POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

Modelli e algoritmi per l'organizzazione e la gestione dei processi agricoli di raccolta della frutta

Relatore:

Prof. Franco Lombardi

Candidato:

Daniele Tomaiuolo

Settembre 2018

INDICE

INDICE 2
1. INTRODUZIONE 3
1.1 AGENTI PRINCIPALI 4
1.1.1 3A S.R.L. 4
1.1.2 AGRIGEORGIA 5
2. DEFINIZIONE DELL'OBIETTIVO DEL MODELLO 7
3. MAPPATURA DEL PROCESSO 8
3.1 METODO DI ANALISI DEL PROCESSO 8
3.1.1 STRUMENTI 8
3.2 PROCESSO DI RACCOLTA 9
3.2.1 PROGRAMMAZIONE DELLA RACCOLTA 9
3.2.2 PRELIEVI PRE RACCOLTA 10
3.2.3 MODALITÀ DI RACCOLTA 11
3.2.4 VARIABILI CONNESSE ALLA PROGRAMMAZIONE DELLA RACCOLTA 11
3.3 PROCESSO POST RACCOLTA 14
3.3.1 ACCETTAZIONE 14
3.3.2 ANALISI DI QUALITÀ 16
3.3.3 PULITURA NOCCIOLE 18
3.3.4 ESSICCAZIONE NOCCIOLE 20
3.3.5 SCARICO E SPEDIZIONE 21
4. INPUT ANALYSIS 23
4.1 RIPARTIZIONE NOCCIOLE PER VARIETÀ 23
4.2 CALCOLO DEL PESO DEGLI SCARTI 24
4.3 ANALISI INCROCIATA RENDIMENTO BATCH – MODALITÀ DI RACCOLTA 28
4.4 DISTRIBUZIONE DEL RENDIMENTO 30
4.5 ANALISI RIPARTIZIONE PER AZIENDA (CONFRONTO DIRTY / CLEAN WEIGHT) 33
4.6 PERIODO OTTIMALE DI RACCOLTA 34
4.7 PRODUTTIVITÀ DI RACCOLTA DELLE RISORSE 35
5. MODELLAZIONE 38
5.1 ALGORITMO DI OTTIMIZZAZIONE 38
5.1.1 DEFINIZIONE DEL LOTTO DI RACCOLTA 38
5.1.2 MODELLAZIONE DELLA MATURAZIONE DELLE NOCCIOLE (MODELLO DI SIMULAZIONE) 39
5.1.3 HARVEST EARLIEST TIME & HARVEST LATEST TIME 40
5.1.4 PARAMETRI ALGORITMO DI SCHEDULAZIONE 41
5.1.5 ALGORITMO DI SCHEDULAZIONE 44
6. MODELLAZIONE SU FLEXSIM 48
6.1 FLUSSO DI PROCESSO 48
6.1.1 OPERATORI, MACCHINE DI RACCOLTA E DISPATCHER 48
6.1.2 HARVEST CHAIN 50
6.2 IPOTESI DEL MODELLO 52
7. OUTPUT ANALYSIS 54
7.1 TIPOLOGIE DI SIMULAZIONI 54
7.3 OUTPUT DELLA SIMULAZIONE 54
7.3.1 SIMULAZIONE 1 54
7.3.2 SIMULAZIONE 2 61
8. CONCLUSIONI 70
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA 73

1. INTRODUZIONE

L'elaborato si pone come obiettivo l'analisi del processo di raccolta ed essiccazione delle nocciole all' interno dell'azienda agricola Agrigeorgia Ltd. L'elaborato sarà distinto in due parti.

La prima si concentrerà sulla definizione di un algoritmo per la schedulazione delle attività di raccolta. Questa fase del processo è particolarmente critica: la qualità della nocciola dipende dalla velocità con la quale si va a raccogliere e questo incentivo rende il processo particolarmente frenetico. Le decisioni vengono tutt'ora prese sulla base dell'esperienza degli agronomi ma l'idea è di cercare di fornire un metodo basato su indicatori affidabili, supportato quindi dai dati raccolti negli anni, che permetta di inseguire gli obiettivi di efficienza richiesti, soprattutto a livello di tempi complessivi. In particolare si cercherà di determinare un algoritmo che si basi sulla produttività di raccolta.

La seconda parte verterà sulla creazione di un modello di simulazione ad eventi discreti, per mezzo del software Flexsim, dove sarà possibile testare gli effetti di cambiamenti più ampi che riguardano la programmazione di lungo periodo. Il software in questione verrà utilizzato per due scopi:

1) Nel primo caso si procede a testare l'algoritmo di schedulazione creato in precedenza per verificarne gli effetti sul processo in termini di tempi totali di raccolta e di permanenza delle nocciole in campo.
2) Effettuare alcune simulazioni per fornire stime ed analisi sul dimensionamento delle risorse dedicate alle attività di raccolta e sul dimensionamento degli Stock. Variare il loro numero per ottenere un'anticipazione della fine della raccolta potrebbe influire ed avere ricadute su altri aspetti del processo.

Gli obiettivi da raggiungere sono i medesimi: aumentare l'efficienza del processo e la sua velocità ma questo passa attraverso due approcci al problema differenti, in un caso l'ottimizzazione, nell'altro la simulazione con incremento delle risorse.

Il metodo di lavoro seguito prevede le seguenti fasi:

1. **Definizione dell'obiettivo del modello:** La definizione dell'obiettivo del modello di simulazione è prioritario per la definizione del modello.
2. **Mappatura del processo**, eseguita per mezzo di diagrammi che permettano di comprendere le operazioni, gli attori e le entità presenti. In particolare verranno utilizzati flowchart per il processo operativo e diagrammi delle classi per il flusso informativo.
3. **Analisi dei dati di Input** della simulazione e dell'algoritmo di schedulazione. In questo senso verranno prelevate informazioni dal database formatosi in questi anni di raccolte.

4. **Definizione dell'algoritmo di schedulazione** sulla base dei dati di input disponibili
5. **Modellazione del processo** per mezzo del software Flexsim del processo di raccolta e simulazione dei differenti scenari previsti
6. **Analisi dei dati di Output** della simulazione e successiva interpretazione

1.1 AGENTI PRINCIPALI

1.1.1 3A S.R.L.

L'azienda 3A S.r.l. è un'azienda di consulenza IT che si occupa in parte dell'installazione, manutenzione e controllo di centraline metereologiche munite di sensori per la rilevazione di dati inerenti le attività agricole, nel territorio del Piemonte per conto della Regione e per clienti specifici in altre zone. I dati rilevati riguardano le condizioni metereologiche e sono soggetti ad elaborazioni che permettono di fornire Report alle aziende per gestire e prevedere eventuali situazioni di allerta meteo o altre problematiche. Inoltre la 3a S.r.l. porta avanti in parallelo collaborazioni e progetti con aziende agricole supportandole nel loro processo di informatizzazione. In particolare negli ultimi anni ha affiancato aziende specializzate nella produzione e raccolta di nocciole alla quale offre sistemi gestionali per la registrazione dei dati. Le due piattaforme per la gestione delle attività di raccolta ed essiccazione si chiamano HDS (Hazelnuts Drying System) e FMP (Farm Management Platform). La dimensione delle aziende in questione è notevole e la loro gestione necessita di supporti di questo genere, soprattutto in funzione di garantire la tracciabilità e rintracciabilità del prodotto.

Tracciabilità e rintracciabilità

In entrambe le piattaforme risulta di particolare importanza il discorso della tracciabilità e successiva rintracciabilità del prodotto.
Secondo il regolamento Europeo 178/2002:

> *La tracciabilità è la capacità di ricostruire e seguire il percorso di un alimento , di un mangime, di un animale destinato alla produzione alimentare o di una sostanza destinata o atta ad entrare a far parte di un alimento o di un mangime attraverso tutte le fasi della produzione, della trasformazione e della distribuzione. La capacità di mantenere il controllo dell'origine dei prodotti e dell'identità degli animali lungo i diversi passaggi della catena alimentare, all'allevatore alla vendita al dettaglio.*

Con tracciabilità si intende quel processo volto a tenere traccia di tutti gli elementi in ingresso che vanno a creare, modificare o trasformare un prodotto, sia alimentare, chimico, industriale o logistico. Con

rintracciabilità si intende il processo che torna indietro nella catena di produzione di un prodotto, al fine di ricercare un preciso evento o un'azione.
La regolamentazione imposta dall'Unione Europea su questi temi si fa sempre più stringente nell'ottica di tutelare il consumatore finale della catena agroalimentare e le aziende agricole di una certa dimensione sono costrette ad evolvere in questa direzione. In ambienti di lavoro con una tale variabilità e cosi frenetici, come quello che verrà descritto, gli algoritmi per la gestione delle informazioni relative al prodotto raggiungono una complessità notevole. L'utilizzo di sistemi gestionali per il data insert e la relativa consulenza in ambito IT sono diventati di fondamentale importanza e permettono, in caso di problemi, di identificarne la provenienza con velocità e precisione.

FMP (Farm Management Platform)

FMP è un'applicazione Web che serve maggiormente per la registrazione delle attività di campo nella fase antecedente la raccolta. Vengono registrate le attività di fertilizzazione, concimazione, lavorazione del suolo ecc. svolte durante l'anno. Fornisce inoltre alcuni Report relativamente ai dati raccolti dalle stazioni metereologiche. Inoltre viene utilizzato per l'inserimento dei dati relativi alle ore lavorate, quindi risulta essere anche un supporto per la gestione delle risorse umane e della loro retribuzione.

HDS (Hazelnut Drying System) 3a

HDS è un'applicazione CrossPlatform utilizzabile su più device. Viene usata per la registrazione delle movimentazioni di nocciole in fase di raccolta ed in fase di essiccazione fino alla spedizione verso i successivi impianti di lavorazione a valle (sgusciatura ad esempio).

1.1.2 AGRIGEORGIA

Agrigeorgia Ltd. è un'azienda agronoma in crescita situata in Georgia nella zona di Zugdidi. È formata da 5 aziende produttrici di nocciole di diverse varietà (Chjitatskari, Khibula, Gejevi, Tsalenjicka, Martsvili) dislocate attorno ad un impianto centrale di essiccazione, situato in Chjitatskari, nella zona indicata in figura. I volumi coinvolti sono notevoli: attualmente si parla di 1700 tonnellate di nocciole all'anno ma gli agronomi prevedono un'espansione che porterà l'azienda a produrre anche 7000 tonnellate/anno.

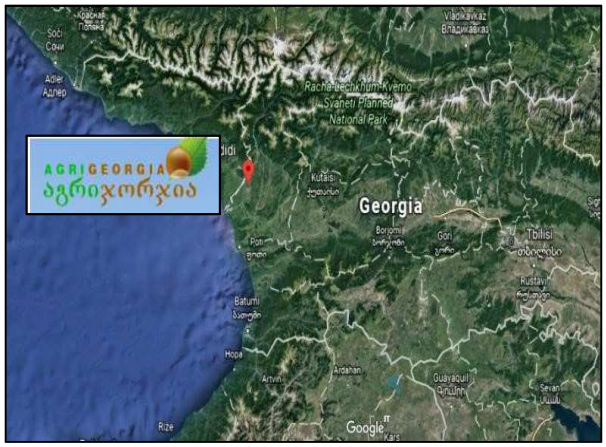


Figura 1 Mappa della Georgia

Organizzazione Territoriale

Lo spazio di raccolta all'interno di AgriGeorgia è suddiviso, anche all'interno del sistema informativo, in vari livelli:

SUBPARCELLA

Area monovarietale all'interno della quale gli alberi presentano lo stesso anno di impianto*. L'anno di impianto* è l'anno della prima coltivazione della pianta. Questa separazione ha lo scopo di rendere uniforme la produzione di nocciole delle piante all'interno dell'Unità territoriale. Più una pianta è longeva infatti più la produzione di nocciole che ne deriva è alta. La subparcella coincide con l'unità catastale. Viene identificata con una lettera preceduta dalle indicazioni relative a Parcella, Lotto e Area.

PARCELLA

Area monovarietale all'interno della quale le piante producono la stessa *varietà* ma possono avere anni di impianto differenti. Anche la varietà è un elemento importante per rendere la produzione delle piante uniforme. Ogni varietà ha le sue caratteristiche ed influenza il processo in maniera diversa. Viene identificata con un numero a due cifre preceduto dall'indicazione relativa al lotto e all'area.

LOTTO

Aggregato di più parcelle. Il lotto spesso coincidere con la gestione dell'irrigazione dei campi (un lotto è totalmente irrigato dallo stesso impianto di irrigazione) o essere semplicemente un punto di raccolta delle nocciole per il successivo invio delle stesse verso un impianto. Viene identificato con una lettera dell'alfabeto preceduto dall'indicazione relativa all'Area.

AREA

Aggregato di più lotti. L'area è un livello utilizzato nel momento in cui i campi si trovino separati geograficamente tra loro. Nel caso della Georgia coincide con l'azienda produttrice di nocciole appunto. Viene identificata con due lettere indicanti l'azienda di provenienza delle nocciole. In Agrigeorgia abbiamo:

- CH: Chjitatskari
- KH: Khibula
- GE: Gejevi
- TS: Tsalenjicka
- MA: Martsvili

Ogni azienda agricola sceglie a che livello di dettaglio scendere per la tracciabilità del proprio prodotto. La nomenclatura a livello informativo è importante per la rintracciabilità in caso di problemi. In Georgia si utilizza per lo più la parcella come livello territoriale per identificare l'origine delle nocciole.

2. DEFINIZIONE DELL'OBIETTIVO DEL MODELLO

Il processo preso in considerazione prevede due stadi: quello relativo alla raccolta e al trasporto delle nocciole verso l'impianto che avviene principalmente in campo e quello relativo alla prima lavorazione (processi di pulitura ed essiccazione) che avviene all'interno dell'impianto. A monte di qualsiasi operazione vi è un processo naturale ovvero la coltivazione e maturazione della nocciola che non è facilmente influenzabile. La raccolta è un processo agricolo strettamente legato a fattori vincolanti di carattere ambientale, climatico e biologico. Questo comporta problemi per la schedulazione delle attività. I fattori e le variabili esogene che possono influenzare la raccolta sono anch'essi difficilmente prevedibili.

La variabile che gli agronomi hanno interesse a massimizzare è la qualità delle nocciole: la velocità con la quale vengono raccolte diventa pertanto preponderante perché la loro permanenza in campo rappresenta un rischio.

Nel momento in cui le nocciole sono mature vengono raccolte e portate all'impianto ovviamente secondo la disponibilità delle risorse. Nel processo di prima lavorazione a valle l'impianto prevede un magazzino temporaneo intermedio tra i due stadi per via della capacità ridotta delle linee e dei Dryer che talvolta non riescono a far fronte ai quantitativi in arrivo dal campo. La fluidità del processo dipende di conseguenza anche dalla quantità di sporco ed umidità portati lungo la filiera. Un maggiore quantitativo di questi ultimi genera ore di lavorazione aggiuntive che potrebbero bloccare il flusso. Le due fasi sono estremamente interconnesse, una modifica delle attività a monte potrebbe avere influssi positivi o negativi sulle attività a valle. Questo genera complicazioni nella definizione del modello perché i due flussi, relativi a campo ed impianto, non possono essere considerati separatamente.

L'elaborato si pone di conseguenza due obiettivi:

- la definizione di un algoritmo di schedulazione della raccolta che persegua come obiettivi quello di ottimizzare i tempi di raccolta per avere come fine ultimo quello di migliorare la qualità delle nocciole. L'idea di partenza è di andare a ottimizzare il tempo di permanenza in campo delle nocciole e la quantità di sporco ed umidità portati in impianto fornendo una prioritizzazione delle Unità territoriali basata sulla produttività di raccolta.
- il dimensionamento delle risorse per la raccolta in relazione ad alcuni obiettivi di tempo e qualità che verranno descritti in seguito

3. MAPPATURA DEL PROCESSO

3.1 METODO DI ANALISI DEL PROCESSO

L'analisi del processo verrà affrontata su due fronti differenti: l'analisi del processo operativo e l'analisi del processo informativo implementato al suo interno. Gli strumenti utilizzati per la descrizione dei processi saranno nel primo caso Diagrammi di Flusso (Flowchart), nel secondo caso verranno alternati Diagrammi di Flusso a Diagrammi delle classi. Questi ultimi sono maggiormente utili per comprendere a livello informativo il legame tra le varie entità.

3.1.1 STRUMENTI

DIAGRAMMA DELLE CLASSI

Il Diagramma delle classi serve a dare una configurazione grafica e pratica delle informazioni presenti all'interno del sistema. Il suo obiettivo è quello di descriverne i concetti base, chiarire gli schemi logici e le associazioni delle entità in esso presenti. È un diagramma spesso utilizzato per descrivere gli schemi logici dei Database e le specifiche funzionali, che utilizza il linguaggio UML (Unified Modeling Language). Questo linguaggio nasce dalla necessità di mettere in comunicazione analisti e programmatori attraverso un linguaggio universale ed è, dunque, un metodo per descrivere l'architettura di un sistema in dettaglio.

Il punto di forza dell'Unified Modeling Language consiste nel fatto che il processo di disegno del sistema può essere effettuata in modo tale che i clienti, gli analisti, i programmatori e chiunque altro sia coinvolto nel sistema di sviluppo possa capire ed esaminare in modo efficiente il sistema e prendere parte alla sua costruzione in modo attivo.

Il diagramma è costituito da classi, attributi ed associazioni.

CLASSI

La classe rappresenta un insieme di oggetti che hanno caratteristiche comuni, ossia che sono descrivibili mediante gli stessi attributi. Ogni classe non rappresenta necessariamente un unico oggetto ma potrebbe rappresentare una moltitudine di istanze che sono distinte per i valori assunti dalle caratteristiche specificate.

ASSOCIAZIONI

Le associazioni sono legami logici tra le classi. Riportano la possibilità che vi sia un legame tra oggetti di diverse classi. All'interno di un'associazione è di particolare importanza il valore della molteplicità. Questa indica il numero di oggetti di una classe che è possibile legare ad un oggetto di un'altra classe con la quale vi è associazione.

ATTRIBUTI

Gli attributi sono classificati come le caratteristiche che contraddistinguono le istanze che fanno parte di una classe

DIAGRAMMA DELLE ATTIVITÀ (FLOWCHART)

Il diagramma delle attività serve invece a rappresentare il processo nelle sue attività e a raffigurare gli attori del processo in questione.

ATTORI

Sono i protagonisti del modello ovvero coloro che hanno la responsabilità di fare una determinata attività. Ad ogni Swimlane corrisponde un attore.

ATTIVITÀ

Sono le operazioni che gli attori svolgono nel modello. Vengono modellate in sequenza temporale. Nel modello in questione si è prestata maggiore attenzione a quelle attività che lasciano traccia nel sistema informativo o che comunque generano informazioni.

3.2 PROCESSO DI RACCOLTA

3.2.1 PROGRAMMAZIONE DELLA RACCOLTA

La fase di programmazione della raccolta avviene su 3 livelli decisionali diversi:

PROGRAMMAZIONE DI LUNGO PERIODO

Riguarda il dimensionamento dell'impianto di essiccazione e delle risorse destinate ad ogni fase del processo in relazione ad una stima di raccolta/produzione di nocciole annua. La stima in questione non è mai molto precisa, solo un'indicazione generica perchè le variabili che influenzano la raccolta sono molte e poco influenzabili spesso. Il modello di simulazione si pone come obiettivo quello di fornire indicazioni relativamente a questo tipo di programmazione.

PROGRAMMAZIONE DI MEDIO PERIODO

Questa programmazione si avvicina maggiormente a quella operativa e ha come obiettivo quello di stilare un calendario provvisorio della raccolta ed una stima delle risorse da allocare alle varie unità territoriali. Si decide a grandi linee per esempio il periodo di raccolta di ciascuna varietà, la modalità con la quale andare a raccogliere in ogni periodo. Questo calendario potrà poi essere modificato durante la raccolta per imprevisti ad esempio di natura metereologica.

PROGRAMMAZIONE GIORNALIERA

Questa programmazione è quella strettamente operativa: giorno per giorno bisogna andare a gestire eventuali imprevisti e determinare l'allocazione delle risorse per effettuare la raccolta di una certa

varietà piuttosto che di un'altra in una parcella piuttosto che in un'altra. La definizione di una logica di schedulazione della raccolta è finalizzata a migliorare questo tipo di programmazione.

3.2.2 PRELIEVI PRE RACCOLTA

Nella fase antecedente la raccolta vengono fatte numerose rilevazioni (una volta a settimana su un campione di 3/5 piante in ogni parcella) che prendono il nome di rilievi fenologici. Vengono identificate tre variabili di interesse che andranno ad influire sulla previsione di raccolta e sulla data di inizio decisa per la raccolta:

- *SHELL & KERNEL UMIDITY (HM%)*
  Questo indicatore è fondamentale per dare l'avvio alla raccolta. Il momento di inizio della raccolta è una variabile che influenzerà tutto il successivo processo (pulitura ed essicazione). Il valore corretto che fa sì che il Responsabile decida di raccogliere dipende dal sito, dalle condizioni metereologiche o da eventuali fattori esterni di rischio. Più le nocciole sono umide più ovviamente l'impianto di pulizia ed essiccazione impiegherà tempo per lavorarle.
- *PERCENTUALE DI FRUTTI A TERRA (%FT)*
  Questo indicatore determina la modalità di raccolta (manuale o meccanica) in ciascuna parcella. Se infatti si volesse procedere con la raccolta in uno specifico momento ma questo indicatore presentasse un valore basso, si dovrebbe procedere con la raccolta manuale in modo da poter prelevare le nocciole sull'albero. Viceversa un alto valore porterebbe a scegliere più facilmente la raccolta meccanica. In particolare la raccolta meccanica non viene attivata se non nel caso in cui questo indicatore superi il 30%.
- *NUMERO DI FRUTTI PER PIANTA (#FP)*
  Questo indicatore è utilizzato per avere una stima preventiva della produzione di nocciole di una determinata parcella (basterà moltiplicarlo per il numero di piante presenti nella parcella). Spesso il valore è molto distante da quello reale.

Va tenuto inoltre in considerazione che le diverse varietà di nocciole hanno un tempo di maturazione differente (in Georgia la varietà più precoce è l'Anakliuri seguita da Romana, Giffoni e le altre) ed una produzione per pianta differente, sempre a seconda della varietà.

In base alle analisi preraccolta viene definito un calendario predittivo ampiamente vincolato dalla precocità di una determinata varietà. La presenza di varietà diverse raccoglibili in tempi diversi permette di avere un dimensionamento più ridotto delle risorse destinate alla raccolta e dell'impianto che possono essere usate alternativamente per una raccolta e successivamente per le altre.

