00:40:05	28/06/2019	10:35	13:55
12	5	Grano duro	1	105%	2,08	00:37:59	28/06/2019	14:30	20:30
13	4	Grano duro	1	64%	7,63	00:55:33	29/06/2019	8:12	8:32
14	5	Grano duro	1	12%	2,91	00:35:43	29/06/2019	8:35	10:00
15	6	Orzo	2	132%	3,05	00:57:48	29/06/2019	11:50	15:40
16	1	Grano duro	1	36%	4,34	00:40:15	30/06/2019	9:45	11:20
17	1	Grano duro	1	10%	4,91	00:38:53	30/06/2019	11:45	12:25
18	1	Grano duro	1	35%	3,84	00:54:23	30/06/2019	12:40	16:20
19	1	Orzo	2	101 %	2,62	00:40:30	30/06/2019	16:20	18:50
20	5	Grano duro	1	247%	2,50	00:44:13	30/06/2019	19:45	21:10

Id	Produttore	Specie	Codice specie	Scarto SAU	RegIndex	Capacità effettiva	Data	Inizio	Fine
21	7	Orzo	2	32%	5,08	00:38:41	03/07/2019	9:30	10:35
22	8	Orzo	2	15%	8,58	01:25:43	03/07/2019	10:50	11:20
23	8	Fava	4	38%	3,72	00:57:58	03/07/2019	11:25	12:45
24	8	Grano duro	1	28%	3,49	00:50:18	03/07/2019	14:00	16:45
25	9	Grano tenero	1	33%	3,43	00:47:54	03/07/2019	20:40	22:00
26	10	Grano duro	1	0%	4,19	00:31:40	04/07/2019	12:20	14:15
27	11	Orzo	2	5%	5,85	00:57:54	04/07/2019	16:10	17:05
28	12	Grano duro	1	34%	4,01	00:54:35	04/07/2019	17:25	20:00
29	13	Grano tenero	3	1%	3,83	00:44:47	05/07/2019	9:40	11:20
30	13	Grano tenero	3	7%	5,45	00:55:33	05/07/2019	12:00	12:45
31	13	Grano tenero	3	16%	4,10	00:59:42	05/07/2019	13:45	15:50
32	13	Grano tenero	3	45%	3,24	00:42:35	05/07/2019	18:10	19:20
33	1	Grano duro	1	71%	3,14	00:45:10	06/07/2019	8:55	12:30
34	14	Orzo	2	37%	3,48	00:52:45	06/07/2019	13:45	16:00
35	15	Orzo	2	33%	3,37	01:03:08	06/07/2019	19:10	21:40
36	15	Orzo	2	35%	5,14	00:46:49	07/07/2019	8:30	10:20
37	16	Orzo	2	5%	3,23	00:48:23	07/07/2019	10:40	11:55
38	13	Grano tenero	3	2%	4,62	00:42:22	07/07/2019	15:40	16:30
39	5	Grano duro	1	30%	2,50	00:47:52	07/07/2019	16:45	20:30
40	1	Grano tenero	3	23%	6,48	00:46:31	08/07/2019	10:25	10:45
41	1	Grano tenero	3	20%	4,88	00:37:51	08/07/2019	10:47	11:40
42	1	Grano tenero	3	10%	9,78	01:10:00	08/07/2019	11:41	12:00
43	1	Grano tenero	3	11%	3,96	00:53:57	08/07/2019	12:05	13:20
44	1	Grano tenero	3	24%	2,77	00:41:58	08/07/2019	13:21	15:50
45	17	Orzo	2	0%	3,53	00:31:40	08/07/2019	16:10	17:45