3.2.3 MODALITÀ DI RACCOLTA

La fase di raccolta viene eseguita con 2 modalità:

- **RACCOLTA MECCANICA**

  Questo metodo di raccolta è veloce ma produce come risultato finale un prodotto particolarmente sporco. Prima della raccolta meccanica è necessaria un'operazione di soffiatura per far confluire le nocciole nello stesso punto. Le macchine agricole raccolgono le nocciole a terra ma insieme a loro un grosso quantitativo di scarti (fango, erbacce, pietre) che vengono solo parzialmente smaltiti nel processo. Di particolare importanza sono le pietre: queste potrebbero recare danno agli impianti di lavorazione della nocciola a valle (sgusciatura in particolare) che presentano dei macchinari molto precisi e sensibili. Per questo motivo deve essere sempre indicata, nella creazione del carico, dal Responsabile del campo la modalità con cui è stata effettuata la raccolta: le nocciole raccolte meccanicamente seguiranno un particolare processo di pulizia. La raccolta meccanica necessita di 2 passaggi per la raccolta (al primo passaggio viene raccolto il 60% del totale, al secondo il 40%). Le macchine agricole per la raccolta sono specifiche per ogni varietà.

Figura 2: Macchine raccoglitrice

- **RACCOLTA MANUALE**

  È un metodo piuttosto lento ed inadatto se l'addetto deve coprire lunghe distanze. Permette di avere un prodotto finale molto più pulito rispetto alla tipologia precedente e di correre meno rischi (le pietre non vengono raccolte) ma causa l'utilizzo di molte risorse umane in più. È particolarmente utilizzato nel caso si prendesse la decisione di raccogliere prematuramente una determinata varietà per problemi esterni. La raccolta manuale avviene per mezzo di sacconi identificati per mezzo di QRcode che corrispondono a Sistema all'entità Load.

3.2.4 VARIABILI CONNESSE ALLA PROGRAMMAZIONE DELLA RACCOLTA

METEO

La pioggia è un problema molto importante per la coltivazione delle nocciole. La pioggia è strettamente connessa alla crescita dell'umidità delle nocciole e genera rallentamenti nel successivo processo di lavorazione. Inoltre, quando piove non è possibile raccogliere né con risorse umane né meccaniche. Nel momento in cui smette di piovere la raccolta procederà per un periodo variabile da 0 a 3 giorni, in relazione a quanto ha piovuto, esclusivamente manualmente. Il processo di raccolta rallenta e i vantaggi della raccolta manuale sono vanificati perchè le nocciole raccolte risultano comunque molto umide. Questo genera rallentamenti anche nel processo in impianto in compenso ma in maniera non proporzionale. In tutti i casi il fattore preponderante è la qualità delle nocciole che si deteriora.

Se è prevista pioggia pertanto, si cerca di accelerare la raccolta per non rovinare ed inumidire le nocciole presenti sul suolo e per non bloccare l'impianto nei giorni successivi per mancanza di materiale da lavorare. Si inviano più nocciole possibili all'impianto che lavora comunque anche in condizioni meteo avverse.

La produzione di nocciole può inoltre essere a rischio per condizioni meteo avverse nella fase di maturazione della pianta. Eventuali improvvise gelate potrebbero rovinare il raccolto. Nei campi sono state introdotte apposite stazioni metereologiche che rilevano dati sul clima e avvisano i Responsabili in caso di eventuali problemi.

DISPONIBILITÀ DELLE RISORSE

Le risorse sono limitate e le macchine raccoglitrici sono specifiche per una varietà. La distribuzione delle risorse viene decisa da un capo Area: ogni volta che viene conclusa la raccolta per una determinata varietà lui decide con che varietà procedere in un'altra parcella seguendo il calendario o modificandolo per eventuali imprevisti. Le risorse verranno poi disposte di conseguenza anche in relazione al tipo di raccolta che si vuole andare ad eseguire.

DISTRIBUZIONE RISORSE

L'impianto a valle della raccolta rappresenta un collo di bottiglia nel processo e può guidare parzialmente la raccolta nella programmazione day by day. Per esempio, in Georgia le linee produttive presentano una capacità di pulitura di 120 tonn/gg ma la quantità raccoglibile è maggiore. Gli essiccatori invece hanno una capacità di circa 96 tonn/gg (8 essiccatori x 12 tonn/essiccatore x 1 ciclo/gg). Non c'è un bilanciamento ottimo nelle strutture se la linea lavora a pieno regime anche se va detto che spesso non è così. Va considerato inoltre che per nocciole particolarmente umide o per nocciole molto sporche la capacità dell'impianto si riduce ancora (in caso di pioggia questo è parzialmente compensato da un rallentamento nella raccolta perchè è necessario procedere manualmente).

I capi area mandano informazioni ai campi in modo da guidare la raccolta anche in relazione alla situazione all'interno dell'impianto. Se l'impianto è sovraccarico la rallentano, se è sottocarico chiedono di incrementarla. L'obiettivo è quello di mantenere allineati la capacità libera dell'impianto e la quantità di nocciole raccolte.

MATURAZIONE

Le diverse varietà hanno differenti periodi di maturazioni, tutti comunque inclusi tra Agosto e Settembre ed un diverso tasso di caduta delle nocciole dall'albero nel tempo. Questo fa sì che la programmazione della raccolta sia parzialmente vincolata. Una volta cadute dall'albero le nocciole vanno raccolte più velocemente possibile perchè a terra si inumidiscono, si sporcano e sono facilmente attaccabili dagli insetti.

DIAGRAMMA DELLA ATTIVITÀ

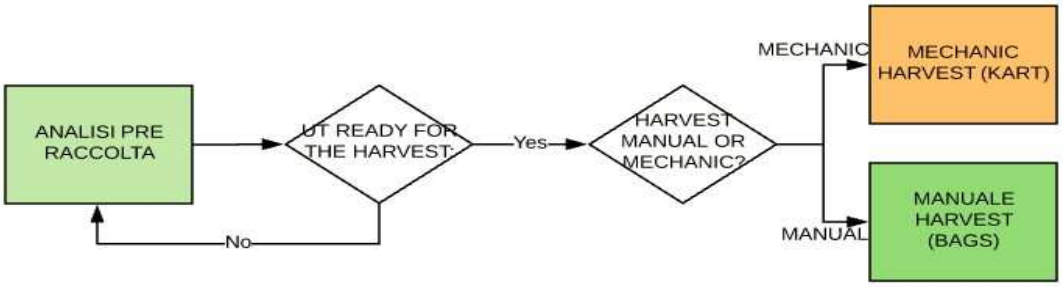


Figura 3: Flowchart della fase di raccolta

Una volta che gli indicatori derivanti dalle analisi fenologiche raggiungono valori soddisfacenti per i responsabili, viene decretato l'inizio della raccolta in una parcella e si decide se raccogliere manualmente o meccanicamente. Da qui in poi entrano in gioco un numero considerevole di variabili da tenere in considerazione per la programmazione giornaliera che potrebbero modificare il calendario prefissato.

Una volta eseguita la raccolta, meccanica o manuale, le nocciole vengono portate in contenitori per il trasporto (carro/camion) ed inviate all'impianto.

DIAGRAMMA DELLE CLASSI

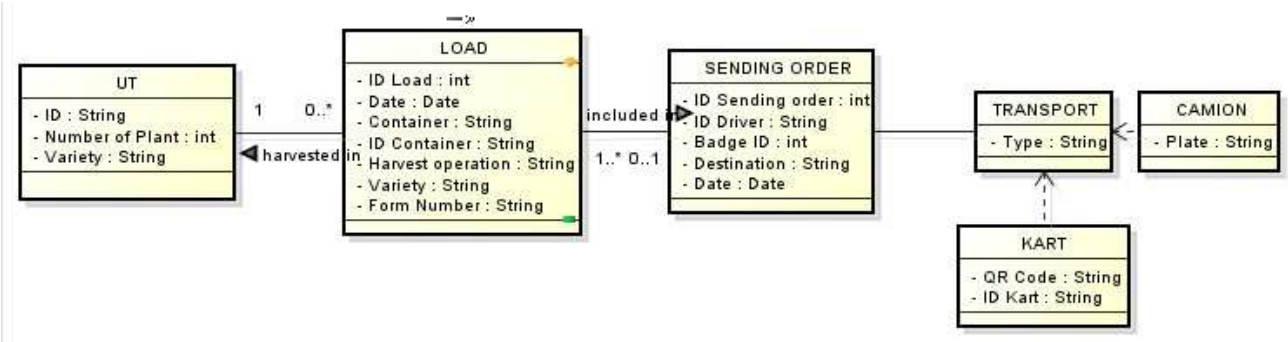


Figura 4: Diagramma delle classi della fase di raccolta

A livello informativo viene creata l'entità LOAD, corrispondere ad una determinata quantità di nocciole di una specifica varietà incluse in uno specifico contenitore, proveniente da una determinata Unità territoriale, raccolte con una specifica modalità di raccolta relativa ad una specifica operazione di raccolta. Le informazioni che vengono associate al Load sono quelle inserite all'interno della sua classe. I Load registrati possono essere i sacchi di iuta (se la raccolta è manuale) o i carretti rossi (se la raccolta è meccanica) per la raccolta. Ognuno di questi è dotato di QRcode identificativo per garantire la tracciabilità.

Una volta che le nocciole vengono immesse nei sacchi o nei carretti vengono portate in un punto in comune (uno per ogni azienda) dal quale partono i trasporti. Il trasporto corrisponde a sistema alla classe Sending order all'interno della quale vengono inseriti 1 o più Load registrati in precedenza. Può essere rappresentato da un insieme di carretti trainati da un trattore o da un Camion in cui viene riversato il contenuto dei carretti. Nella creazione del Sending Order viene inoltre creata un'altra entità, ovvero il Batch che verrà descritta in dettaglio in seguito.

3.3 PROCESSO POST RACCOLTA

Le operazioni successive a raccolta e trasporto delle nocciole sono le seguenti e verranno descritte in seguito singolarmente:

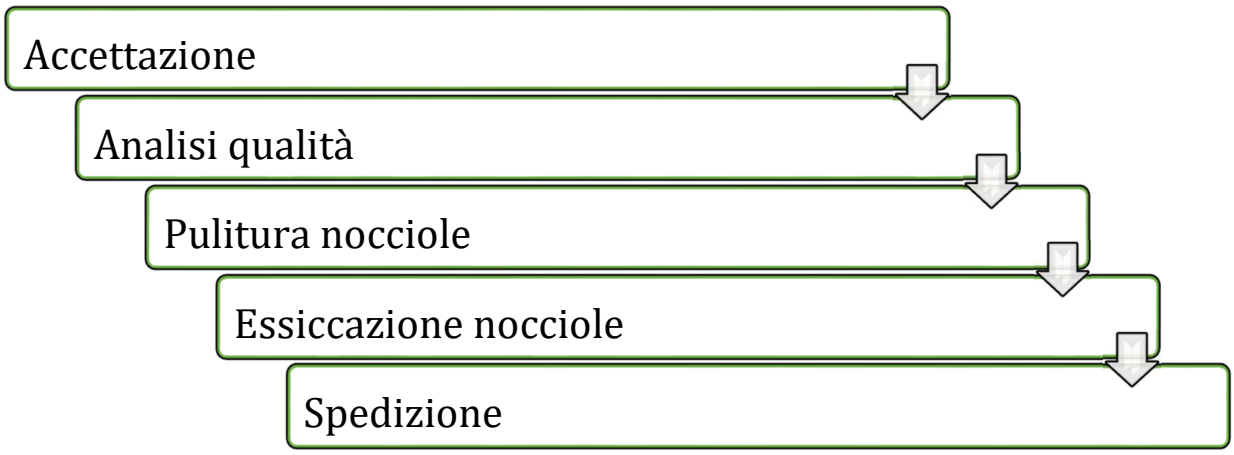


Figura 5: Schema del processo in impianto

Le fasi di accettazione e di analisi di qualità non saranno oggetto della simulazione ma è ugualmente importante conoscere i processi al loro interno per due motivi:

- Parte dei dati utilizzati per la simulazione sono rilevati all'interno di questi processi
- La modalità della raccolta e la qualità della nocciola in arrivo dai campi hanno una particolare influenza su tutto ciò che è a valle della catena in termini di efficienza e di rendimento.

La programmazione della raccolta al fine di ottenere un maggiore qualità della nocciola stessa avrà come fine quello di rendere più fluide e veloci le operazioni all'interno dell'impianto.

3.3.1 ACCETTAZIONE

DIAGRAMMA DELLE ATTIVITÀ

Le nocciole giungono nel "piazzale" di ricevimento in vari formati:

- *Carretto rosso o Kart*: può contenere sacchi di iuta contenenti a loro volta nocciole o nocciole sfuse derivate da raccolta meccanizzata. Viene trainato in accettazione da un trattore.

- *Camion*: in questo caso la distanza tra il campo e l'impianto è considerevole pertanto i frutti raccolti manualmente o meccanicamente dal campo vengono fatti confluire su un camion che trasporta le nocciole sempre in sacchi di iuta o sfuse a seconda dei casi.

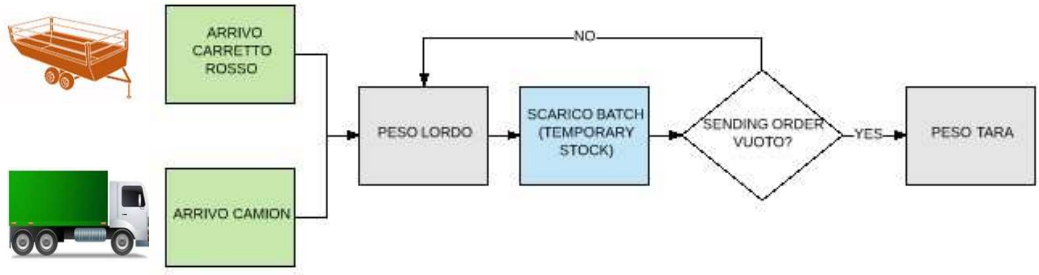


Figura 6: Flowchart del processo di accettazione

Entrambi i trasporti sopra citati sono descritti a sistema come Ordini di invio e passano attraverso il procedimento di pesa. Il dato relativo al peso del Batch è particolarmente importante per il processo. L'Ordine di invio viene automaticamente scomposto in Batch dal sistema in base a determinati criteri descritti in seguito. I batch in questione devono essere pesati separatamente. Pertanto, se un camion contiene più batch al suo interno, dovrà passare dalla pesa più volte. Per ogni batch andranno pesati Peso Grosso e Tara del camion per identificarne il peso netto. Tra una pesata e l'altra dal camion viene scaricato il Batch in questione.

DIAGRAMMA DELLE CLASSI

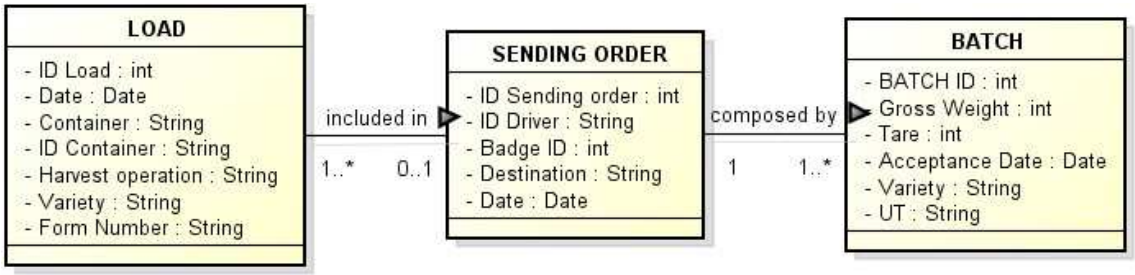


Figura 7: Diagramma delle classi: classi della raccolta

A livello informativo abbiamo quindi le seguenti classi:

- *Carico o load*

  Questa è la più semplice unità di raccolta. Per la raccolta manuale rappresenta un sacco di iuta etichettato, per la raccolta meccanica rappresenta un carretto rosso con nocciole sfuse al suo interno
- *Ordine di invio o Sending order*

Rappresenta l'intero trasporto contenente vari Load. Potrebbe far riferimento ad un carretto rosso oppure ad un camion contenente al suo interno nocciole sfuse o sacchi di iuta

- *Lotto di ricevimento o batch*

  Per motivi logistici che derivano da necessità operative e di tracciabilità del prodotto, all'interno dello stesso trasporto si compie una divisione delle nocciole basata su alcuni criteri ovvero l'uniformità varietale, l'origine. la tipologia di raccolta e il giorno di raccolta.

La relazione tra le classi ha come elemento fondamentale la molteplicità:

- *Relazione Load - Sending order:*

  Ogni Load può essere associato a 0 o al più 1 Sending order. Questo significa che il Load può esistere a sistema senza essere contenuto in un Sending order. Ogni Sending order può essere associato ad 1 o più Load. Un Sending order a sistema pertanto non può esistere senza che vi sia un Load in esso contenuto e ne può contenere molti al suo interno.
- *Relazione Sending order-Batch:*

  All'interno di un Sending order possono essere contenuti 1 o più batch e viceversa un Batch può essere inserito solo all'interno di un Sending order. Non può esistere un Batch senza che vi sia un Sending order e non può essere diviso tra più Sending order.

Da evidenziare inoltre che l'informazione relativa al peso si lega direttamente al Batch in quanto questa è l'entità che verrà considerata nelle successive fasi del sistema (Analisi qualità e Pulitura).

3.3.2 ANALISI DI QUALITÀ

DIAGRAMMA DELLE ATTIVITÀ

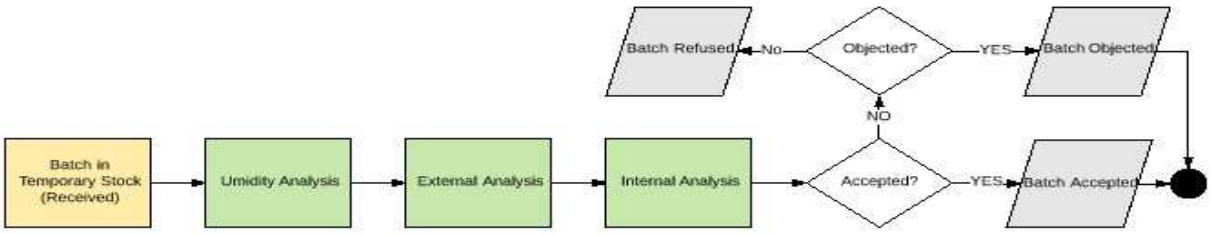


Figura 8: Flowchart analisi di qualità

Una volta accettati, i Batch vengono temporaneamente depositati in un magazzino dove vengono prelevati i campioni per le analisi di qualità. Inizialmente vengono prelevati campioni per l'umidità, poi vengono rotti i gusci delle nocciole e vengono analizzati gli indicatori Esterni. Successivamente le nocciole vengono aperte a metà e si passa ai controlli per gli indicatori Interni. Gli indicatori calcolati sono quindi i seguenti:

- Kernel and Shell Umidity: questo indicatore tiene conto dell'umidità del guscio e del seme
- Empty: questo indicatore tiene in considerazione la percentuale di gusci vuoti

- Indicatori Esterni:
  - Indicatore Shrivelled: questo indicatore osserva la percentuale di nocciole raggrinzite
  - Indicatore Cimiciato Visible: questo indicatore osserva la percentuale di nocciole attaccate da cimici
  - Indicatore ShellTwin: questo indicatore tiene conto della percentuale di semi gemelli
  - Indicatore TwinFruit: questo indicatore tiene conto della percentuale di frutti gemelli

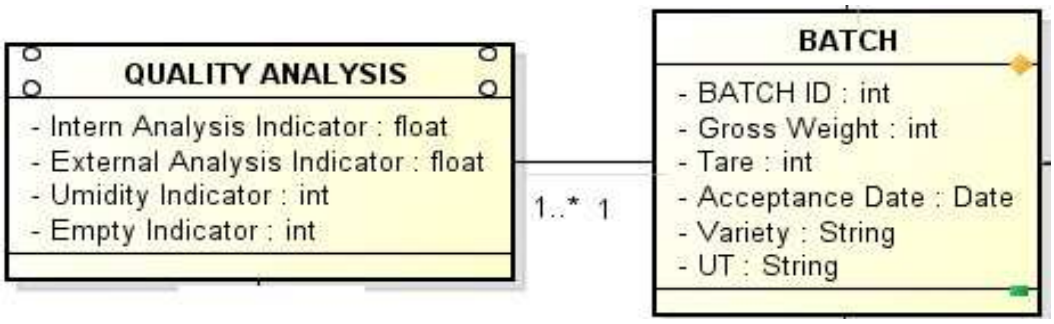
- Indicatori Interni:
  - Indicatore Yellow: questo indicatore tiene conto della percentuale di nocciole ingiallite
  - Indicatore Invisible Shrivelled: questo indicatore tiene conto della percentuale di nocciole raggrinzite internamente
  - Indicatore Invisible Black and White Cimiciato: questo indicatore tiene conto della percentuale di nocciole attaccate da cimici il cui difetto è visibile solo all'interno. Viene fatta una distinzione tra Black Cimiciato e White Cimiciato

- Indicatore Total Avariato
- Indicatore Total Cimiciato

In base a determinati limiti imposti dai Responsabili e presenti nel sistema informativo, una volta inserite a Sistema le varie informazioni relative al Batch, quest'ultimo viene Accettato o Rifiutato direttamente dal Sistema. In casi particolari è possibile che il Responsabile decida comunque autonomamente di accettare un Batch che non supera i controlli di qualità.

La Georgia ha un'analisi particolarmente accurata per quanto riguarda l'indicatore Cimiciato perché questo insetto è il maggior responsabile della bassa qualità nelle nocciole raccolte in questa zona.

DIAGRAMMA DELLE CLASSI



Un'analisi di qualità può essere legata a più batch perchè se uno di questi proviene dalla medesima UT, contiene la medesima varietà ed arriva nello stesso giorno in accettazione l'analisi non viene ripetuta (si presume che darebbe lo stesso risultato).

Ad un Batch invece può essere ricondotta una ed una sola analisi di qualità.