Allegato 2

id	Data 2	Inizio 2	Fine 2	Scarto 2	Data 3	Inizio 3	Fine 3	Scarto 3	Scarto ORA	Tempo effettivo
1									06:15:00	05:21:00
2									02:10:00	02:10:00
3									00:38:00	00:26:00
4	27/06/2019	08:40	12:25	03:45					06:00:00	04:40:00
5									01:05:00	01:00:00
6									01:35:00	01:35:00
7									01:02:00	01:02:00
8									00:15:00	00:15:00
9									01:20:00	01:20:00
10									01:20:00	01:20:00
11									03:20:00	02:58:00
12									06:00:00	05:40:00
13									00:20:00	00:20:00
14									01:25:00	01:25:00
15									03:50:00	02:06:00
16									01:35:00	01:35:00
17									00:40:00	00:35:00
18									03:40:00	02:35:00
19									02:30:00	02:10:00
20	01/07/2019	08:45	17:00	08:15	02/07/2019	12:15	16:30	04:15	13:55:00	12:55:00
21									01:05:00	01:05:00
22									00:30:00	00:30:00
23									01:20:00	01:20:00
24									02:45:00	02:45:00
25									01:20:00	01:20:00
26									01:55:00	01:35:00
27									00:55:00	00:55:00
28									02:35:00	02:35:00
29									01:40:00	01:30:00

id	Data 2	Inizio 2	Fine 2	Scarto 2	Data 3	Inizio 3	Fine 3	Scarto 3	Scarto ORA	Tempo effettivo
30									00:45:00	00:35:00
31									02:05:00	01:20:00
32									01:10:00	01:06:00
33									03:35:00	02:25:00
34									02:15:00	02:05:00
35									02:30:00	02:17:00
36									01:50:00	01:50:00
37									01:15:00	01:15:00
38									00:50:00	00:50:00
39									03:45:00	03:45:00
40									00:20:00	00:20:00
41									00:53:00	00:53:00
42									00:19:00	00:14:00
43									01:15:00	01:15:00
44									02:29:00	01:34:00
45									01:35:00	01:35:00

Allegato 3

id	Trasporto	TPC	TRM	TM	A vuoto	N. a vuoto	Scarichi	Produzione (q)	Prod.tot (q)	Resa (q/ha)
1	00:40:00		0:50		0:04	2	9	48	432	43,2
2	00:10:00						3	35,9	107,7	30,7
3	00:02:00		0:10		0:02	1	1	35,9	35,9	35,9
4	01:00:00	2:00		1:20			5	43,5	217,5	27,2
5	00:05:00			0:05			1	37	37	37
6	00:20:00						0.4	17,2	17,2	2,6
7	00:05:00						1.3	42,9	55,7	37,2
8	00:05:00						0.5	21,5	21,5	43
9	00:17:00						0.5	21,5	21,5	43
10	00:05:00	1:20					2	38	53,2	35,5
11	00:40:00	0:10	0:15	0:07			4	40,6	138,1	34,5
12	00:30:00	0:10		0:20			8	48	384	32
13	00:02:00	1:40								
14	00:03:00						2.7	48	129,6	51,8
15	00:20:00		0:25	1:15	0:04	2	4	38,7	154,8	44
16	00:15:00	3:00					2	45	90	45
17	00:20:00			0:05			0.5	17,05	17,05	34,1
18	00:15:00		0:50	0:15			2.5	34,1	85,25	34,1
19	00:01:00			0:20			3.3	35,9	118,5	53,9
20	00:45:00	6:50	0:20	0:40			13	46	605	30,25
21	00:20:00	2:30					1.6			
22	00:10:00						1	25	25	50
23							1	10	10	10
24	00:02:00						3	28,4	85,2	28,4
25							2.7	48	129,6	64
26	00:30:00	0:05		0:15	0:05	1	2	45	90	30
27	00:30:00	0:05					1.5			
28	00:20:00						2.7	48	129,6	51
29	00:10:00	3:00		0:10			3.5	48	168	84