3.3.3 PULITURA NOCCIOLE

DIAGRAMMA DELLE ATTIVITÀ

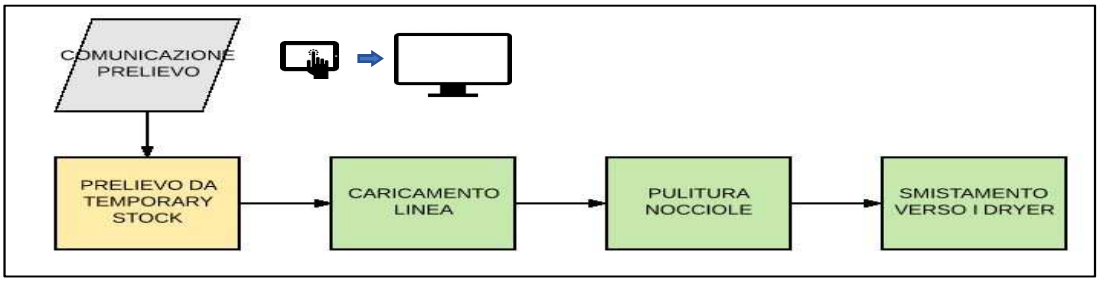
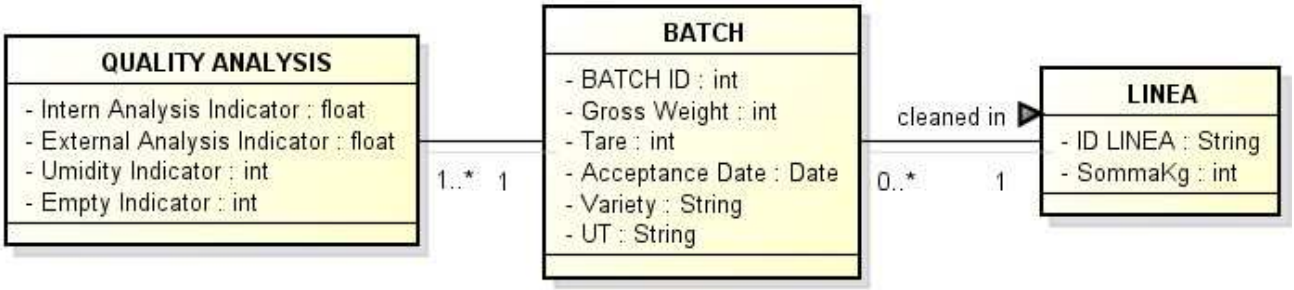


Figura 10: Flowchart del processo di pulitura in linea

I batch che provengono dall'accettazione vengono depositati in una zona di stoccaggio temporaneo in attesa del caricamento in linea. Una volta caricate le nocciole le linee automatizzate provvedono alle operazioni di pulitura e smistano direttamente le nocciole verso i Dryer.

Il Responsabile cerca di caricare in linea nocciole che siano il più omogenee possibili anche dal punto di vista della qualità in modo che il ciclo di essiccazione abbia gli stessi effetti sulle nocciole stesse. Attraverso il tablet l'operazione viene registrata e mostrata direttamente agli operatori del magazzino che provvedono al caricamento.

DIAGRAMMA DELLE CLASSI



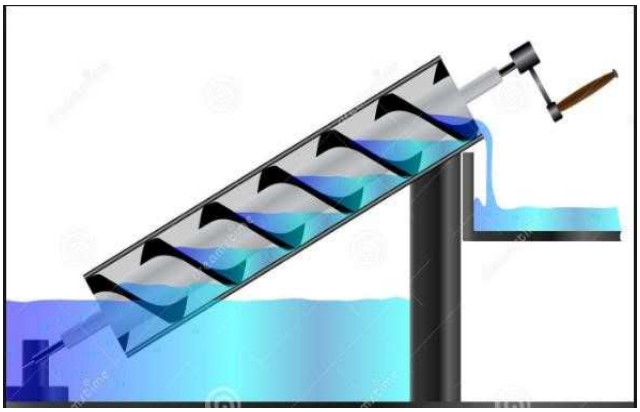
Ogni Batch a sistema è contraddistinto dalle informazioni precedenti più alcune aggiuntive. Gli indicatori Qualità A e B sono degli indicatori che riassumono i risultati delle analisi di qualità (Intern Analysis

Indicator and External Analysi Indicator) per rendere maggiormente veloce la decisione del Responsabile che carica le linee. 1 o più batch possono essere caricati in una linea mentre un Batch non può essere separato in due linee. Teoricamente il sistema lo permette ed ogni tanto accade per necessità.

LINEE DI PULITURA

L'impianto di Agrigeorgia è composto da 4 linee di pulizia. Tutte queste hanno come stazione di partenza una tramoggia che porta le nocciole in linea dopo che queste sono state scaricate nel pozzo dagli operatori.

Ogni linea ha delle particolari caratteristiche:



- La linea C si usa solo con varietà italiane. È la più recente delle linee in Georgia ed è composta da cilindri rotanti per la pulizia a secco, ventilatori separatori ed un macchinario per la separazione delle nocciole dalle pietre che funziona ad acqua. Sfruttando il maggior peso delle pietre, le nocciole vengono portate in una vasca e prelevate successivamente in superficie da una vita di Archimede. Le pietre affondano e vengono mosse dalla corrente e scartate.
- La linea A ed A1 sono le uniche che possono processare le Anakliuri. Questa varietà ha una particolarità: spesso nel momento in cui si stacca dall'albero perchè matura porta con sè attaccato il mallo (la parte vegetale) che va eliminato prima di pulire il frutto. La linea A1 è una linea particolare che viene utilizzata per pulire questa varietà dal mallo e confluisce successivamente sulla linea A. La linea A1 è composta da cilindri rotanti che effettuano un'iniziale pulizia a secco, da un ventilatore separatore per eliminare materiali residui di piccola dimensione e da una smallatrice. Le nocciole smallate procedono verso la linea A, le altre procedono nuovamente verso la linea A1. La linea A è invece composta da cilindri rotanti per la pulizia a secco, ventilatori-separatori e infine da spietratrici. Questi macchinari sono composti da un disco rotante che attraverso una leggera pendenza dal centro verso la circonferenza effettua una selezione in relazione alla differenza di peso tra le nocciole e i sassi.
- La linea B è identica alla linea A e può processare qualsiasi tipo di nocciola.

Successivamente alle 4 linee di pulizia le nocciole passano attraverso due nastri trasportatori dove viene effettuato un ulteriore controllo visivo da parte di 4/6 operatori. Quest'ultima cernita è necessaria per eliminare le pietre che hanno comunque attraversato il processo di pulizia e separazione ed altri materiali estranei.

3.3.4 ESSICCAZIONE NOCCIOLE

DIAGRAMMA DELLE ATTIVITÀ

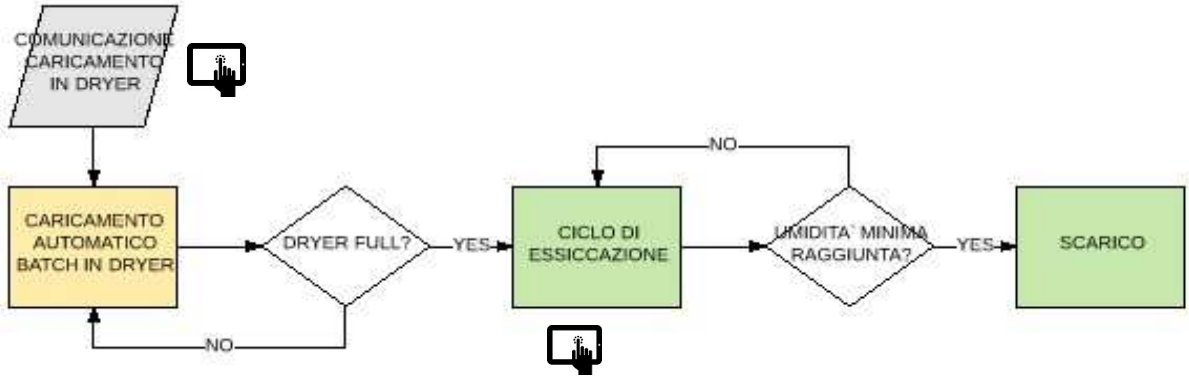


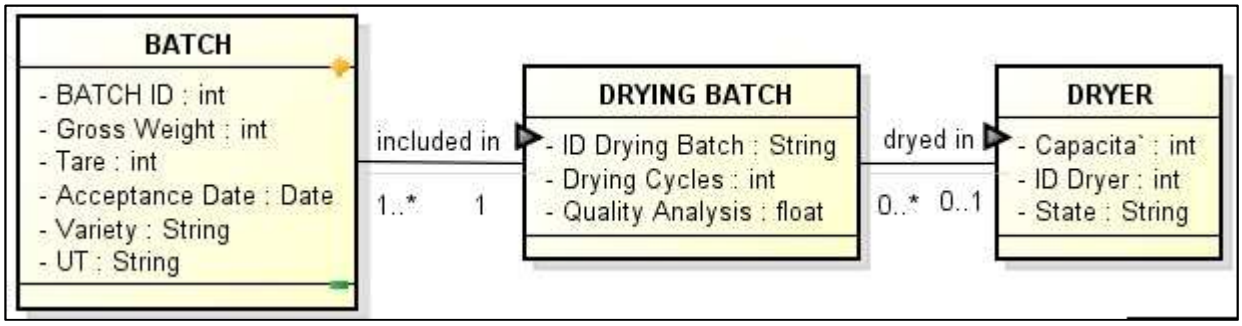
Figura 11: Flowchart processo di essiccazione

Successivamente alla pulitura delle nocciole inizia il processo di essiccazione. Il ciclo di essicazione è composto da un ciclo di riscaldamento e ventilazione delle nocciole alternato ad un ciclo di solo ventilazione. Il ciclo di riscaldamento viene ottenuto soffiando sulle nocciole aria calda proveniente da una caldaia. Il rischio di tostare o stressare le nocciole fa sì che bisogni alternare i due cicli in questione.

Il tempo totale del ciclo in questione è di circa 24 ore ma dipende dall'umidità delle nocciole in ingresso, i Dryer hanno una capacità di 12 tonnellate ciascuno. Ogni volta che si sta per chiudere un determinato ciclo viene prelevato un campione di nocciole di cui ne viene verificata l'umidità. Se è sufficientemente bassa, il Dryer viene scaricato, altrimenti viene ripetuto il ciclo di essicazione.

Ogni Dryer avrà di conseguenza all'interno un lotto di essicazione (Drying Batch) composto da più Batch e identificato da un codice alfanumerico. La qualità complessiva del prodotto in uscita è calcolata come media della qualità dei Batch presenti all'interno del Dryer a cui sono riconducibili le relative analisi di qualità. Quando il ciclo di essiccazione termina si passa alla fase di scarico.

DIAGRAMMA DELLE CLASSI



Come è possibile vedere dal diagramma delle classi uno o più Batch vengono inseriti all'interno di un Drying Batch. I Batch non possono essere divisi in Drying Batch separati. Il Drying Batch viene poi inserito all'interno del Dryer per il ciclo di essiccazione. Durante la raccolta all'interno di un Dryer andranno a finire numerosi Drying Batch.

3.3.5 SCARICO E SPEDIZIONE

DIAGRAMMA DELLE ATTIVITÀ E DIAGRAMMA DELLE CLASSI

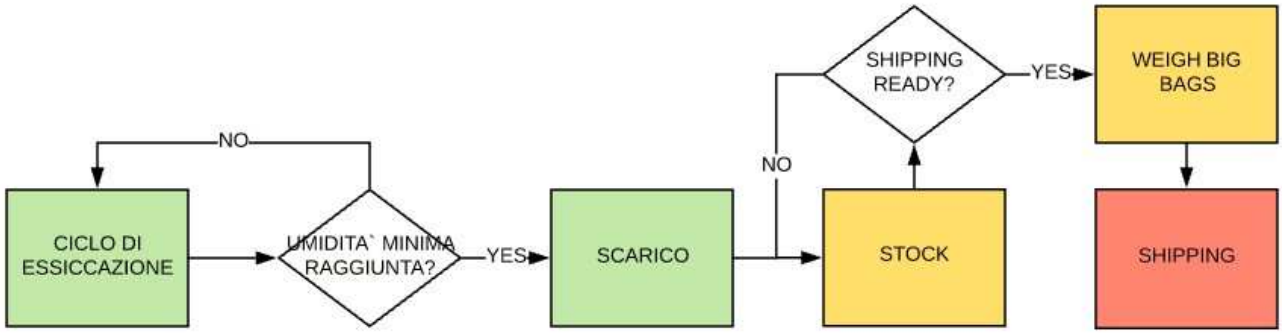


Figura 12: Flowchart processo di scarico e spedizione

I dryer in questione vengono scaricati fisicamente in una dozzina di Big Bag (sacconi di dimensione e peso standard, 1 tonn circa). Ogni saccone viene pesato ed identificato. Le Big Bags vengono mantenuti in un deposito temporaneo adiacente ai Dryer in attesa della spedizione.

Non vengono effettuati controlli di qualità sui Big Bag in uscita ma la qualità delle nocciole inserite sarà pari a quella dell'intero Drying Batch che è ottenuta come media ponderata sul peso delle qualità dei Batch di accettazione

Successivamente le Big Bags al momento della spedizione vengono caricate si un camion che si occupa di trasportarle verso gli impianti che si occupano della successiva fase di lavorazione ovvero la tostatura.

Diagramma delle classi generale

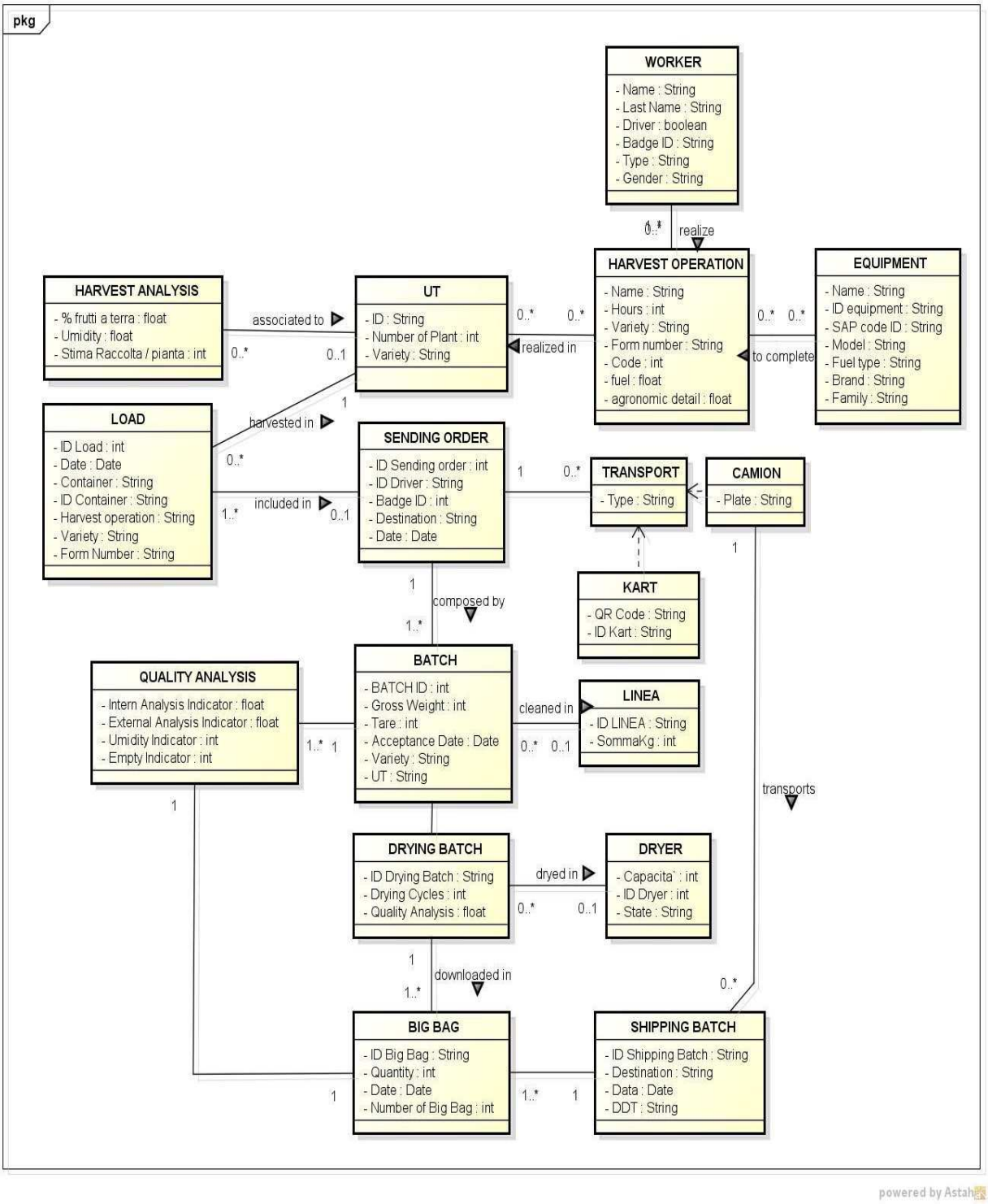


Figura 13: Diagramma delle classi dell'intero processo

Il flusso informativo totale è pertanto descrivibile attraverso questo diagramma delle classi, ottenuto aggregando i vari diagrammi delle classi visti in precedenza in ciascuna fase.

4. INPUT ANALYSIS

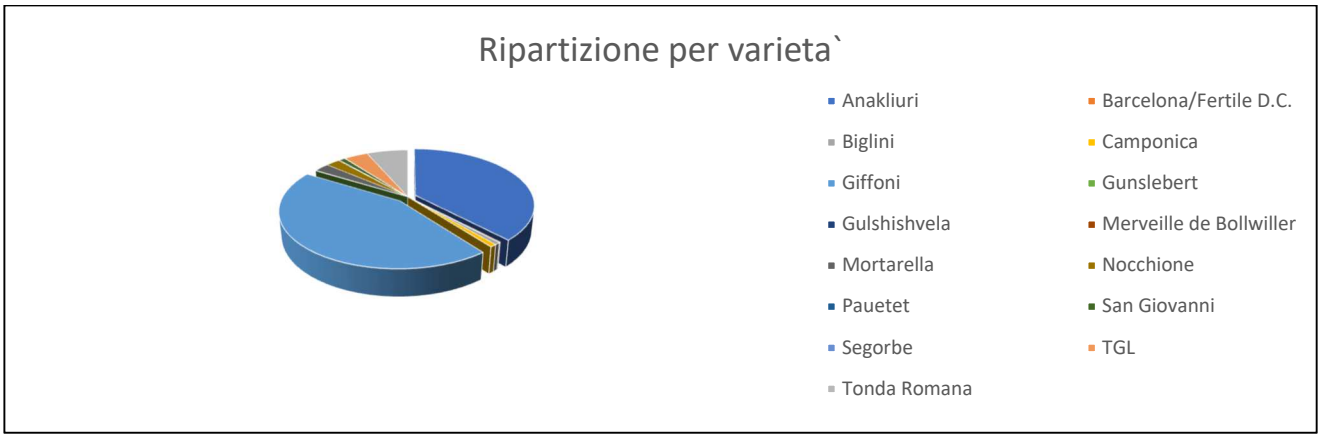
L'Input Analysis è quella fase della simulazione ad eventi discreti che si riferisce alla raccolta e modellazione dei dati. Si compone di 4 fasi:

1. **DATA COLLECTION**: Raccolta dei dati e seleziona di quelli significativi
2. **DATA ANALYSIS**: Analisi dei dati al fine di individuare il corretto metodo per la modellizzazione
3. **DATA MODELING**: Modellazione effettiva dei dati al fine di stimare distribuzioni degli stessi o di trovare algoritmi implementabili nel modello in modo che vengano generati correttamente
4. **GOODNESS OF FIT TESTING**: Verifica dell'effettiva modellizzazione corretta dei dati attraverso Test di Bontà del Fitting

La simulazione ad eventi discreti è fortemente influenzata dall'Input Analysis. Se questa fase non viene svolta correttamente la successiva fase di analisi degli Output porterà a risultati che difficilmente risulteranno interpretabili. Le analisi condotte hanno permesso di comprendere meglio il processo e di modellare l'algoritmo successivamente.

4.1 RIPARTIZIONE NOCCIOLE PER VARIETÀ

Nell'ottica di semplificare il problema si è cercato di capire quali delle varietà raccolte in Agrigeorgia avessero una certa importanza e quali invece fossero marginali. Emerge chiaramente che la ripartizione delle nocciole per varietà non è uniforme ma che anzi le principali varietà sono 3 ovvero Anakliuri (che è la varietà locale), Tonda Romana e Giffoni. I risultati sono mostrati all'interno del grafico a torta sottostante:



Le varietà che verranno considerate per la raccolta nel modello di simulazione sono:

- Anakliuri (38% della produzione)
- Giffoni (44% della produzione)
- Tonda Romana (7% della produzione)

Le altre 12 varietà occupano l'11% della produzione totale delle nocciole ma nessuna di esse ha una percentuale rilevante (i valori si aggirano tra l'1% e il 7%).

Queste varietà, all'interno del modello di simulazione, saranno considerate come se fossero un'unica varietà. Il loro flusso sarà trattato diversamente rispetto a quello delle altre.

4.2 CALCOLO DEL PESO DEGLI SCARTI

Ai fini della creazione dell'algoritmo di schedulazione che verrà descritto in seguito era necessario comprendere la percentuale di sporco e umidità che viene eliminata nel processo di pulizia ed essiccazione in impianto relativamente ad ogni Unità Territoriale per verificare se effettivamente si potessero riscontrare differenze significative tra queste.

Va considerato che, nelle operazioni di impianto, per ogni Batch non è possibile rilevare:

- il peso "pulito" post-essiccazione
- il peso intermedio raggiunto tra linea e Dryer post-pulitura

Per il calcolo di questi valori viene utilizzata una formula, già utilizzata in Cile, dove sono presenti aziende produttrici di nocciole analoghe ad Agrigeorgia Ltd. Questa formula permette di comprendere il peso perso all'interno della fase di essiccazione per ogni Batch in relazione all'umidità persa e al peso sporco del Batch. Il secondo valore deve essere stimato a ritroso calcolando il peso perso nella fase di essiccazione e aggiungendolo al peso pulito del Batch. Si è seguito il seguente procedimento.

CALCOLO CLEAN WEIGHT

Il peso pulito di ogni Batch viene ottenuto ripartendo il peso del lotto di essiccazione sui Batch al suo interno proporzionalmente al peso di accettazione.

PNN_j= Peso netto del j-esimo Batch in uscita dal Dryer

PDB_r = Peso lordo del r-esimo Drying Batch

PNA_j = Peso lordo del j-esimo Batch in Accettazione

$\sum PNAj$= Sommatoria dei Pesi lordi in accettazione dei Batch contenuti nel Drying Batch

Formula:

$$PNN_j = PDB_r * (\frac{PNA_J}{\sum PNA_J})$$

CALCOLO DRYING WEIGHT LOSS

Si passa attraverso questa formula per calcolare per ogni Batch il peso perso all'interno del processo di essiccazione:

PNA_j = peso netto in accettazione (associato al j-esimo Batch) o Gross Weight

HSi_{jj} = umidità del seme iniziale per il j-esimo Batch

HS_{fj} = umidità del seme finale per il j-esimo Batch

HG_{ij} = umidità del guscio iniziale per il j-esimo Batch

HG_{fj} = umidità del guscio finale per il j-esimo Batch

R_j = Rendimento = Peso dei gusci / Peso nocciole per il j-esimo Batch

Per le umidità iniziali del seme e del guscio è stato considerato il valore di umidità riscontrato dalle analisi di qualità in accettazione. Per le umidità finali è stato considerato il valore di umidità finale riscontrato prima dello scarico del Drying Batch. Il rendimento invece è un indicatore calcolato sul Drying Batch ed assunto tale per ogni Batch contenuto al suo interno.

Formula:

$$PSE_j = (PNA_j) * \left[\left(\frac{HG_{ij} - HG_{fj}}{100}\right) * Rj + \left(\frac{HS_{ij} - HS_{fj}}{100}\right) * (1 - R_j)\right]$$

CALCOLO RENDIMENTI DI SCARTO

A questo punto attraverso la seguente formula si è potuto comprendere la percentuale in peso di umidità eliminata nel processo di essiccazione per ogni Batch. A ritroso per ogni Batch è stato poi identificato il peso degli scarti eliminati durante la pulizia ed è stato possibile ottenere.

PNA_j: Peso sporco in accettazione del j-esimo Batch o Gross Weight

PNN_j: Peso netto del j-esimo Batch o Clean Weight

PSE_j: Peso perso nel processo di essiccazione

PNL_j: Peso netto del j-esimo Batch dopo la pulitura

RL_j: Rendimento pulitura

RE_j: Rendimento essiccazione

$$PNL_j = PNN_j + PSE_j$$

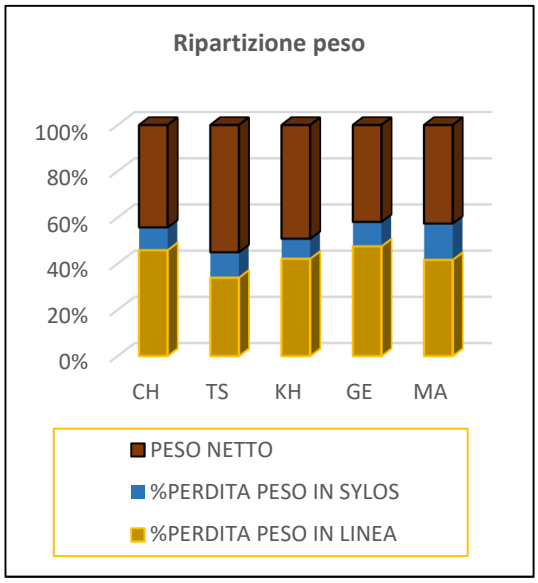
$$RL_j = 1 - \frac{PNA_j - PNL_j}{PNA_j}$$

$$RE_j = 1 - \frac{PNA_j - PNN_j}{PNA_j}$$

I risultati sono stati poi analizzati a seconda dell'azienda di origine dei Batch ed a seconda della varietà dei Batch per evidenziare eventuali differenze. I risultati sono i seguenti:

AZIENDA	%PERDITA PESO IN LINEA	%PERDITA PESO IN SILOS	% CLEAN / DIRTY
CH	45.85%	9.86%	44.29%
TS	33.94%	11.00%	55.06%
KH	42.12%	8.67%	49.21%
GE	47.51%	10.58%	41.91%
MA	41.66%	15.70%	42.64%

Figura 14: Ripartizione dei Rendimenti di Linea per Azienda



Dalla tabella e dal grafico è possibile vedere come la perdita di peso all'interno del Silos ha un valore relativamente più piccolo rispetto alla perdita di peso in linea. Il Clean weight finale del processo oscilla tra il 41% ed il 55% e subisce variazioni significative relativamente alla provenienza. In particolare Tsalenjicka presenta un trend particolare rispetto alle altre perché mostra il più basso valore di %Perdita di peso in linea ed il più alto valore di %Perdita di peso in Silos. È in tutti i casi l'azienda che presenta il migliore rapporto medio tra Clean weight e Gross Weight. La peggiore risulta essere complessivamente Gejevi.

Figura 15: Ripartizione dei Rendimenti di Linea per Azienda

In questa rappresentazione è possibile vedere ancor di più come il processo di raccolta possa essere altamente inefficiente. Il peso degli scarti portati in impianto è maggiore rispetto al peso netto delle nocciole portate in impianto.

VARIETA`	%PERDITA PESO IN LINEA	%PERDITA PESO IN SYLOS	PESO NETTO IN USCITA
Anakliuri	45,41%	11,52%	43,07%
Barcelona	39,29%	5,80%	54,91%
Biglini	24,44%	8,11%	67,45%
Camponica	42,77%	6,00%	51,23%
Giffoni	41,34%	12,23%	46,43%
Gulshishvela	45,47%	12,23%	42,30%
Gunslebert	60,17%	4,16%	35,67%
Merveille de Boilwiller	33,85%	6,13%	60,02%
Mortarella	50,00%	5,96%	44,04%
Nocchione	42,13%	4,74%	53,13%
Pauetet	17,08%	8,45%	74,47%
San Giovanni	46,63%	7,29%	46,08%
Segorbe	42,42%	4,58%	53,00%
TGL	20,98%	9,41%	69,61%
Tonda Romana	46,37%	7,15%	46,48%

Figura 16: Ripartizione rendimenti di Linea per varietà

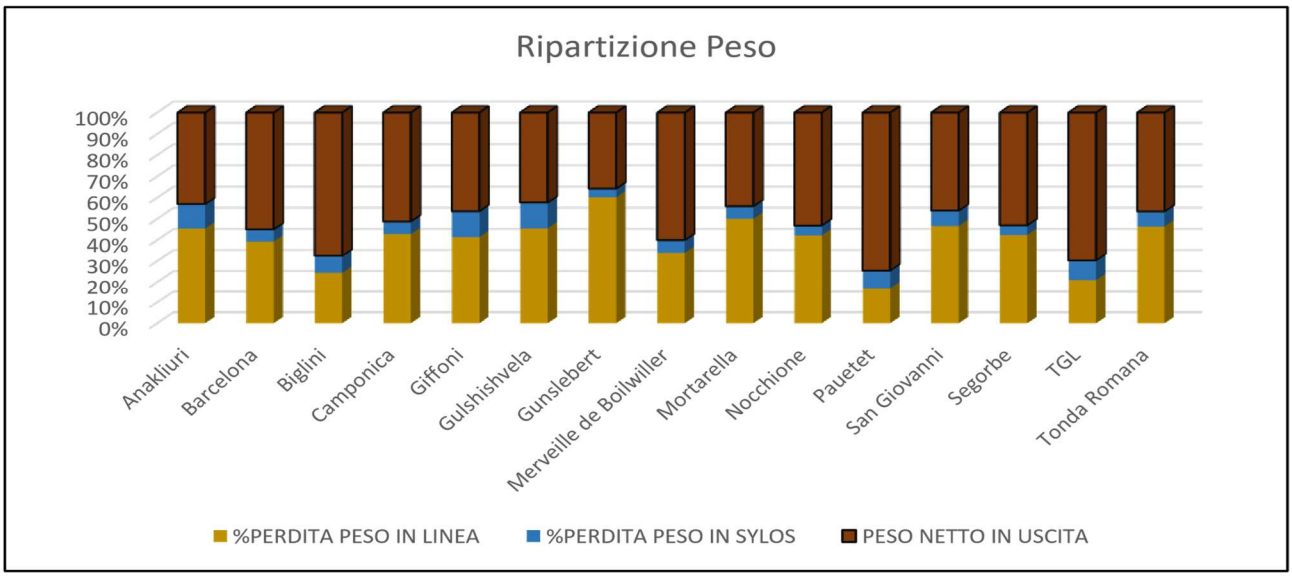


Figura 17: Ripartizione Rendimenti di Linea per Varietà

In questo caso i risultati sono stati invece raggruppati per varietà per verificare se ci fossero differenze significative tra loro. Le differenze maggiori possono essere riscontrate nella percentuale di peso perso in linea che varia dal 60% al 20% circa.

Inoltre ci sono varietà che hanno un Clean Weight in uscita particolarmente alto come Pateuet e TGL. Anche le varietà Biglini e Merveille de Boilwiller hanno Clean Weight alti (67% per la prima e 60% per la seconda). Come visto in precedenza però la coltivazione di queste varietà è molto ridotta: la TGL rappresenta il 4% della produzione e sia la Pateuet, sia la Merveille de Boilwiller sia la Biglini un valore inferiore all'1%. Per le altre varietà il rendimento rimane nel range 45-55%.

Le varietà che rappresentano la parte di produzione più rilevante, ovvero Anakliuri, Tonda Romana e Giffoni appartengono a questo range.

4.3 ANALISI INCROCIATA RENDIMENTO BATCH – MODALITÀ DI RACCOLTA

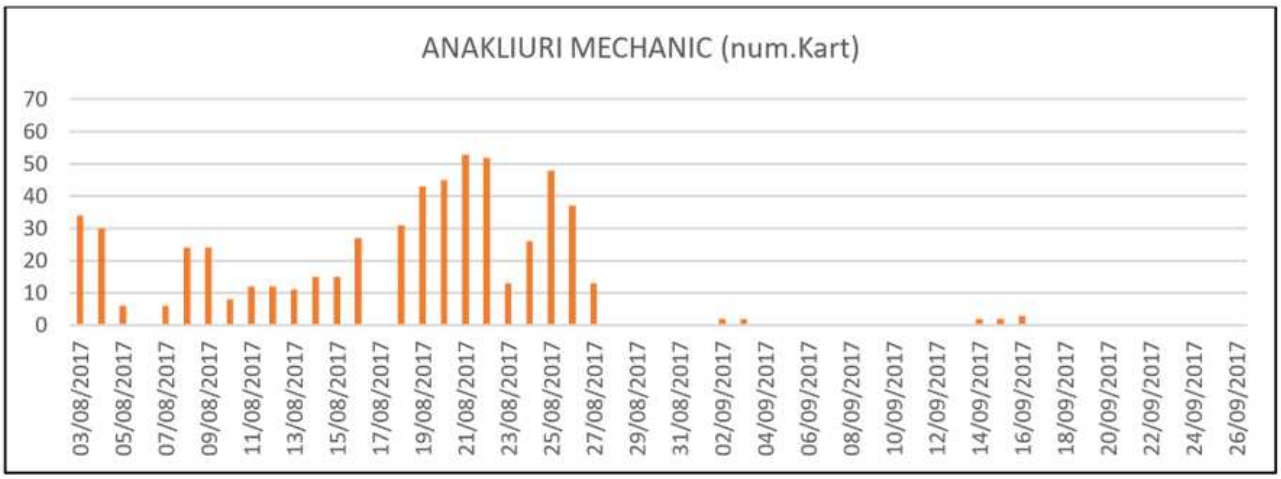
Visti i risultati ottenuti nella precedente analisi e nel tentativo di spiegare le eventuali differenze riscontrate nei rendimenti, la fase di analisi è proseguita, attraverso analisi incrociate, con la ricerca dei fattori che determinano il Rendimento della Linea ed il Rendimento di essiccazione.

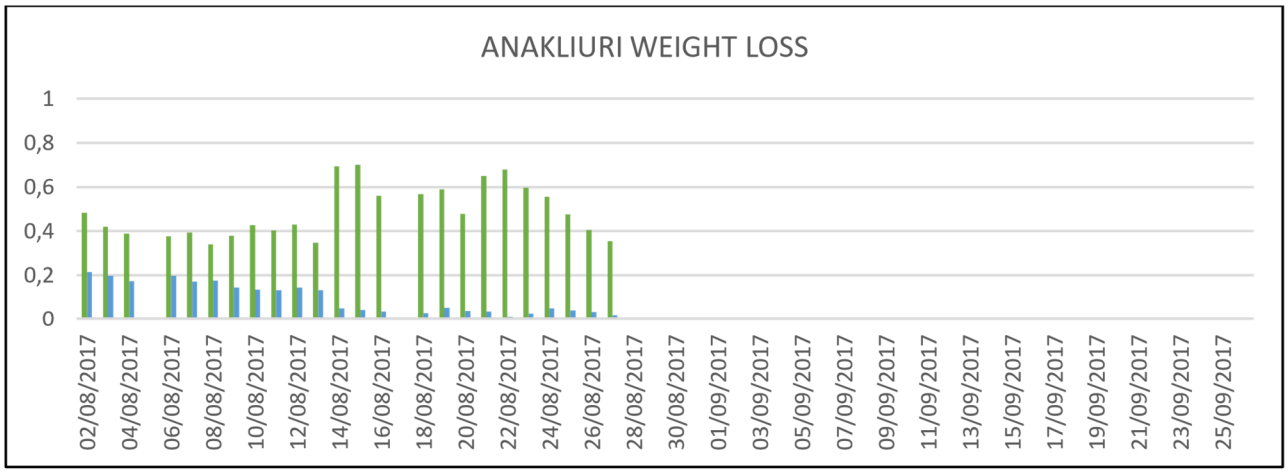
Per quanto riguarda il primo, l'obiettivo è quello di determinare una correlazione tra la modalità con la quale viene raccolto il prodotto (Manuale / Meccanica) e il rendimento del Batch all'interno dell'impianto nei processi di pulizia. Relativamente a questo sono stati considerati tutti i carichi creati in campo durante la raccolta separandoli tra

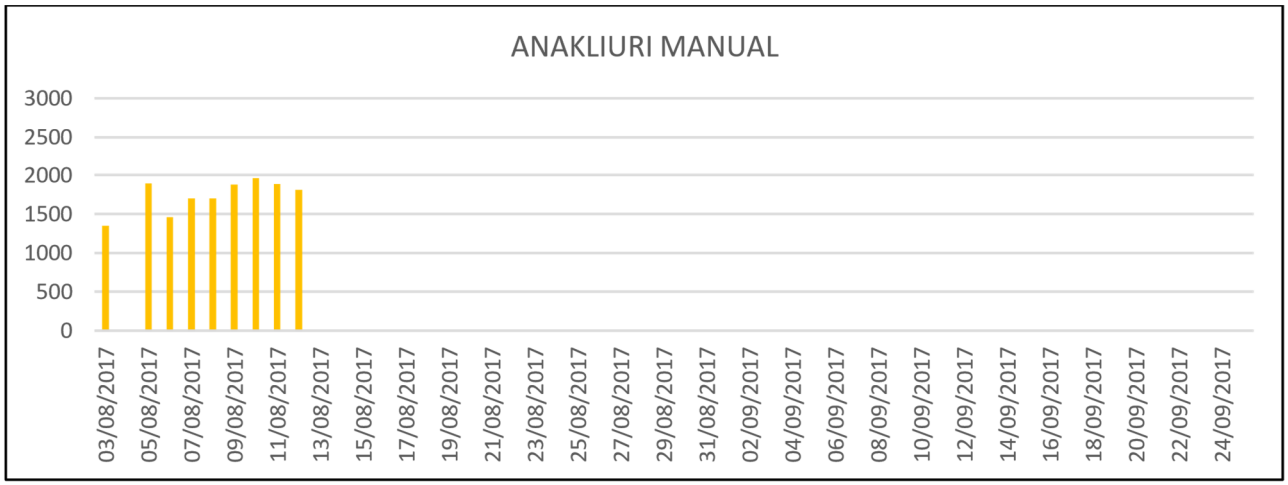
- Bags provenienti da raccolta manuale
- Kart provenienti da raccolta meccanica

È piuttosto comune che per una specifica varietà si raccolga inizialmente in maniera manuale e, una volta raggiunta la maturazione, si esegua la raccolta meccanica a terra. È improbabile quindi che coesistano le due modalità di raccolta nella stessa Unità Territoriale e nella stessa giornata.
Le due fasi di raccolta risultano quindi abbastanza distinte in termini temporali. L'obiettivo è quello di identificare l'inizio dell'una e la fine dell'altra considerando appunto la tipologia di carichi in arrivo in accettazione e verificando se esiste visivamente un andamento particolarmente
Per quanto riguarda il secondo il fattore determinante è l'umidità della nocciola e dipende esclusivamente dal momento della raccolta e dalla relativa maturazione, a sua volta connessa alla specifica varietà. Successivamente sono stati considerati i rendimenti medi giornalieri ottenuti in impianto per i Batch, sia per il primo che per il secondo indicatore, calcolati secondo le formule mostrate prima. I risultati sono visibili all'interno del secondo grafico mostrato nella successiva immagine.

L'analisi è stata svolta solamente per ognuna delle 3 varietà considerate ma vengono mostrati i risultati raggiunti per la varietà Anakliuri nei grafici sottostanti:







1) Nel grafico Anakliuri Mechanic sono stati conteggiati i Kart in arrivo in accettazione ogni giorno riempiti tramite raccolta meccanica.
2) Il grafico relativo al rendimento (Anakliuri Weight Loss) prende in considerazione la percentuale di peso perso in linea (in verde) e la percentuale di peso perso nell'essiccazione (in blu).
3) Nel grafico Anakliuri Manual sono state contate le Bags entranti in accettazione ogni giorno.

Come è possibile osservare, il primo indicatore, ovvero il rendimento della linea, è correlato alla modalità della raccolta. Nel momento in cui si intensifica la raccolta meccanica a discapito di quella manuale la percentuale di sporco estratto dalla linea cresce passando da valori che vanno dal 40% a valori che oltrepassano il 60%. Quest'effetto è tipico dell'Anakliuri in quanto nella raccolta con macchine raccoglitrici le nocciole viene raccolta con attaccato il mallo, che è la parte vegetale attaccata alla nocciola. Nel caso della varietà Giffoni, con l'avvento della raccolta meccanica, la percentuale di sporco non cresce notevolmente come in questo caso ma presenta comunque un incremento dovuto al cambio di modalità di raccolta.

Il secondo tasso di rendimento relativo invece al processo di essiccazione ha invece una forte correlazione con l'umidità della nocciola e la sua maturazione. L'andamento di queste due variabili è molto simile per il loro stretto legame.

4.4 DISTRIBUZIONE DEL RENDIMENTO

Individuati i fattori descritti in precedenza, risulta molto interessante ai fini della schedulazione della raccolta e della sua successiva simulazione la seguente analisi. In questo caso si prende in considerazione i rendimenti ottenuto sui Batch dividendoli in relazione alla loro tipologia di raccolta e alla loro azienda di provenienza.

Nella precedente analisi si è sempre ragionato su valori medi ma al fine di andare ad ottenere risultati più precisi per i rendimenti si è deciso di andare a creare:

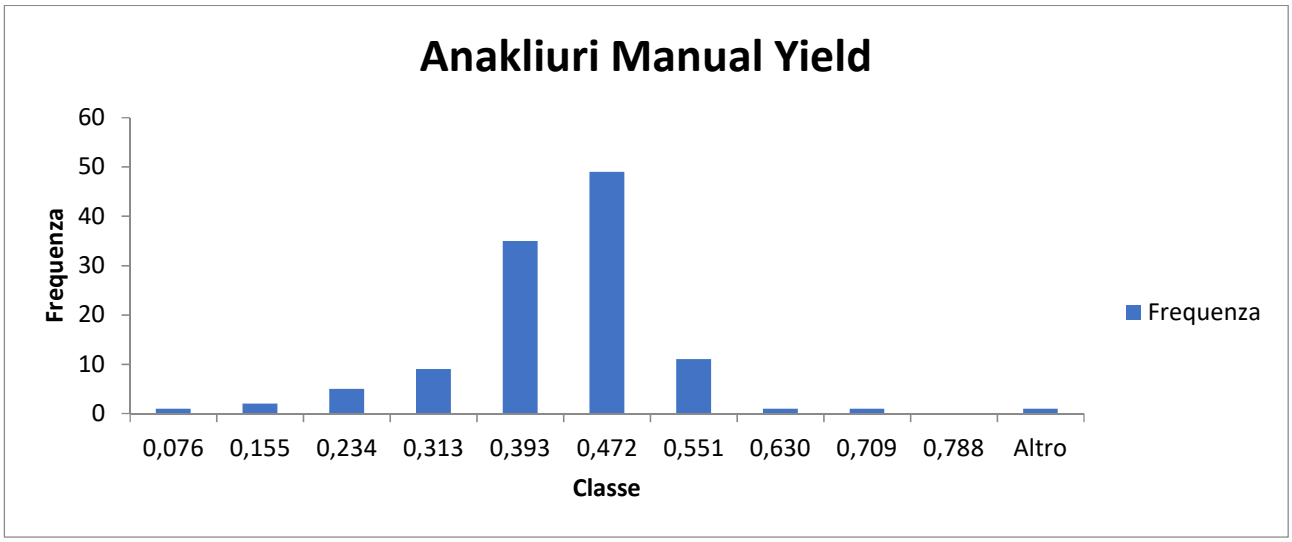
- istogrammi per i rendimenti ottenuti in linea Batch raggruppandoli per azienda, per varietà e per modalità di raccolta
- distribuzione al variare del tempo per i rendimenti ottenuti in fase di essiccazione raggruppando per azienda, varietà e giorno nel caso del rendimento di essiccazione.

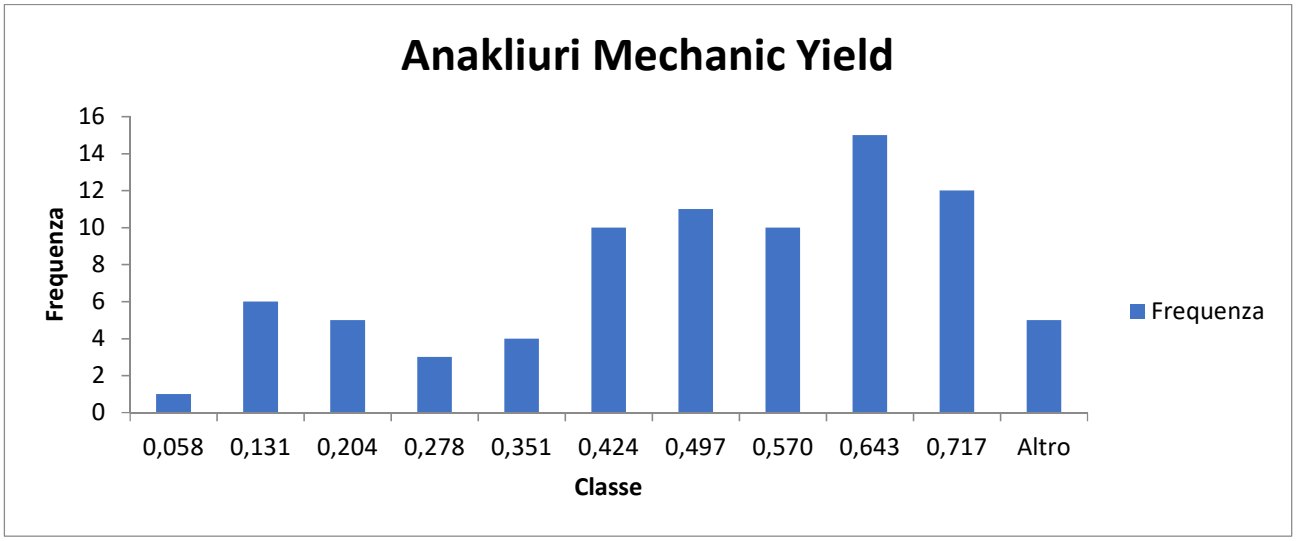
RENDIMENTO DI LINEA RL_{IK}

Un primo dato interessante da considerare è il fatto che la percentuale di sporco portata in impianto dalle due modalità dipende dalla varietà ma sicuramente la raccolta meccanica porta con sé una variabilità maggiore. È infatti evidente che la deviazione standard dei valori considerati per la raccolta meccanica sia superiore, praticamente il doppio per le varietà Anakliuri e Giffoni.