id	Trasporto	TPC	TRM	TM	A vuoto	N. a vuoto	Scarichi	Produzione (q)	Prod.tot (q)	Resa (q/ha)
30	00:40:00			0:10			1	43	43	61
31				0:45			2.6	46	119,6	70
32	00:30:00				0:04	2	2	48	96	48
33	00:05:00	1:50		1:05	0:05	2	4			
34	00:20:00			0:10			3	40,6	121,8	60,9
35	00:30:00			0:10	0:03	1	3.6			
36	00:10:00	1:30					2.4	34	81,6	40,8
37	00:10:00						2			
38	00:20:00						1	50	50	41,6
39	00:15:00						4	45	180	36
40	00:20:00	2:00					1	18,4	18,4	92
41	00:02:00						1	46,1	46,1	38,4
42	00:01:00			0:05			1	18,5	18,5	61
43	00:05:00						2			
44	00:01:00		0:55				4	46	184	92
45	00:20:00						2			

Allegato 4

id	Svolta 1	Svolta 2	Svolta 3	Svolta 4	Svolta 5	Svolta 6	Svolta 7	Svolta 8	Svolta 9	Percorso 1	Percorso 2
1	20"	27"	35"	15"						3'20"	1'42"
2	12"	10"	13"							4'09"	3'44"
3	12"	13"								1'30"	
4	20"	20"	20"							3'50"	4'15"
5	20"	25"								49"	46"
6	27"	35"	35"							2'05"	1'30"
7	25"	32"								2'40"	3'00"
8	20"	17"								43"	33"
9	16"	17"								1'31"	3'00"
10	42"	35"								2'18"	2'10"
11	20"	21"	15"							1'36"	1'12"
12	25"	40"	20"	26"	27"	30"				3'47"	3'16"
13	22"	18"								1'06"	1'04"
14	16"	13"	17"	26"						1'12"	3'05"
15	18"	35"	40"	26"						2'55"	1'50"
16	17"	45"	32"	25"						1'12"	3'45"
17	35"	27"	36"							2'20"	2'35"
18	40"	42"	37"							1'01"	1'27"
19	18"	26"	35"	37"						3'18"	3'49"
20	19"	23"	21"	23"	24"	25"	27"			1'28"	1'46"
21	23"	22"	20"	16"	28"					1'15"	55"
22	36"	30"	20"	18"						1'19"	1'09"
23	24"	24"	26"							1'06"	1'33"
24	33"	40"	35"							2'21"	2'34"
25	19"	25"	29"	32"						1'23"	1'43"
26	23"	26"	24"	19"	23"	20"				2'19"	2'13"
27	12"	23"	19"	16"						1'12"	1'01"
28	26"	1'01"	40"	26"	32"	20"	24"			1'37"	2'25"
29	25"	29"	27"	25"	22"	24"	20"	15"		1'26"	1'25"

Allegato 5

11	Percorso 3	Percorso 4	Percorso 5	Percorso 6	Percorso 7	Percorso 8	Percorso 9	Velocità 1	Velocità 2	Velocità 3
1	1'43"	2'05"						6,7	8,4	7,7
2								5,5	6,4	
3								6,9		
4	4'20"							6,3	5,8	7
5	60"							7,5	6,7	5,8
6	59"							6,7	5,9	
7	1'55"	1'45"						6,4	4,5	5,8
8	36"							7,4	8,3	
9	2'26"	3'05"								
10	1'31"	1'05"	52"					6,4	7,3	
11	1'08"	2'26"	2'15"	2'20"	1'27"	1'23"		8,4	8,5	8
12	3'24"	1'30"	2'30"	2'27"	2'18"	2'10"	1'04"	7,3	8,7	8,2
13								4,3	5,5	3,5
14	1'25"	2'19"	2'08"	1'52"				6,6	5,8	7
15	1'54"	2'15"	1'40"					5,3	6,1	6,4
16	1'14"	1'22"	1'20"							
17	2'23"	1'30"								
18	1'17"	1'05"								
19	4'15"	3'24"								
20	1'20"	2'36"	1'51"	1'20"	2'40"	1'07"	1'13"	7,8	7,4	7,8
21	51"	1'54"	2'34"	2'12"	2'21"			5,8	6,9	7,2
22	1'03"	1'00"						4,2	3,7	5,2
23	1'40"	1'22"						5,5	6,2	7
24	2'35"	1'22"						7,6	6,2	7
25	1'07"							6,5	6,6	6,4
26	2'05"	2'37"	2'04"	2'13"				6,5	8,2	7,8
27	42"	16"								
28	2'15"	1'29"	1'44"	42"	29"	1'46"		6,9	7,2	7,4
29	1'17"	1'19"	2'04"	2'14"	2'04"	1'48"		7,2	7,6	8,2
30	47"							6,9	6,4	6,5
31	1'06"	1'49"	1'18"					6,6	7	6,5