A prova di questo è possibile osservare anche la seguente tabella ed i seguenti istogrammi di frequenza, riferiti alla varietà Anakliuri.

	Rendimento Manuale Anakliuri	Rendimento Manuale Giffoni	Rendimento Manuale Tonda Romana	Rendimento Manuale AV
MEDIA	0,39	0,39	0,41	0,22
VARIANZA	0,01	0,01	0,03	0,03
DEV.STANDARD	0,10	0,09	0,17	0,16
	Rendimento Mechanic Anakliuri	**Rendimento Mechanic Giffoni**	**Rendimento Mechanic Tonda Romana**	**Rendimento Mechanic AV**
MEDIA	0,48	0,35	0,37	0,20
VARIANZA	0,04	0,03	0,01	0,04
DEV.STANDARD	0,19	0,18	0,08	0,21





La distribuzione dei rendimenti associati alla raccolta manuale all'interno dell'istogramma presenta una forma pressochè normale ed una ridotta variabilità. La distribuzione del rendimento associati alla raccolta meccanica presenta invece una forma più allungata ed una variabilità notevole.

Questo è importante da considerare nel caso si volesse preferire una modalità di raccolta all'altra: l'utilizzo del rendimento di linea nell'indicatore di schedulazione avrà un maggiore effetto maggiore tanto maggiore sarà la quantità di nocciole raccolte meccanicamente perché potrà agire su una maggiore variabilità che permetterà di cambiare maggiormente l'ordine delle unità territoriale nella schedula. Se le nocciole vengono principalmente raccolte manualmente, considerando che la variabilità di questo valore rimane bassa, ci si attende che l'effetto dell'algoritmo sarà parzialmente vanificato e i risultati saranno simili a quelli ottenibili prioritizzando solo in base alla produttività di raccolta.

RENDIMENTI DI ESSICCAZIONE RE_{TZI}

Per il processo di essiccazione non è stata eseguita la distinzione tra batch proveniente da raccolta manuale o raccolta meccanica poiché è evidente da un'analisi dei dati che la variabile che influenza questo indicatore non è tanto la tipologia di raccolta ma il momento della stagione in cui le nocciole vengono raccolte e la loro maturazione. Un altro criterio che è stato preso in considerazione è l'azienda di origine per aggiungere un elemento di diversificazione ulteriore.

Per ogni giorno, per tutti i Batch in ingresso in accettazione, separando per varietà, è stato calcolato il RE_j medio ponderato in base al loro peso. Il valore riscontrato ha un andamento nettamente decrescente al passare del tempo.

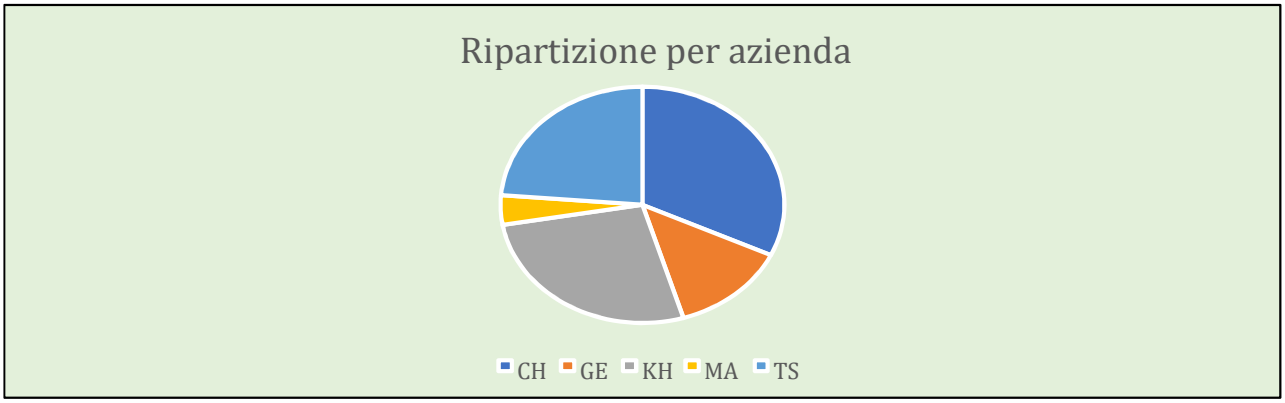
Il rendimento di essiccazione è strettamente legato alla maturazione della z-esima varietà, al tempo in cui vengono raccolte le nocciole ed all'origine delle nocciole. Se vengono raccolte troppo presto avrà valori elevati, se viene raccolto troppo tardi avrà valori molto bassi, il che è un bene per il processo a valle in impianto ma non è un fattore positivo per la qualità. Attraverso una regressione è stato possibile ottenere delle curve che stimano la perdità di peso dei Batch di nocciole nel tempo a seconda della varietà e dell'origine delle stesse.

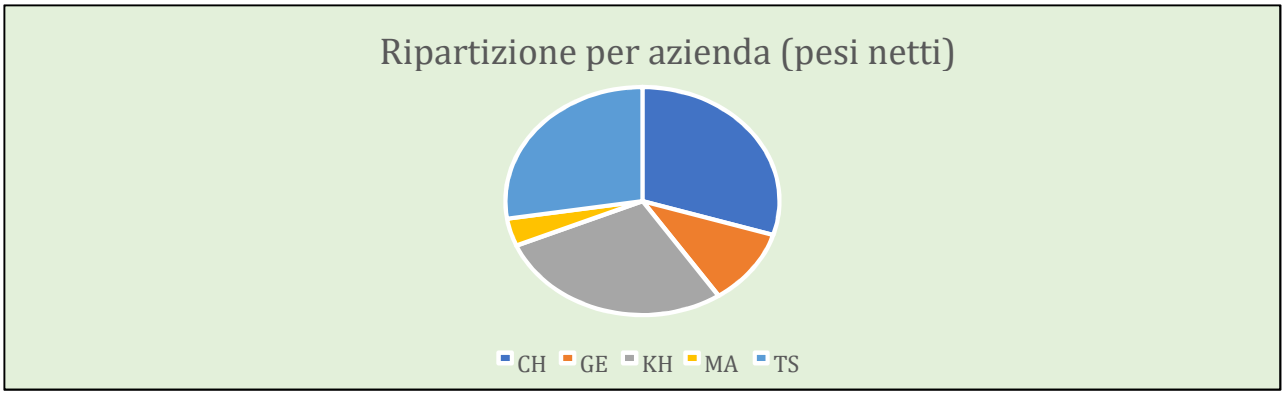
	Anakliuri	Giffoni	TondaRomana	Altre Varietà
CH	$y = 0{,}3157e^{-0{,}101x}$	$y = -0{,}0016x + 0{,}1377$	$y = -0{,}0011x + 0{,}1257$	$y = 0{,}0003x + 0{,}0525$
GE	$y = -0{,}013\ln(x) + 0{,}2083$	$y = -0{,}0023x + 0{,}1656$	$y = -0{,}0034x + 0{,}1923$	$y = 0{,}1803e^{-0{,}031x}$
MA	$y = 0{,}1591e^{-0{,}009x}$	$y = 0{,}1562e^{0{,}0017x}$	$y= 0{,}11$	$y = 0{,}722e^{-0{,}329x}$
KH	$y = -0{,}064\ln(x) + 0{,}275$	$y = -0{,}0033x + 0{,}2056$	$y = -0{,}001x + 0{,}0817$	$y = 0{,}0662e^{-0{,}006x}$
TS		$y = -0{,}0042x + 0{,}2582$	$y = -0{,}0065x + 0{,}3336$	$y = -0{,}0015x + 0{,}1088$

Le curve in questione sono logaritmiche, esponenziali o lineari. La scelta è stata fatta in relazione all'indicatore R^2 che permette di avere una misura della bontà di adattamento della retta di regressione.

4.5 ANALISI RIPARTIZIONE PER AZIENDA (CONFRONTO DIRTY / CLEAN WEIGHT)

L'analisi in questione aveva come obiettivo quello di andare ad individuare eventuali differenze significative nella distribuzione del peso pulito e secco delle nocciole provenienti dalle varie aziende produttrici. La ripartizione anche in questo caso è stata misurata utilizzando i dati ottenuti dall'analisi per il calcolo del rendimento dei Batch.





Il valore netto di nocciole raccolto per ogni Batch sarà ottenibile come:

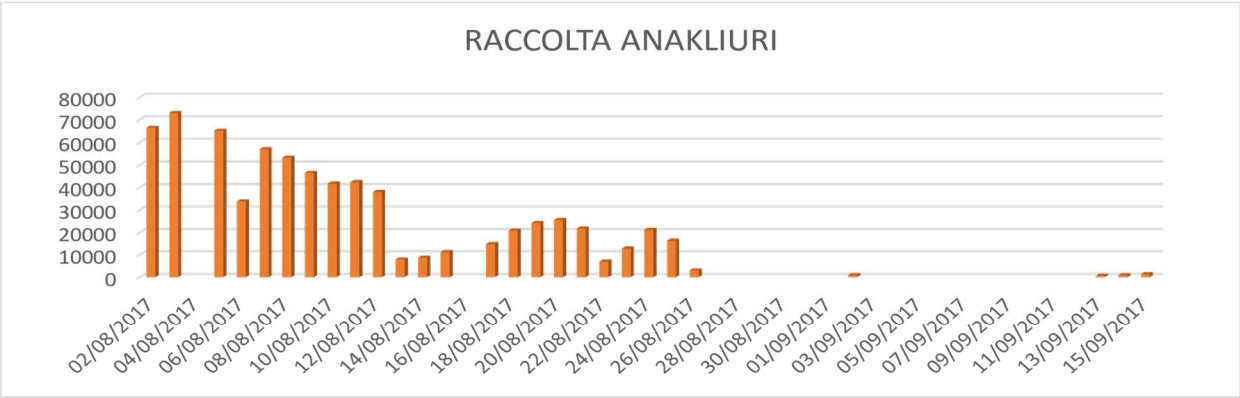
$$PNN_j = PNA_j * (1 - RL_j - RE_j)$$

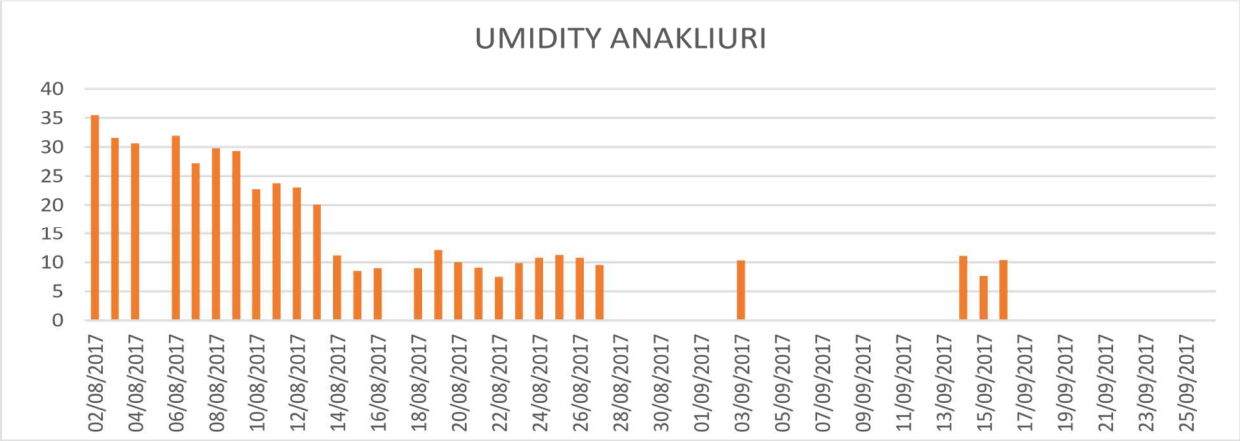
La ripartizione dei pesi è simile anche perchè il metodo per il calcolo del rendimento del Batch prevedeva una ripartizione del Drying Batch in relazione al peso di accettazione del Batch stesso. È possibile apprezzare come ci siano però delle piccole variazioni e come queste siano coerenti con il rendimento delle varie aziende.

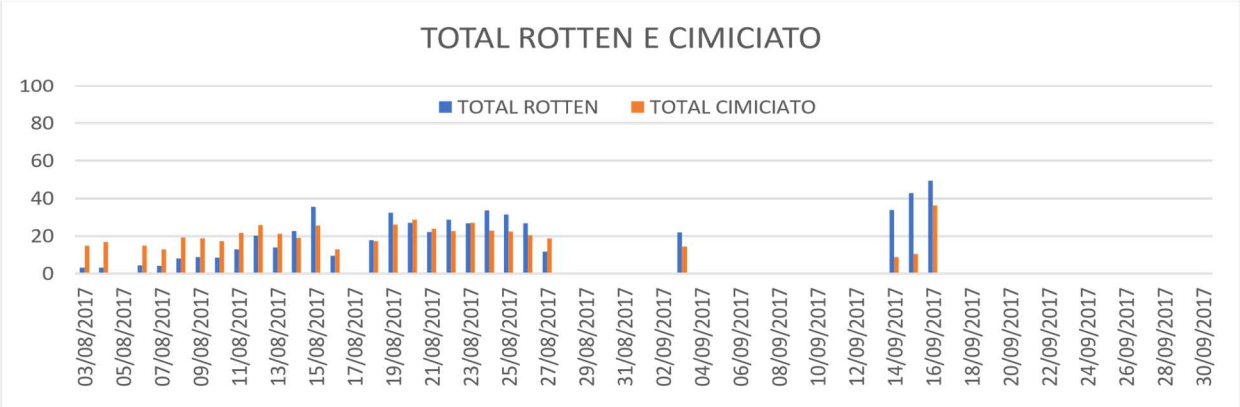
Tsalenjika infatti, come già visto in precedenza, è l'azienda con il rendimento migliore e vede crescere la propria fetta di grafico di 3 punti percentuali a scapito di Martsvili e Gejevi che presentano rendimenti complessivi più bassi.

4.6 PERIODO OTTIMALE DI RACCOLTA

Le analisi delle scelte operate nella stagione 2017 dagli Agronomi di Agrigeorgia nella raccolta sono indicative di quanto i fattori ambientali e climatici possano avere un effetto distorsivo sull'ottimizzazione della programmazione.







La raccolta è stata anticipata per due motivi:

1) La stagione di raccolta era infatti minacciata dall'arrivo di una cimice che avrebbe potuto rovinare il raccolto. I risultati dell'analisi vengono mostrati in allegato ma è possibile riscontrare un'anticipazione della raccolta rispetto al periodo ottimale di maturazione. Questo era necessario per evitare l'arrivo della cimice e ha portato ad avere nocciole particolarmente umide ma di alta qualità. Osserviamo ad esempio i risultati per la varietà Anakliuri.
2) Il mese di Settembre è noto per essere particolarmente piovoso in Georgia e questo, come anticipato prima, rappresenta un vincolo notevole per le attività di raccolta.

Come è possibile osservare la maggior parte dei Batch sono arrivati in accettazione nel periodo dal 2 Agosto al 12 Agosto. Da quel momento in poi la raccolta di questa varietà si è pian piano ridotta per lasciar spazio e risorse alle altre. Nel periodo considerato l'umidità delle nocciole era particolarmente alta (tra il 25 e il 35%) ma la qualità delle stesse ha un valore sicuramente positivo (gli indicatori Total Rotten e Total Cimiciato hanno valori bassi). Le nocciole in questo caso sono state principalmente raccolte manualmente direttamente dall'albero senza aspettare la loro maturazione e caduta. Il processo di essiccazione a valle risulterà pertanto molto lungo ma il risultato finale sarà, in termini di qualità, un eccellente lotto di essiccazione.

Nel periodo successivo, quindi relativamente alle nocciole raccolte in Settembre, la qualità delle stesse scende notevolmente. Gli indicatori Total Rotten e Total Cimiciato hanno valori alti mentre l'umidità scende notevolmente (attorno al 10%). Le nocciole hanno pertanto raggiunto la maturazione e sono cadute per terra. La velocità con la quale vengono raccolte è pertanto determinante per la qualità. L'individuazione del periodo ottimale di raccolta verrà però assunto esclusivamente in base alle indicazioni fornite dall'umidità della nocciola.

È possibile quindi affermare che la decisione di anticipare l'inizio delle attività sia stata ottima per la varietà Anakliuri ed abbia portato a livelli qualitativi migliori.

4.7 PRODUTTIVITÀ DI RACCOLTA DELLE RISORSE

Per l'analisi del rendimento delle risorse è stata eseguita un'estrazione dei dati da Database.

La produttività di raccolta è definita come:

PR_{ki}= Produttività di raccolta sulla i-esima parcella. È stata calcolata una produttività per ognuna delle due tipologie di raccolta, manuale o meccanica (l'indice k fa riferimento a questo).

ΣNH_{ki} = Sommatoria del numero delle ore lavorate in operazioni di raccolta sulla i-esima parcella (anche in questo caso l'indice k identifica la tipologia di raccolta, manuale o meccanica). Le operazioni di

raccolta sono in realtà a loro volta suddivise in 3 tipologie (1st passage, 2nd passage, Last passage) ma in questo caso non è stata presa in considerazione questa differenziazione.

ΣLO_{kj}= Sommatoria dei kg contenuti nei carichi provenienti da una determinata parcella separati per la tipologia di raccolta

$PR_{ki} = \Sigma LO_{kj} / \Sigma NH_{kj}$

PR_{ki} restituisce di conseguenza una produttività oraria di una singola risorsa (manuale o meccanica) all'interno della i-esima parcella. La risorsa considerata, in questo caso, sarà, a seconda della tipologia di raccolta:

- 1 operatore di campo
- 1 macchine raccoglitrici

La produttività di raccolta è la variabile principale del modello e secondo quanto descritto dipende dalla parcella e dalla tipologia di raccolta. In realtà, andando più a fondo nell'analisi, è possibile comprendere come sia molto più complessa di come è stata descritta per i numerosi scenari in cui può ricadere un'operazione di raccolta. Può dipendere anche da:

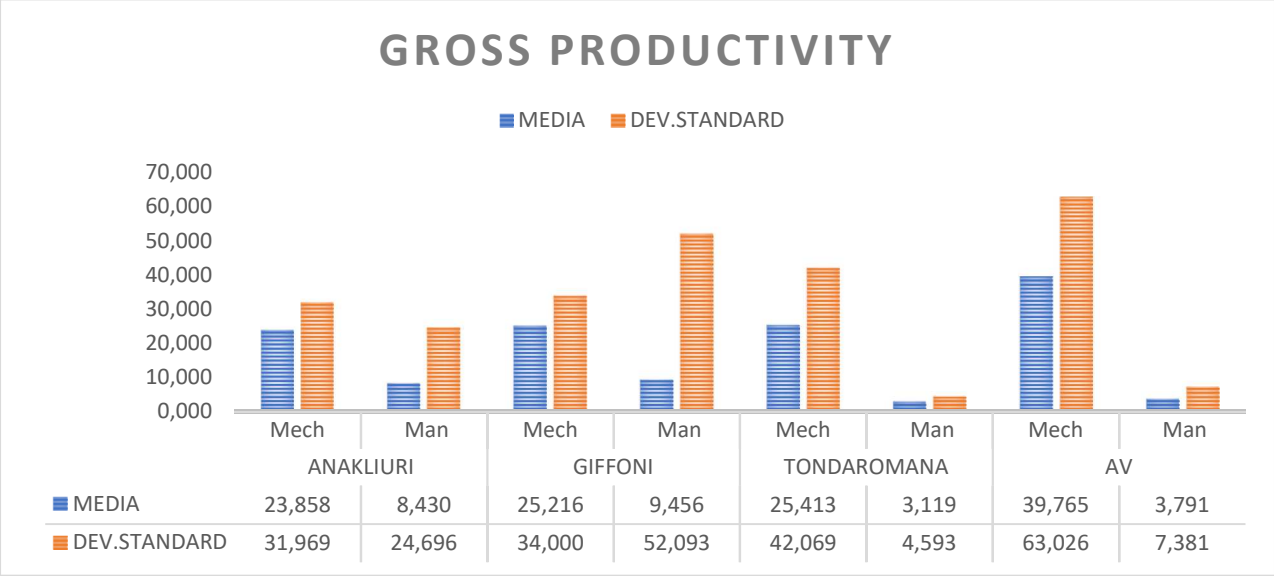
- Macchina utilizzata per l'operazione di raccolta in associazione con il campo di raccolta. Esistono diverse tipologie di macchine raccoglitrici. Possono essere maggiormente adatte alle condizioni ambientali (presenza di sassi, pendenza, dimensione in termini di piante, dimensioni in termini di ettari..) possedute da un campo piuttosto che un altro a seconda del modello.
- L'operatore utilizzato per la raccolta, soprattutto in caso di raccolta manuale, può fare la differenza.
- Condizioni meteo legate alla raccolta. In condizioni meteo avverse (pioggia, forte vento..) potrebbe essere preferibile le produttività di raccolta manuale rispetto a quella meccanica. In caso di raccolta meccanica inoltre potrebbe nuovamente essere più adatto un determinato modello di macchine raccoglitrice piuttosto che un altro per raccogliere in condizioni di bagnato.
- Condizioni del campo e le sue dimensioni. Campi di grande dimensione sono maggiormente adatti alla raccolta meccanica piuttosto che alla manuale. Campi invece che presentano una notevole inclinazione o molto sassosi risultano maggiormente adatti alla raccolta manuale.

Parcella	Operazione di raccolta								Livello di dettaglio 1
	Manuale				Meccanica				Livello di dettaglio 2
	Operatore Permanente		Operatore Temporaneo		Modello Raccoglitrice 1		Modello Raccoglitrice 2		Livello di dettaglio 3
	Condizioni Meteo favorevoli	Condizioni Meteo sfavorevoli	Condizioni Meteo favorevoli	Condizioni Meteo sfavorevoli	Condizioni meteo favorevoli	Condizioni meteo avverse	Condizioni meteo favorevoli	Condizioni meteo avverse	Livello di dettaglio 4
Parcella 1									
Parcella 2									
Parcella 3									
...									

Riassumendo nel modello verranno considerate solamente due produttività di raccolta per ogni parcella (Livello di dettaglio 2) ma in realtà, per un'analisi più approfondita, queste dovrebbero essere di più.

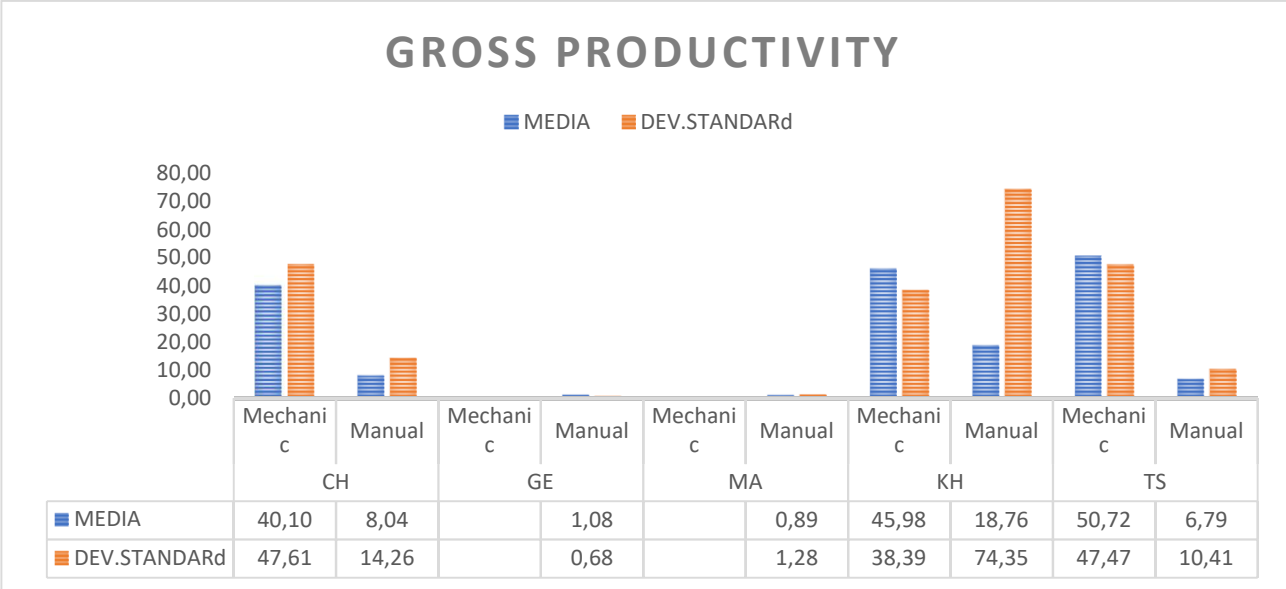
Considerando 2 tipologie di meteo e, un ulteriore separazione in due rami in base all'abilità della risorsa, le produttività per parcella da considerare sarebbero come minimo 8.

Analizzando meglio i valori raccolti è possibile comprendere la grande variabilità che è associata alle operazioni di raccolta. Il seguente grafico raccoglie le produttività di raccolta in base alla varietà calcolandone Media e Dev. Standard.



	Mech	Man	Mech	Man	Mech	Man	Mech	Man
	ANAKLIURI		GIFFONI		TONDAROMANA		AV	
MEDIA	23,858	8,430	25,216	9,456	25,413	3,119	39,765	3,791
DEV.STANDARD	31,969	24,696	34,000	52,093	42,069	4,593	63,026	7,381

È possibile osservare come la produttività legata alla raccolta meccanica abbia mediamente valori più alti di quella manuale e porti con sè inoltre, ad eccezione della varietà Giffoni, più variabilità.



	Mechanic	Manual	Mechanic	Manual	Mechanic	Manual	Mechanic	Manual	Mechanic	Manual
	CH		GE		MA		KH		TS	
MEDIA	40,10	8,04		1,08		0,89	45,98	18,76	50,72	6,79
DEV.STANDARd	47,61	14,26		0,68		1,28	38,39	74,35	47,47	10,41

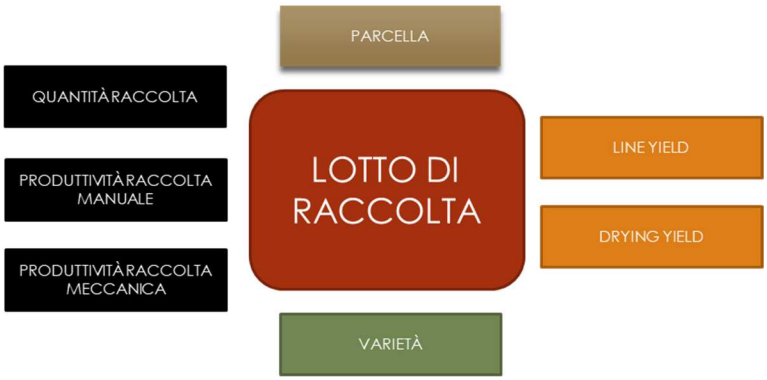
Le stesse considerazioni valgono raggruppando le produttività per azienda. La modalità meccanica si conferma molto più variabile di quella manuale. In particolare Khibula mostra la variabilità complessiva maggiore tra le aziende considerate.

5. MODELLAZIONE

5.1 ALGORITMO DI OTTIMIZZAZIONE

5.1.1 DEFINIZIONE DEL LOTTO DI RACCOLTA

La schedulazione della sequenza con la quale andare a raccogliere è finalizzata alla riduzione dei tempi di raccolta ed a portare efficienza in impianto portando la minor quantità di scarti possibile sulle linee e sui Dryer.



La raccolta viene effettuata con 2 modalità: raccolta manuale e raccolta meccanica. La raccolta meccanica presenta sicuramente dei vantaggi per quanto riguarda la produttività (kg nocciole raccolti / Δtempo) e i costi. Le macchine raccoglitrici sono però ovviamente limitate e considerate in numero fisso a differenza del personale addetto alla raccolta, che rappresenta una leva variabile che i gestori di Agrigeorgia possono usare in caso di necessità. Inoltre la raccolta meccanica è vincolata alla maturazione di ciascuna varietà e questo potrebbe risultare un limite se le condizioni climatiche fossero avverse.

L'entità Lotto di Raccolta rappresenta una determinata quantità di nocciole di una certa varietà, raccolte in una determinata parcella attraverso una tipologia di operazione di raccolta.

La quantità di raccolta nella parcella associata ad un Lotto di raccolta è anch'essa stimabile attraverso i rilievi fenologici moltiplicando il numero di frutti per pianta per il numero delle piante. Il valore ottenuto va nuovamente moltiplicato per la percentuale di frutti a terra se la raccolta è di tipo meccanico. La formula è la seguente:

- Quantità raccoglibile meccanicamente = (Num.Piante) *(#FR) * (%FT)
- Quantità raccoglibile manualmente = (Num.Piante) *(#FR)

Ad esso saranno inoltre associati una produttività della Raccolta Meccanica e una produttività della raccolta manuale e di conseguenza due tempi di processo calcolabili come:

$t_{1i}=Q_{1i} / PR_{1i}$ $t_{2i}=Q_{1i} / PR_{2i}$

dove:

- Q_{1j} = Quantità stimata di raccolta all'interno della j-esima parcella
- P_{1j} = Produttività stimata per la raccolta manuale all'interno della j-esima parcella
- P_{2j}= Produttività stimata per la raccolta meccanica all'interno della j-esima parcella

I tempi di processamento del lotto di raccolta saranno di conseguenza diversi in relazione alla tipologia di raccolta scelta per quella unità territoriale e saranno tanto più lunghi maggiore è la quantità di nocciole e scarti presente all'interno della stessa.

L'Umidità del Lotto di raccolta sarà deducibile dai rilievi fenologici (%HM) e sarà la base per una stima del RE_{ij} ottenibile in impianto. Ad ognuno di questi Batch sarà invece attribuibile un Rendimento di Linea differenziato per raccolta manuale o meccanica calcolato sulla base di dati storici.

5.1.2 MODELLAZIONE DELLA MATURAZIONE DELLE NOCCIOLE (MODELLO DI SIMULAZIONE)

All'interno del modello di simulazione, non possedendo i dati sui rilievi fenologici, verranno utilizzate le equazioni rappresentate in figura per modellizzare la maturazione delle nocciole. Sono frutto di uno studio agronomico e forniscono un modello di maturazione per varietà all'interno del quale ogni giorno viene stimata la percentuale di nocciole cadute e di conseguenza maturate sul totale.

Tabella 1.1 Equazioni delle curve delle percentuali di frutta caduta nel tempo, per varietà

Varietà	Equazione che descrive la percentuale di frutta caduta nel tempo
Anakliuri	%-frutta-caduta = - 0,07t² + 5,33 t - 3,29
Camponica	%-frutta-caduta = 2,32t - 0,19
Giffoni	%-frutta-caduta = - 0,02t² + 2,99t + 1,09
Mortarella	%-frutta-caduta = - 0,04t² + 4,4t - 9,62
TGL	%-frutta-caduta = - 0,05t² + 4,47t - 5,41
Romana	%-frutta-caduta = - 0,003t³ + 0,19t² - 0,32t - 0,85
SanGiovanni	%-frutta-caduta = - 0,03t² + 3,57t - 3,17
Nocchione	%-frutta-caduta = - 0,003t³ + 0,21t² - 1,07t + 0,61

Il grafico nella figura 1.4 mostra le curve ottenute con l'interpolazione.

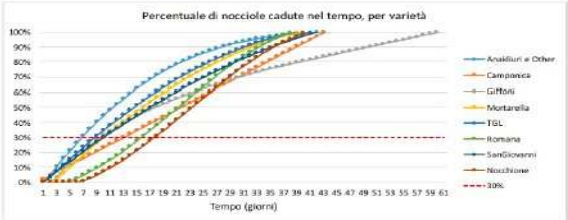


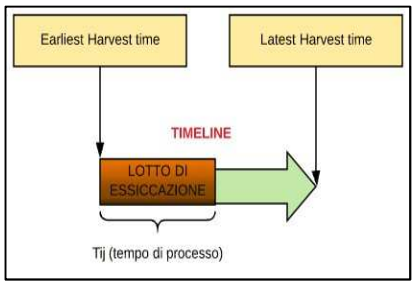
Figura 1.4 Curve delle percentuali di frutta caduta nel tempo, per varietà

$MQ_{tiz} = \%_{tz} * EQ_i$ dove

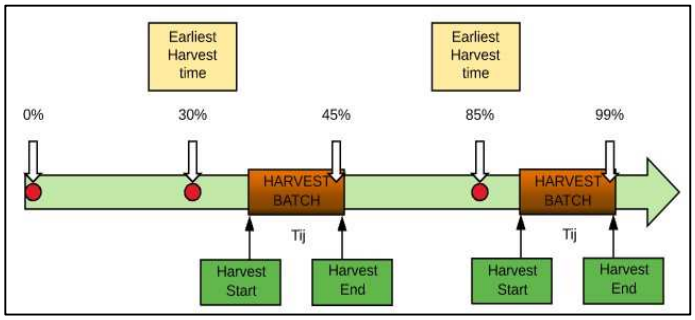
- MQ_{zti} è la quantità maturata (Mature Quantity) nel giorno t-esimo nella i-esima parcella
- $\%_z$ è la percentuale di nocciole maturate sul totale in un determinato giorno per la z-esima varietà
- EQ_i è la quantità stimata (Estimated Quantity) di raccolta totale nella parcella i-esima

Le informazioni relative alla maturazione sono separate per varietà (ad ogni varietà è di conseguenza associata una curva). Essendo la parcella e quindi il lotto di raccolta monovarietale è possibile di conseguenza associare ad ognuno di questi elementi una curva di maturazione.

5.1.3 HARVEST EARLIEST TIME & HARVEST LATEST TIME



Come evidenziato in precedenza la raccolta meccanica ha vincoli legati alla maturazione della nocciola. Pertanto è necessario stabilire un limite per determinare l'inizio di questa tipologia di raccolta. Il giorno decisivo, definito come ***HarvestEarliestTime***, è il giorno in cui all'interno del modello si raggiunge la soglia del 30% di nocciole cadute. L'*HarvestEarliestTime* (HET) sarà diverso a seconda della varietà del lotto di raccolta. Le informazioni relative alla varietà sono sempre estraibili attraverso i rilievi fenollogici. Raggiunto questo livello di maturazione le risorse disponibili si attivano per la raccolta in relazione alla schedulazione creata. Su ogni parcella di conseguenza verranno effettuati due passaggi: il primo avrà come *HarvestEarliestTime* il giorno che corrisponde ad una maturazione del 30% delle nocciole. Ovviamente in relazione alla disponibilità delle risorse il primo lotto potrebbe essere raccolto nel momento in cui la percentuale di nocciole mature in campo è superiore al 30%. Per stabilire un limite a questo slittamento, nell'ottica di minimizzare la permanenza delle nocciole in campo, verrà fissato di conseguenza un ***HarvestLatestTime*** (HLT) entro il quale le nocciole dovranno essere raccolte. Successivamente al raggiungimento della seconda soglia di maturazione (85%) verrà effettuato un secondo passaggio**.** La quantità di questo secondo lotto sarà dipendente dal primo passaggio: a seconda che questo sia stato eseguito nell'*HarvestEarliestTime* o successivamente la quantità rimanente potrebbe essere superiore o inferiore.



Nel caso mostrato infatti, essendo il primo lotto di raccolta in ritardo rispetto all'*HarvestEarliestTime*, le nocciole raccolte al suo interno rappresentano il 45% del totale. Nel secondo lotto, anch'esso in ritardo rispetto al suo *HarvestEarliestTime*, la quantità raccolta sarà quella rimanente dopo la raccolta del primo lotto a cui andrà sottratta la quantità non ancora maturata.

Di conseguenza considereremo la seguente situazione:

$HQ1_i = MQ_{zi}$ nel giorno in cui viene raccolto

$HQ2_i = MQ_{zi}$ nel giorno di raccolta (nel modello di simulazione verrà definita come $HQ_{2j} = HQ_{tot} - MQ_{zi}$ per il secondo giorno di raccolta) dove

- $HQ1_i$ = quantità raccolta (Harvested quantity) nel primo lotto di raccolta
- $HQ2_i$ = quantità raccolta (Harvested Quantity) nel secondo lotto di raccolta
- MQ_{tz} = Quantità maturata nell't-esimo giorno per la z-esima varietà

5.1.4 PARAMETRI ALGORITMO DI SCHEDULAZIONE

Variabili di processo

La schedulazione ha come scopo principale l'allocazione ottimale di un certo numero di task da eseguire ad uno specifico numero di risorse disponibili al fine di minimizzare/massimizzare una funzione obiettivo. Nel caso della raccolta le task da eseguire saranno rappresentate dai lotti di raccolta.

L'algoritmo di schedulazione che verrà scelto si basa sulle seguenti considerazioni.

La quantità di nocciole raccolta per il j-esimo Batch viene definita come

*PNAji = Produttività di raccolta * Processing Time =* $Pr_{ik} * t_{ik}$

La quantità di nocciole in arrivo in accettazione del j-esimo batch della i-esima parcella dipende dalla produttività di raccolta e dal tempo di processo.

La quantità di nocciole pulite alla fine del processo per il j-esimo Batch viene definita come

PNN_j *= Quantità di nocciole raccolta * Rendimento di processo =* $PNA_j * (1-RE_j - RL_j) = PR_{ik} * t_i * (1- RE_j - RL_j)$

Dove

REj = Rendimento di essiccazione per il j-esimo Batch

RLj = Rendimento della linea per il j-esimo Batch

La quantità di nocciole invece pulite ed utili per la successiva fase del processo (sgusciatura) è invece calcolata come:

$$PNG_j = PNN_j * (1-RQ_j) = PNN_j * (1-RQ_j\,(PR_{ik})-RE_j)$$

Dove

PNG_j = Quantità di nocciole pulite e di buona qualità nel j-esimo batch

RQ_j: il rendimento di qualità delle nocciole (ovvero il rapporto tra nocciole di buona qualità sul totale del j-esimo batch). Viene assunta la dipendenza di questo indicatore dalla produttività di raccolta ovvero dalla modalità e dal tempo con il quale si vanno a raccogliere le nocciole.

RE_j: il rendimento di essiccazione del j-esimo batch

RL_j: Il rendimento di pulizia in linea del j-esimo batch

Avremo quindi che:

$$PNG_j / t_{ik} = PR_{ik} * (1 - RE_j(t) - RL_i - RQ_j(PR_{ik}))$$

Il modello tiene conto di alcune semplificazioni per ognuna delle variabili scelte. Sono stati presi sempre i fattori principali ma talvolta per mancanza di dettaglio nei dati non è stato possibile considerarne altri.

PRODUTTIVITA DI RACCOLTA PR_{ik}

La produttività di raccolta dipenda dalla Unità territoriale e dalla modalità di raccolta

RENDIMENTO DELLA LINEA RL_{ik}

Il rendimento della linea è strettamente legato al tipo di operazione di raccolta e alla parcella di origine.

RENDIMENTO DI ESSICCAZIONE RL_{izt}

Il rendimento della linea è strettamente legato alla varietà, all'azienda di origine e al giorno della raccolta.

RENDIMENTO DI QUALITA $RQ_j(Pr_{ik})$

Il rendimento di qualità delle nocciole è legato alla velocità con la quale vengono raccolte una volta mature e di conseguenza alla produttività di raccolta. In un certo senso è di conseguenza legato a tutti e 3 i fattori.

VARIABILE DI SCHEDULAZIONE

L'algoritmo si basa sulla prioritizzazione delle parcelle. In particolare ogni modalità di raccolta avrà la propria prioritizzazione delle parcelle in maniera tale che ognuna delle due modalità possa andare a raccogliere in maniera indipendente dall'altra ed ottimale. Per ottenere il maggior numero di nocciole pulite e di buona qualità rispetto all'intervallo di tempo verrà decisa un indicatore legato ad ogni Unità territoriale per dare la priorità ad una parcella piuttosto che ad un'altra e che si presume abbia i migliori effetti sul processo. L'indicatore sarà in funzione delle variabili di processo descritte in precedenza:

$$VAR_{sched} = f(PR_{ik}, RL_{ik}, RE_{zit})$$

Verranno provati diversi indicatori di prioritizzazione in funzione dei tre parametri considerati per vedere che effetti possano avere sul processo. Gli indicatori saranno:

- La produttività di raccolta: PR_{ik}
- La produttività di raccolta al netto della percentuale di scarto totale: PR_{ik} (1- $RL_{ik} - RE_{zit}$)
- Il rendimento della linea RL_{ik}

L'indicatore PR_{ik} dell'operazione di raccolta porta ad una maggiore velocità delle operazioni di raccolta ma potrebbe non essere considerato un indice affidabile perché potrebbe influenzato da un'alta percentuale di sporco. L'indicatore $PR_{i2} * (1 - RL_{i2} - RE_{zit})$ invece, a patto di accettare una durata complessiva maggiore del processo, fornisce per ciascuna parcella e per ciascuna modalità di raccolta una quantità di nocciole pulite e secche (Clean weight) raccoglibile nell'unità di tempo, stimando quante di queste usciranno poi dall'impianto. Per comprendere realmente la resa di una parcella infatti, questa deve essere considerata al netto degli scarti che vengono generati. Per esempio un'operazione potrebbe possedere un alto indice di produttività ma questo potrebbe essere dovuto al fatto che sono stati raccolti molti scarti, o al fatto che le nocciole raccolte portino con sé una quantità importante di umidità. La questione verrà analizzata meglio in seguito alla simulazione. L'ultimo indicatore permette invece di ottimizzare lo scarto portato in linea ma andranno valutati gli effetti sulla velocità del processo.

L'indicatore che guida la schedulazione dovrebbe tenere quindi conto di tre fattori:

- <u>Qualità</u>: più alta sarà la PR_{ik} minore sarà il tempo di permanenza delle nocciole in campo perché maggiore sarà la velocità di raccolta e questo ha un influsso positivo sulla qualità delle nocciole
- <u>Efficienza</u>: più alto sarà il contributo di RL_j minore sarà la quantità di sporco che porterò in impianto e minore lo sforzo delle linee.
- <u>Tempo e maturazione</u>: l'umidità della nocciola è un fattore esogeno e legato alla maturazione del frutto. Il contributo di RE_j non deve essere elevato ma neanche troppo ridotto perché influenzerebbe negativamente la qualità della nocciola. L'indicatore in questione serve pertanto a far sì che le nocciole non vengano raccolte né troppo presto, né troppo tardi.

Ci sono altri parametri da definire per ogni lotto di raccolta che sono:

- ***Processing time*** t_j che dipende dalla tipologia di risorse utilizzata per la raccolta e dalla quantità del lotto come visto in precedenza.

Le risorse per eseguire la raccolta sono di due diverse tipologie: se la raccolta viene effettuata manualmente o meccanicamente il processing time del lotto di raccolta varia a seconda della produttività di raccolta.

È possibile includere dei vincoli nella procedura di schedulazione meccanica imponendo due parametri:

- ***Tempo di rilascio (release time)***: indica l'istante di tempo prima del quale non è possibile eseguire la task j-esima. Nel caso della raccolta è rappresentato dall'*HarvestEarliestTime* visto in precedenza.
- ***Tempo di consegna (due date)***: indica l'istante di tempo entro il quale la task j-esima deve essere necessariamente ultimata. Nel caso della raccolta è rappresentato appunto dall'*HarvestLatest Time.*

Il primo vincolo vale esclusivamente per la raccolta meccanica, il secondo vale anche per la raccolta manuale. La schedulazione può avere obiettivi differenti. Nel caso della raccolta gli obiettivi principali sono due:

- ***Minimizzazione del Makespan MS_j***: minimizzazione del tempo di completamento dell'ultima task in lavorazione. Minimizzare questo valore permette di avere un alto livello di utilizzo delle risorse.
- ***Minimizzazione del numero di job in ritardo (number of late task) NLT_j***: minimizzazione del numero di task che non riescono a rispettare il vincolo rappresentato dall'*HarvestLatestTime.* La qualità delle nocciole dipende dai giorni di permanenza in campo delle stesse per l'esposizione al rischio che vengano deteriorate da agenti esogeni. Non rispettare il vincolo rappresenta un fattore negativo per la qualità che va ridotto al minimo.
- ***Minimizzazione della quantità di sporco che viene portata all'interno della linea:*** questo porta sicuramente dei vantaggi al lavoro in impianto. Raccogliere con la giusta modalità all'interno delle parcelle in modo da minimizzare lo sporco rende più fluido il processo in impianto.

5.1.5 ALGORITMO DI SCHEDULAZIONE

Presi in considerazione questi fattori l'algoritmo per la schedulazione della raccolta meccanica è cosi definito secondo questi step:

1) L'algoritmo di schedulazione parte nel momento in cui si raggiunge l'*HarvestEarliestTime* per almeno una varietà. In quel momento, per ognuna delle parcelle, per la raccolta meccanica è possibile calcolare:

$$VAR_{sched} = f(PR_{i2},\ RL_{i2}, RE_{zit}) - f(PR_{i1},\ RL_{i1}, RE_{zit})$$

dove

$$PR_{i1} = produttività\ raccolta\ manuale\ sulle\ i - esima\ parcella$$

$$PR_{i2} = produttività\ raccolta\ meccanica\ sulla\ i - esima\ parcella$$

In fase di simulazione verranno provati differenti indicatori VAR_{sched} per valutare i pregi e i difetti di ognuno ma la logica dell'algoritmo è la medesima.