Allegato 6

id	Velocità 4	Velocità 5	Velocità 6	Velocità 7	Velocità 8	Velocità 9	Lc_mean	Lc_min	Lc_max	Lc_sd
1	6,9						0.028111	0	24.748.737	0.663055
2							0.008211	0	30.631.376	0.369391
3							0.004272	0	28.298.079	0.292482
4	6,9						0.050651	0	62.5	1.346.953
5							0.004432	0	33.541.019	0.322048
6							0.016016	0	43.954.876	0.587473
7							0.009083	0	45.112.705	0.465894
8							0.003204	0	40.668.247	0.325188
9							0.010741	0	49.497.475	0.5822
10							0.011905	0	45.043.381	0.600062
11							0.027759	0	46.678.757	0.891661
12	9,4						0.04475	0	46.25	1.068.625
13							0.003207	0	41.325.687	0.286622
14	7,7						0.011283	0	39.131.191	0.477698
15	5,5						0.008208	0	30.103.987	0.395416
16							0.021807	0	54.800.777	0.877387
17							0.00873	0	58.101.475	0.566258
18							0.019833	0	53.502.335	0.808231
19							0.018868	0	37.831.863	0.72997
20	7,4	7,5	6,9				0.116548	0	66.532.417	1.990.453
21	7,4						0.014706	0	51.878.765	0.695353
22	5,8						0.002749	0	35.022.316	0.279827
23							0.010418	0	44.721.359	0.564976
24							0.028149	0	62.5	103.419
25	5,9						0.001932	0	15.934.436	0.124023
26	8,4	6,6					0.025654	0	64.867.653	0.981554
27							0.007307	0	31.684.479	0.432492
28	6,8						0.015448	0	3.957.785	0.604774
29	8,9	7,7	7	7,6	7,4		0.007087	0	26.590.059	0.336774
30							0.005202	0	44.484.898	0.401209

id	Velocità 4	Velocità 5	Velocità 6	Velocità 7	Velocità 8	Velocità 9	Lc_mean	Lc_min	Lc_max	Lc_sd
31	6,9						0.009017	0	4.562.928	0.498528
32	6,7	7,7					0.003049	0	25.124.689	0.229443
33	7,1	6,3	7	8,4	7,3		0.015699	0	34.118.359	0.588153
34	5,5	7,2	4,8				0.015954	0	40.898.121	0.686383
35	8,5						0.012189	0	38.810.436	0.558589
36	6,2	7,8	6,6	6,2	7,3	6,5	0.013695	0	35.630.482	0.580981
37	5,8						0.009417	0	35.630.482	0.481748
38							0.008069	0	4.790.942	0.466598
39							0.010868	0	41.325.687	0.475504
40	7,8						0.001436	0	29.381.649	0.167848
41	7,8						0.009193	0	42.102.924	0.49325
42							0.001188	0	24.764.517	0.146014
43	7,6	7,5					0.00036	0	4.419.417	0.03019
44							0.000964	0	1.767.767	0.105536
45							0.018321	0	43.337.341	0.671774