In questo modo per ognuna delle parcelle viene quantificata la differenza di produttività tra la raccolta manuale e la raccolta meccanica e viceversa. Andranno assegnate alle risorse le parcelle all'interno delle quali si riscontra la maggiore differenza tra le due modalità di raccolta.

Al tempo t_1 una macchina si libera e bisogna associarle una nuova task. Si stabiliscono due criteri per l'ordinamento. All'inizio si prediligono le parcelle per le quali

$$t_1+t_{ij} > HarvestLatestTime_{ij}.$$

Di conseguenza avranno una maggiore priorità tutti quei lotti che si trovano già in una situazione di ritardo rispetto al *DueDate* specifico. Il secondo criterio per l'ordinamento sarà

$$VAR_{sched} = f(PR_{i2},\ RL_{i2}, RE_{zit}) - f(PR_{i1},\ RL_{i1}, RE_{zit})$$

Verranno scelte quelle task che possiedono il maggior valore possibile una volta determinate quelle che sono in ritardo. Se non sono presenti lotti in ritardo, come criterio per l'assegnazione si valuta esclusivamente l'indicatore relativo alla produttività prendendo il lotto che presenta il valore *massimo*. Una volta determinata la task si procede all'assegnazione. Ogni volta che si libera una macchina nei successivi istanti t_2, t_3 ecc si procede con l'assegnazione seguendo questa logica.

2) Nel momento in cui sono stati processati tutti i lotti relativi al primo passaggio, si passa ai lotti del secondo passaggio. Nel momento in cui si raggiunge il nuovo *HarvestEarliestTime* vengono associate alle macchine libere i lotti che possiedono i maggiori VAR_{sched}.
3) Nel momento in cui dovrà essere raccolto il secondo lotto di raccolta il QM_{ij} a questo punto verrà calcolato per ognuno dei lotti come:

$$t_{1sp}: Q_{2j} / P_{2j}$$

dove

$$Q_{2j} = Qm_{ij} - Q_{1j}$$

L'algoritmo per la schedulazione della raccolta manuale invece è definito secondo questi step:

4) L'algoritmo di schedulazione parte nel momento in cui si raggiunge l'*HarvestEarliestTime* per almeno una varietà. In quel momento, per ognuna delle parcelle, per la raccolta manuale è possibile calcolare:

$$VAR_{sched} = f(PR_{i1},\ RL_{i1}, RE_{zit}) - f(PR_{i2},\ RL_{i2}, RE_{zit})$$

dove

$$PR_{i1} = produttività\ raccolta\ manuale\ sulle\ i - esima\ parcella$$

$$PR_{i2} = produttività\ raccolta\ meccanica\ sulla\ i - esima\ parcella$$

In questo modo per ognuna delle parcelle viene quantificata la differenza di produttività tra la raccolta manuale e la raccolta meccanica e viceversa. Andranno assegnate alle risorse le parcelle all'interno delle quali si riscontra la maggiore differenza tra le due modalità di raccolta.

Al tempo t_1 un Team di raccolta si libera e bisogna associarle una nuova task. Si stabiliscono due criteri per l'ordinamento. All'inizio si prediligono le parcelle per le quali

$$t_1+t_{ij} > HarvestLatestTime_{ij}.$$

Di conseguenza avranno una maggiore priorità tutti quei lotti che si trovano già in una situazione di ritardo rispetto al *DueDate* specifico. Il secondo criterio per l'ordinamento sarà

$$VAR_{sched} = f(PR_{i1},\ RL_{i1}, RE_{zit}) - f(PR_{i2},\ RL_{i2}, RE_{zit})$$

Verranno scelte quelle task che possiedono il maggior valore possibile di questo indicatore una volta determinate quelle che sono in ritardo. Se non sono presenti lotti in ritardo, come criterio per l'assegnazione si valuta esclusivamente l'indicatore prendendo il lotto che presenta il valore *massimo*. Una volta determinata la task si procede all'assegnazione. Ogni volta che si libera un Team di raccolta nei successivi istanti t_2, t_3 ecc si procede con l'assegnazione seguendo questa logica.

Nel momento in cui sono stati processati tutti i lotti relativi al primo passaggio, si passa ai lotti del secondo passaggio. Nel momento in cui si raggiunge il nuovo *HarvestEarliestTime* vengono associati agli Harvest Team liberi i lotti che possiedono sempre il maggiore valore rispetto all'indicatore descritto in precedenza.

Al tempo t_n un Harvest Team si libera e bisogna associarle una nuova task. Si stabiliscono due criteri per l'ordinamento. All'inizio si prediligono le parcelle per le quali

$$t_n+t_{ij} > HarvestLatestTime_{ij}.$$

Di conseguenza avranno una maggiore priorità tutti quei lotti che si trovano già in una situazione di ritardo rispetto al *DueDate* specifico. Il secondo criterio per l'ordinamento sarà sempre l'indicatore: verranno scelte quelle task che possiedono il maggior valore possibile una volta determinate quelle che sono in ritardo. Se non sono presenti lotti in ritardo, come criterio per l'assegnazione si valuta esclusivamente solamente l'indicatore. Una volta determinata la task si procede all'assegnazione.

Nel momento in cui dovrà essere raccolto il secondo lotto di raccolta il QM_{ij} a questo punto verrà calcolato per ognuno dei lotti come:

$$t_{1sp}: Q_{2j} / P_{2j}$$

dove

$$Q_{2j} = Qm_{ij} - Q_{1j}$$

LOGICA DELL'ALGORITMO

L'indicatore fa sì che vengano prioritizzate, ogni volta che si libera una risorse di raccolta, le parcelle nelle quali è possibile raccogliere sfruttando la più adatta tipologia di raccolta e tenendo anche in parte in considerazione il lavoro che il raccolto genererà in impianto. In particolare l'algoritmo si concentra sull'evitare che in alcune parcelle si vada a raccogliere in maniera inefficiente.
La differenza fra gli indicatori di produttività permette di individuare le parcelle in cui una delle due modalità di raccolta è particolarmente inefficiente rispetto all'altra e di prediligere queste ultime. Al fondo della schedula, se entrambe le modalità di raccolta hanno svolto le proprie task correttamente, dovrebbero pertanto trovarsi le parcelle per le quali è indifferente raccogliere nell'una piuttosto che nell'altra maniera e si dovrebbero evitare situazioni di inefficienza.

LIMITI DELL'ALGORITMO

L'algoritmo ha in tutti i casi alcuni limiti dettati dal contesto esterno, che non è propriamente adatto alla pura schedulazione. Non è un contesto produttivo con ritmi scanditi ma sicuramente un ambiente più frenetico che risente di una grande variabilità in Input. Come descritto in precedenza, la produttività di raccolta potrebbe essere influenzata da una quantità di fattori molto elevata e pertanto una schedulazione nel dettaglio potrebbe non portare ad elevati miglioramenti in termini di tempi ed in termini di efficienza in impianto.
Lo scopo principale dell'algoritmo di schedulazione è quello di identificare una logica con la quale schedulare supportata dai dati. Il rendimento di essiccazione RE_j, quello di Linea RL_j e la produttività di raccolta PR_{ik} sono i tre indicatori chiave identificati per modellare questa logica. Osservare il loro valore nel tempo permette di comprendere se la distribuzione delle risorse è stata adeguata o meno e prendere decisioni di schedulazione di alto livello come ad esempio:

- quando iniziare la raccolta di una varietà
- quando iniziare l'intera raccolta
- se è necessario accellerare sulla raccolta di una varietà e dedicare più risorse alle relative parcelle
- se raccogliere manualmente o meccanicamente su determinati campi

6. MODELLAZIONE SU FLEXSIM

La simulazione, come descritto in precedenza, ha un duplice obiettivo:

Il primo modello di simulazione ha come scopo verificare la bontà dell'algoritmo ed i suoi effetti sull'efficienza del processo. Il secondo modello, in linea con le aspettative di Agrigeorgia, è quello di quantificare l'aumento di risorse necessario al fine di raccogliere più velocemente, in modo da evitare gli effetti climatici e ambientali (cimice, pioggia..) dannosi per la nocciola.

All'interno della simulazione verranno collezionati dati relativi anche all'attività in impianto, in particolare quelli legati allo sporco e all'umidità in ingresso. È di fondamentale importanza comprendere il legame fra queste due fasi del processo e quantificarlo in modo da poter rilevare gli effetti che un cambiamento all'interno della schedulazione ha sulle fasi a valle del processo.

Il modello creato è stato reso appositamente flessibile nell'ottica di testare diversi scenari in cui il numero degli operatori e delle macchine operatrici destinate alla raccolta varia in modo da poter comprendere l'influenza che può avere un cambiamento nel loro utilizzo. Spostare la raccolta maggiormente verso quella manuale potrebbe avere una buona inflluenza su RL_j in quanto permetterebbe di raccogliere una minore percentuale di sporco ma rallenterebbe la raccolta.
Viceversa spostare la raccolta maggiormente verso quella meccanica potrebbe avere una buona influenza su PR_{ik} in termini di velocità ma ha sicuramente un influsso negativo sulle linee e l'impianto.

6.1 FLUSSO DI PROCESSO

6.1.1 OPERATORI, MACCHINE DI RACCOLTA E DISPATCHER

Le risorse di raccolta sono state generate con uno Flexscript separatamente dal resto degli elementi per poterle successivamente variare a seconda dello scenario più facilmente. Il linguaggio utilizzato è proprio del software di simulazione anche se è molto somigliante ai comuni linguaggi di programmazione, in particolare Javascript e C.

Relativamente alle risorse utilizzate, è stato possibile comprendere, tramite un'estrazione di dati da Database alcune informazioni per ogni delle tipologie di raccolta. In Agrigeorgia complessivamente nella raccolta 2017 hanno lavorato 675 persone circa. Inoltre nella seguente tabella, viene visualizzato nella colonna Num Workers / Day il numero di persone che hanno lavorato all'interno di una certa Territorial Unit in una giornata per la varietà Anakliuri.

Date	Territorial Unit Code	Num.Workers/Day
02/08/2017	8467	20
03/08/2017	4875	154
03/08/2017	4876	154
03/08/2017	4908	154
03/08/2017	4910	131
04/08/2017	4866	215
04/08/2017	4884	215
04/08/2017	4908	215
04/08/2017	4910	170
04/08/2017	4913	136
04/08/2017	8467	14
06/08/2017	4901	174
06/08/2017	4911	174
15/08/2017	4882	200
15/08/2017	4917	174
16/08/2017	4867	239
16/08/2017	4869	226
16/08/2017	4882	13
16/08/2017	4883	238
16/08/2017	4901	201
16/08/2017	4903	192
16/08/2017	4904	201
16/08/2017	4917	9
17/08/2017	4864	239

Come si può vedere le operazioni di raccolta vengono eseguite con un grandissimo quantitativo di persone simultaneamente. Mediamente, osservando i dati anche delle altre varietà, vengono utilizzate 165 persone. Pertanto si è scelto nel modello di creare 4 entità Operator, che rappresentano un team di raccolta di 165 persone.

Per quanto riguarda la raccolta meccanica il totale delle macchine utilizzate è stato estratto da anagrafiche. Risultano 32 macchine raccoglitrici, alcune autonome, alcune che devono essere necessariamente trainate. Seguendo lo stesso ragionamento visto prima, attraverso il Database è stato possibile comprendere mediamente quante macchine vengono inviate a raccogliere in una unità territoriale in un determinato giorno. Di seguito un estratto della tabella.

numworker	Day	Month
3	1	August
3	1	August
4	2	August
1	2	August
2	3	August
3	7	August
2	7	August
4	8	August
1	8	August
1	8	August
2	8	August

Il valore medio è circa 3 ma ha una certa variabilità: sono state inviate da un minimo di 1 ad un massimo di 8 macchine contemporaneamente.

Si è deciso di raggrupparle quindi in gruppi di 4 in modo da creare delle piccole flotte da inviare nelle parcelle. I tempi di processo relativi ad ogni parcella sono stati ovviamente modificati in maniera proporzionale al fatto che le risorse di raccolta non lavorano singolarmente ma in gruppi.

Il **dispatcher** è un elemento del modello che guida le risorse della raccolta e schedula le task da eseguire. Durante la simulazione verrà guidato dalla priority assegnata ad ogni Terrritorial Unit.

6.1.2 HARVEST CHAIN

USER EVENTS

Per sviluppare la logica della simulazione ed adattarla al contesto reale è stato utilizzato uno strumento di Flexsim chiamato **User Event**. Sono eventi associati ad uno specifico istante di tempo della simulazione che permettono, tramite un piccolo Script, di modificare variabili all'interno del sistema.
È stato utilizzato pertanto per attivare o disattivare la raccolta meccanica in relazione alla percentuale di frutti a terra o settare la priorità di determinate parcelle in relazione allo scorrere del tempo ed agli eventi. Se una parcella risultava essere in ritardo, la raccolta su queste diventava prioritiaria.

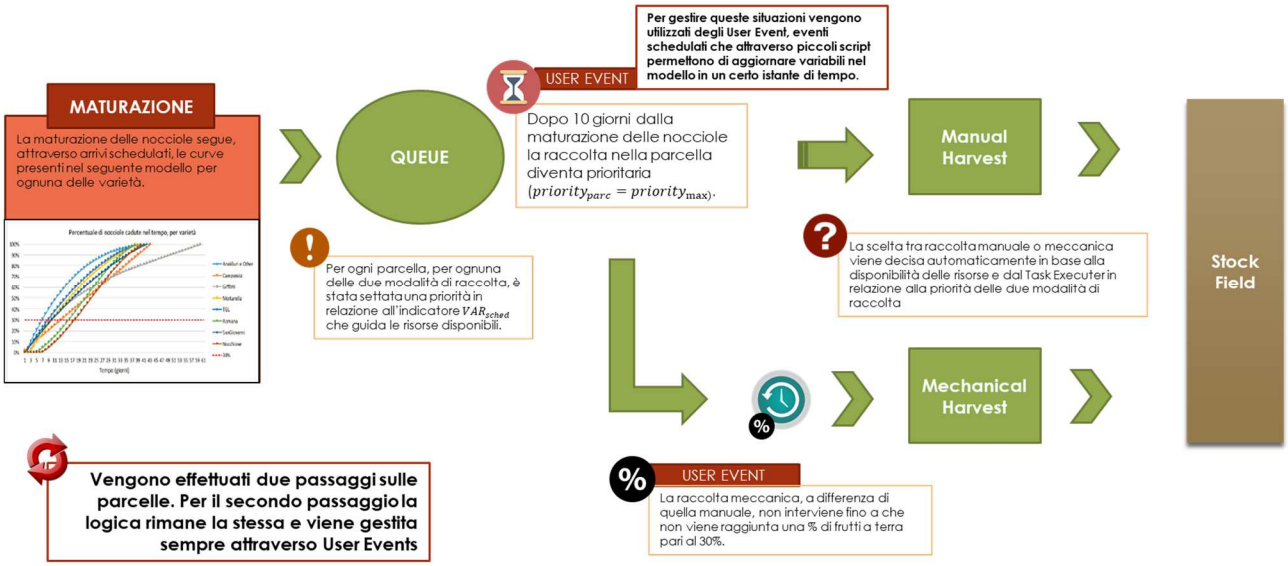
SOURCE-QUEUE-QUEUE MATURE

È stata creata una **Source** per ogni parcella a cui è stata collegata una catena di tre elementi (due **Queue** ed un **Processor**). Le nocciole si generano nel modello seguendo, per ogni parcella, a seconda della varietà, la propria curva di maturazione.
Per ottenere questo risultato è stato considerato il peso di accettazione di ciascun Batch e i dati sono stati raggruppati per Territorial Unit. Successivamente si è andati a distribuire nel tempo la quantità raccolta in ogni Territorial Unit seguendo la funzione della curva di maturazione.
Una volta generate le nocciole passano attraverso due Queue. La prima è una specie di serbatoio per la seconda ed ha semplicemente una funzione specifica nella logica della simulazione che verrà descritta a breve. La seconda (denominata MatureQueue - cod.varietà - cod.ut) rappresenta la quantità di nocciole effettivamente mature che si sono depositate sul terreno, pronte per essere raccolte in relazione però alla disponibilità delle risorse. La parte iniziale della raccolta viene effettuata solo manualmente, la raccolta meccanica viene di conseguenza bloccata al tempo t=0. Questa viene attivata nel momento in cui, per una determinata varietà, si raggiunge la soglia del 30% di nocciole a terra, sempre ottenibile dal modello di maturazione ed uno User Event agisce sul modello.

PROCESSOR

L'elemento **Processor** viene utilizzato per determinare un tempo di raccolta sulla specifica TU e rappresenta una stazione di lavoro sulla quale Team di macchine o uomini può raccogliere. Per ogni Territorial Unit sarà presente un Processor per la raccolta meccanica ed un Processor per la raccolta manuale che avranno tempi di processo differenti a seconda della produttività della Territorial Unit e delle operazioni di raccolta.
All'interno di ogni Processor è settata una Priority che da un'indicazione al Dispatcher sulla sequenza della schedulazione. Nel momento in cui le nocciole rimangono nella coda per troppo tempo (si considera la raccolta in ritardo dopo dieci giorni dal momento di maturazione), sempre attraverso uno User Events si setta la priorità dei Processor relativi a quella parcella al valore massimo in modo tale che il Dispatcher preferisca eseguire quelle Task rispetto alle altre. Nel momento in cui finisce il primo

passaggio di raccolta in una parcella, attraverso un trigger il Processor lancia un messaggio alla prima Queue nella quale automaticamente le porte di Output si chiudono. Le nocciole continueranno a maturare fino a che non si raggiungerà la soglia del secondo passaggio. L'algoritmo si ripeterà ugualmente con le nocciole rimanenti.



STOCKFIELD

Nel momento in cui le risorse sono disponibili le nocciole vengono "processate" ed inviate all'interno di un magazzino di campo dove vengono mantenute separate in relazione alla varietà e all'azienda. Per gli StockField di Chitatskari, che è quello adiacente all'impianto, vengono creati dei Batch con dimensione minima di 1 tonnellata perché è la capacità media di un carro che viene direttamente portato in impianto. Per le aziende invece più distanti viene creato un Batch di dimensione 10000 kg che verrà caricato su un trasporto apposito.

STOCKPLANT

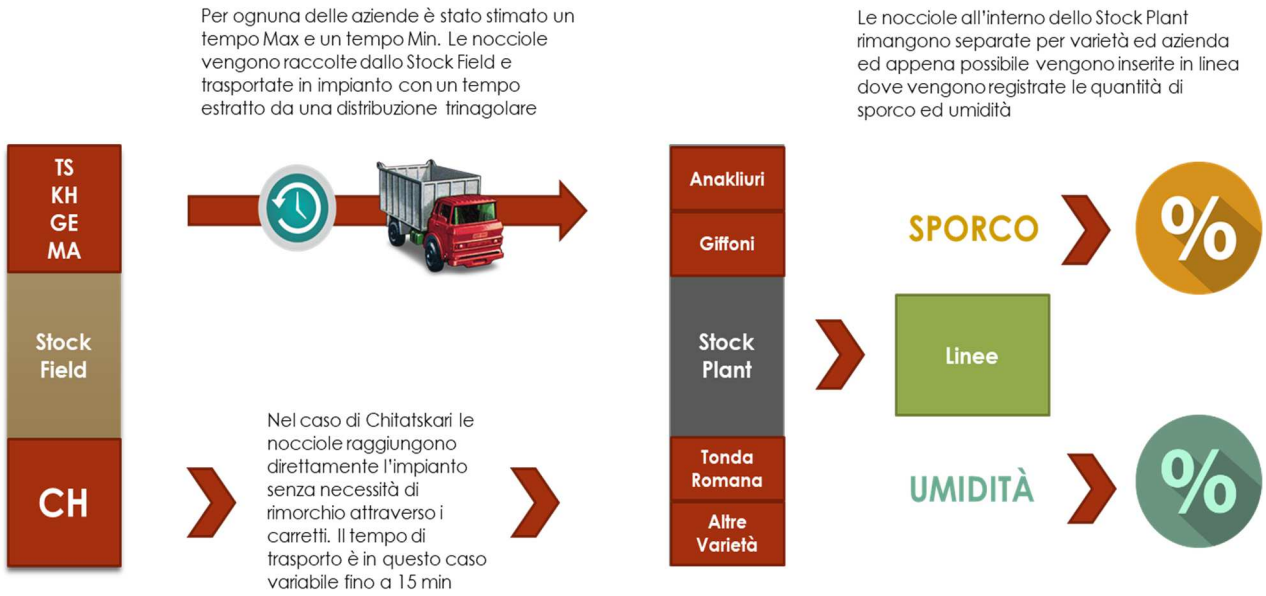
A seconda della disponibilità dei Camion vengono a questo punto portate all'interno del Magazzino di impianto (StockPlant).

Anche qui sono presenti dei Processori che rappresentano il tempo di Trasporto Campo impianto, differente a seconda dell'azienda. Le distanze e i relativi tempi di percorrenza sono stati calcolati per mezzo di mappe. Considerando che le aziende hanno una dimensione notevole si è scelto di dare comunque una variabilità di 15 minuti circa al tempo di trasporto da ciascuna azienda all'impianto per via di movimenti interni all'azienda. All'uscita dallo StockPlant viene definito, a seconda dell'azienda e della varietà, una percentuale di sporco che il Batch di nocciole porta con se e viene salvato questo valore in una Global Table di Flexsim. A questo punto le nocciole vengono inserite all'interno della linea.

LINEE

Le linee sono 4 e una di queste è completamente a disposizione della varietà Anakliuri, che segue un processo di lavorazione particolare, come descritto in precedenza. Il contenuto di questa linea confluisce successivamente all'interno di un'altra linea dove viene eseguito il normale processo di pulizia.

Per ognuna delle linee si è tenuto in considerazione una capacità di 1 tonn/h con una variabilità di 100 kg/h.



6.2 IPOTESI DEL MODELLO

MTTB e MTTF

Questo strumento del modello viene teoricamente utilizzato per modellare i guasti di una Fixed Resource. Le risorse di raccolta non lavorano 24 ore al giorno. Le risorse risultano attive di conseguenza solamente per 16 ore al giorno e, per il restante tempo di simulazione, sono per il sistema guaste e non possono essere utilizzate.

PERCENTUALE DI SPORCO E UMIDITÀ

All'uscita della linea, a seconda della Azienda di appartenenza e della varietà, ogni entità genererà una certa quantità di sporco secondo una distribuzione calcolata come descritto in precedenza. I dati vengono raccolti in una GlobalTable di Flexsim ed esportati alla fine di ogni simulazione.

Stesso procedimento per la percentuale di peso persa in umidità che viene registrata a seconda della varietà, dell'azienda di origine e del giorno.

MAGAZZINI A CAPACITÀ INFINITA

I magazzini hanno sempre capacità infinita. È una situazione che, soprattutto per i magazzini di campo, simula bene la realtà in quanto le postazioni per stoccare le nocciole sono molte e di grandi dimensioni. Per quanto riguarda i magazzini di impianto, seppure di dimensioni più ridotte risultano comunque non essere un collo di bottiglia del flusso attuale, le quantità in transito rimangono comunque contenute.

VARIABILE METEO

Non viene presa in considerazione la variabile meteo, perché molto complessa da modellizzare. Questa avrebbe sicuramente influenza sulla produttività di raccolta e sul rendimento della linea. Le forti piogge si concentrano solitamente nel mese di settembre e generano problemi per via dell'impossibilità di utilizzare macchine raccoglitrici in queste condizioni e per via del maggior sporco che viene portato in impianto.

7. OUTPUT ANALYSIS

7.1 TIPOLOGIE DI SIMULAZIONI

La simulazione ad eventi discreti può essere divisa in due tipologie:

FHS (FINITE HORIZON SIMULATION)

La simulazione è determinata da condizioni iniziali e da un evento che ne determina la fine. I due parametri Inizio e Fine della simulazione devono essere ben specificati a priori e sono particolarmente importanti per l'Output Analysis. Il sistema potrebbe essere interrotto in una situazione di non equilibrio. È necessario, in questo tipo di simulazioni, determinare il numero di repliche che si vuole eseguire per ogni scenario in modo tale che i dati di Output risultino significativi.

SSS (STEADY STATE SIMULATION)

La simulazione procede teoricamente per un tempo infinito, il sistema è considerato constantemente in equilibrio. La durata della simulazione viene determinata a priori. In questo genere di simulazioni il problema principale è quello di determinare un tempo di Warm Up della simulazione. Il tempo di Warm Up può essere definito come il tempo che la simulazione impiega a raggiungere lo stato di equilibrio del sistema.

La simulazione trattata in questa tesi, in entrambi i casi, è della prima tipologia.

7.3 OUTPUT DELLA SIMULAZIONE

Il software Flexsim mette a disposizione due strumenti per l'analisi dei dati di Output della simulazione: il primo sono delle Dashboard che permettono di costruire grafici con riferimento a variabili del modello, ad oggetti del modello o relativamente al flusso delle entità per poter visualizzare i dati ottenuti sia in tempo reale durante la simulazione sia per una successiva analisi. Il secondo Tool ovvero le Performance Measure sono indicatori che possono essere costruiti mediante uno Script che forniscono le informazioni specificate nel codice.

7.3.1 SIMULAZIONE 1

La simulazione in questo caso ha l'obiettivo di quantificare gli effetti dell'introduzione dell'algoritmo simulando, nello scenario attuale, prima con e poi senza l'algoritmo di schedulazione e verificare eventuali miglioramenti.

Sono state eseguite diverse simulazioni con 3 indicatori di prioritizzazione diversi. L'obiettivo era quello di identificare correttamente il comportamento dell'algoritmo in tutte le sue parti e valutare i pregi e i difetti di ciascun indicatore. Le casistiche trattate vengono descritte nella seguente tabella:

CASO	INDICATORE UTILIZZATO	DESCRIZIONE
1	--	Scenario senza prioritizzazione
2	PR	La prioritizzazione avverrà considerando solamente la produttivitò sporca di raccolta
3	PR (1-RL-RE)	La prioritizzazione avverrà considerando la produttività sporca di raccolta e la percentuale di scarto complessiva
4	(1-RL)	La prioritizzazione avverrà seguendo esclusivamente la percentuale di sporco

Di seguito per ogni Performance Measure o Dashboard verranno evidenziati i vantaggi e i difetti riscontrati nelle diverse simulazioni.

PRODUTTIVITÀ TOTALE DEL SISTEMA

I due grafici riassumono l'output totale del sistema al variare del tempo. Si consideri che in questo caso:

- la produzione totale di Agrigeorgia è di 1922 tonnellate di nocciole
- a seconda dello scenario e del tipo di prioritizzazione scelto la durata complessiva può variare
- il grafico è discontinuo per via dell'alternarsi del giorno (periodo lavorativo) e della notte (dove le macchine non lavorano)

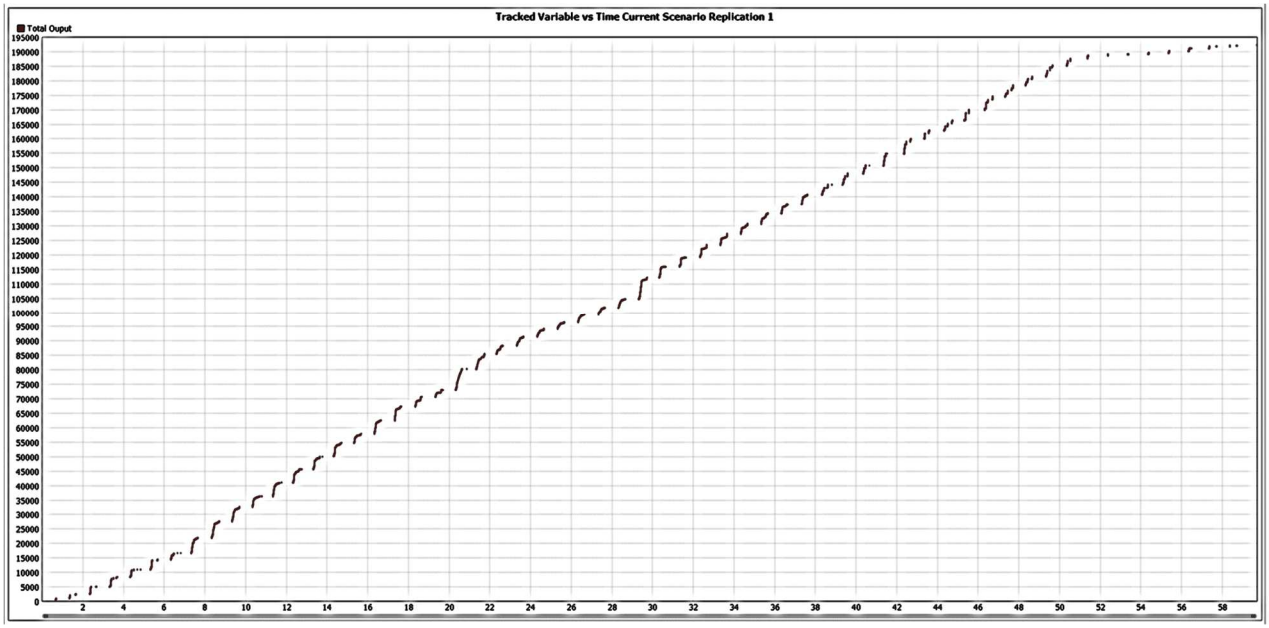


Figura 9 : Scenario con prioritizzazione delle parcelle

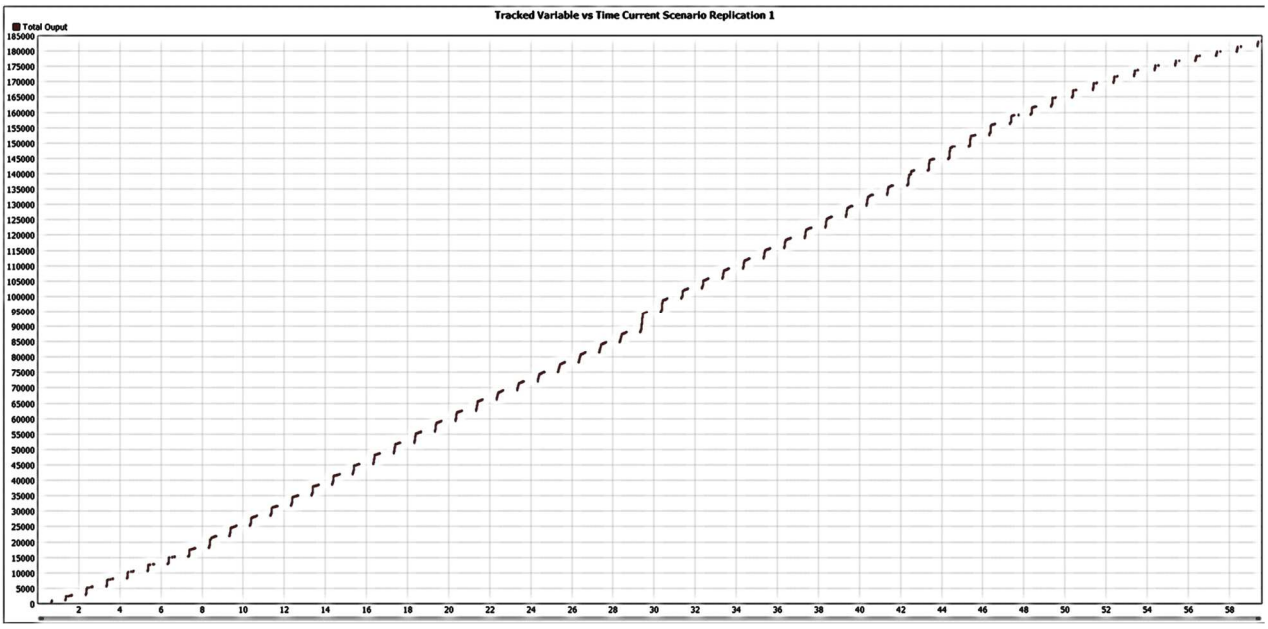


Figura 10: Scenario senza prioritizzazione delle parcelle con indicatore PR (1 - RL – RE)

Il secondo grafico è stato estratto dalla simulazione con l'indicatore PR*(1 - RL – RE). Come è possibile osservare la schedulazione delle attività fornisce vantaggi in termini di tempo. La raccolta raggiunge la quasi totalità intorno al 53esimo giorno nello scenario con prioritizzazione. Nell'altro scenario invece, dopo 61 giorni di raccolta, permangono ancora 100 tonnellate di nocciole da raccogliere.

Per ogni scenario è stata calcolata una produttività sporca giornaliera di raccolta in relazione alla durata complessiva delle attività. Di seguito i risultati:

$$\mathrm{PR}_{CASO2} = 33185\ {}^{Kg}/_{gg} \qquad \tau_{CASO2/normal} = 10.34\%$$

$$\mathrm{PR}_{CASO3} = 32.079\ {}^{Kg}/_{gg} \qquad \tau_{CASO3/normal} = 6.66\%$$

$$\mathrm{PR}_{CASO4} = 26732\ {}^{Kg}/_{gg} \qquad \tau_{CASO4/normal} = -11.11\%$$

$$\tau_{normal} = 30.074\ {}^{KG}/_{gg}$$

Nel Caso 2 il valore è massimo coerentemente con l'indicatore di schedulazione utilizzato che mira proprio a massimizzare la produttività sporca di raccolta. Nel caso 4 invece il valore è particolarmente negativo, peggiore della situazione attuale. Nel CASO 3 si ottiene comunque un ottimo valore ma leggermente inferiore al CASO 2 in quanto la schedulazione non viene orientata esclusivamente alla produttività sporca ma verso la produttività pulita, al netto quindi delle percentuali di sporco.

DURATA DELLA SIMULAZIONE

Il secondo confronto riguarda invece la durata totale della simulazione, a parità di quantità raccolte.

In termini di giorni di raccolta complessivi i dati di Output della simulazione sono i seguenti:

$$\mathrm{T}_{CASO2} = 58\ gg \qquad \tau_{CASO2/normal} = 9.37\%$$

$$\mathrm{T}_{CASO3} = 60\ gg \qquad \tau_{CASO3/normal} = 6.25\%$$

$$\mathrm{T}_{CASO4} = 72\ gg \qquad \tau_{CASO4/normal} = -12.5\%$$

$$\mathrm{T}_{normal} = 64\ gg$$

Come è possibile osservare gli scenari con prioritizzazione forniscono vantaggi in termini di tempo complessivo. Sempre coerentemente con l'indicatore il CASO 2 porta ad una velocità maggiore del processo perché porta a raccogliere le nocciole il più velocemente possibile senza curarsi dello sporco portato in impianto. Il CASO 4 presenta invece un valore particolarmente negativo.

STAYTIME ANALYSIS

Una delle Performance Measure di output del simulatore è lo Staytime. Lo staytime è la quantità di tempo media che viene passata dalle entità, in questo caso le nocciole, all'interno di ogni fase del processo. All'interno della simulazione è stato possibile calcolare:

- **Staytime Campo**: tempo medio intercorso tra la maturazione delle nocciole e la loro effettiva raccolta
- **Staytime Stock Field**: tempo medio che le nocciole trascorrono all'interno di un magazzino di campo, ovvero dal momento in cui vengono raccolte al momento in cui vengono trasportate in impianto
- **Staytime Stock Plant**: tempo medio che le nocciole passano all'interno del magazzino in impianto prima di entrare all'interno della linea

Un basso valore di Staytime Campo è significativo del fatto che la schedulazione, e di conseguenza la quantità e la distribuzione delle risorse, è coerente con la maturazione delle nocciole e permette di proseguire di pari passo alla loro caduta dall'albero e di raccoglierle prima che sia troppo tardi. Minimizzare lo StaytimeTime di Campo è uno degli obiettivi del modello per assicurarsi una migliore qualità della nocciola. I risultati riguardo a questo indicatore sono elencati di seguito per i vari scenari:

$$\mathrm{ST}_{CASO2} = 45{,}93\ h \qquad \tau_{CASO2/normal} = -31{,}70\ \%$$

$$\mathrm{ST}_{CASO3} = 44.69\ h \qquad \tau_{CASO3/normal} = -33{,}62\ \%$$

$$S\mathrm{T}_{CASO4} = 110{,}31\ h \qquad \tau_{CASO4/normal} = +63{,}83\ \%$$

$$\mathrm{ST}_{normal} = 67{,}33\ h$$

In questo caso lo scenario che presenta il valore migliore è il CASO 3 con un decremento significativo dell'indicatore del 33%. Risultati simili si ottengono per il CASO 2 mentre il CASO 4 anche questa volta porta ad un peggioramento del sistema. Come vedremo in seguito però l'effetto dato dall'aumento delle risorse ha un impatto ancora più grande su questo indicatore.

Gli Staytime relativi agli Stock di campo e allo Stock di impianto non registrano invece differenze significative.

DIRTY AND DRYING ANALYSIS

È stato inoltre calcolato scenario per scenario la quantità di sporco e di umidità portata in impianto usando i dati e le distribuzioni ottenute nell'Input Analysis. La quantità ottenuta nelle varie simulazioni è direttamente confrontabile perché ottenuta su quantità raccolte uguali. I risultati ottenuti sono i seguenti:

$$\text{LINE} - \text{WASTE}_{CASO2} = 754896\ kg \qquad \tau_{CASO2/normal} = +3{,}88\ \%$$

$$\text{LINE} - \text{WASTE}_{CASO3} = 739904\ kg \qquad \tau_{CASO3/normal} = +1{,}82\ \%$$

$$\text{LINE} - \text{WASTE}_{CASO4} = 702200\ kg \qquad \tau_{CASO4/normal} = -3{,}36\ \%$$

$$\text{LINE} - \text{WASTE}_{normal} = 726643\ kg$$

La percentuale di sporco registrata dalla linea viene ottimizzata nel CASO 4 coerentemente con l'indicatore scelto per la schedulazione. Negli altri casi il valore è peggiore dello scenario attuale. Nel CASO 2 è normale che sia così. Un'alta PR_{ik} potrebbe essere influenzata da un'alta percentuale di scarto contenuta nei lotti di nocciole, di conseguenza la prioritizzazione delle Unità territoriali potrebbe essere incentivata a scegliere parcelle con un maggiore RL_{ik}. Nel CASO 3 invece il valore viene in parte moderato dal fatto che nell'indicatore di prioritizzazione viene considerata la produttività pulita invece della sporca ma comunque questo apporto non è sufficiente. Un altro aspetto da considerare è il fatto che la prioritizzazione delle parcelle in questi due casi sposta le attività verso la raccolta meccanica.

$$\text{PROD. Mechanic}_{CASO1} = 355123\ kg\ (18\%) \qquad \text{PROD. Manual}_{CASO1} = 1569617\ Kg\ (82\%)$$

$$\text{PROD. Mechanic}_{CASO2} = 566120\ kg\ (29\%) \qquad \text{PROD. Manual}_{CASO2} = 1358620\ Kg (71\%)$$

$$\text{PROD. Mechanic}_{CASO3} = 536158\ kg\ (28\%) \qquad \text{PROD. Manual}_{CASO3} = 1388581\ Kg\ (72\%)$$

È importante sottolineare questo aspetto perché la raccolta meccanica, come visto in precedenza, porta con sè delle percentuali di sporco maggiori. Lo spostamento verso questa modalità di raccolta è dovuto al fatto che, possedendo una grande variabilità, l'ottimizzazione della schedula nel suo caso ha un

maggiore effetto. Il risultato è che questa modalità giova della prioritizzazione e riesce a raccogliere molte più nocciole evitando situazioni di inefficienza.

$$\text{HUMIDITY}_{CASO2} = 216781\ kg \qquad \tau_{CASO2/normal} = -7{,}11\ \%$$

$$\text{HUMIDITY}_{CASO3} = 205295\ kg \qquad \tau_{CASO3/normal} = -12{,}03\ \%$$

$$\text{HUMIDITY}_{CASO4} = 219616\ kg \qquad \tau_{CASO4/normal} = -5{,}89\ \%$$

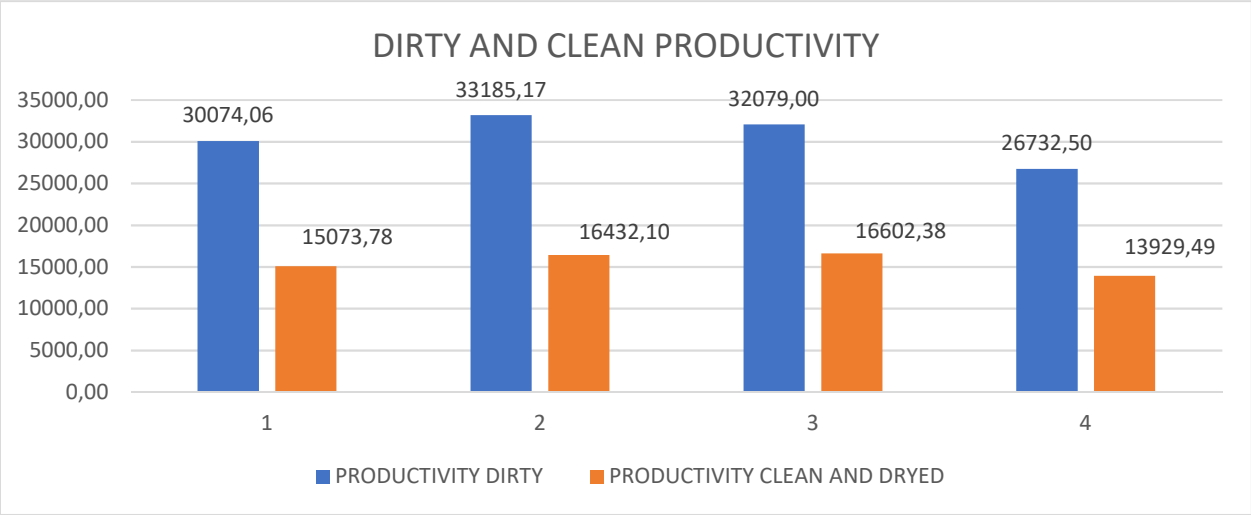
$$\text{HUMIDITY}_{normal} = 233374\ kg$$

Per quanto riguarda l'umidità in tutti i casi si ottengono risultati migliori dello scenario attuale. Nei primi due casi in teoria la maggiore velocità del processo porta a raccogliere nocciole maggiormente umide ed il valore dovrebbe essere superiore. Ma dalla simulazione è possibile vedere come, alla base della diminuzione dell'indicatore, c'è una sostanziale variazione nella raccolta dell'Anakliuri. Nel caso della simulazione senza prioritizzazione le risorse disponibili agiscono con logica FIFO. L'Anakliuri viene raccolta prima e principalmente manualmente perché è la prima varietà che viene generata. Nell'altro caso invece la schedulazione guida la raccolta e le risorse manuali vengono distribuite diversamente in modo da raccogliere in parte anche le altre varietà nella prima fase. L'Anakliuri infatti viene raccolta in gran parte a macchina. Questa posticipazione genera una differenza notevole di umidità in ingresso in impianto, anche dovuto al fatto che i livelli di umidità dell'Anakliuri hanno un andamento decrescente esponenziale. Le altre varietà non mostrano invece differenze così significative.

Come verrà meglio descritto in seguito, questa variabile è molto importante perché anche una piccola variazione può generare grandi rallentamenti nel processo a valle.

DIRTY AND CLEAN PRODUCTIVITY

Un'altra misura di Performance particolarmente importante per il modello è la produttività pulita complessiva ottenuta nel modello. Va considerato che la produttività pulita è composta da due fattori ovvero la produttività sporca e la percentuale di scarto. Nel CASO 2 ci si aspetta una maggiore produttività sporca ed una maggiore quantitativo di sporco. Nel CASO 3 invece la produttività sporca dovrebbe essere minore come lo scarto portato in impianto. I risultati ottenuti nei vari scenari sono riassunti nel seguente grafico:



Come è possibile vedere la produttività sporca raggiunge il valore massimo nel CASO 2 ma l'ottimizzazione sullo sporco permette di raggiungere un valore di produttività pulita maggiore nel CASO 3 anche se la differenza è minima.

CONSIDERAZIONI FINALI

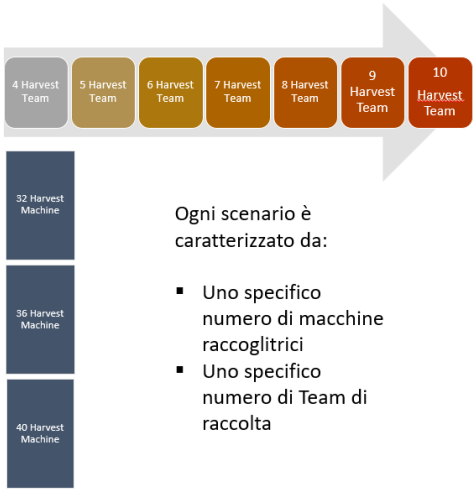
Il CASO 4 è sicuramente da evitare. I pochi miglioramenti mostrati relativamente allo sporco portato in impianto non bilanciano i rallentamenti e l'inefficienza del processo nei tempi complessivi e di permanenza in campo.

Il CASO 2 il CASO 3 sono molto simili. Il primo permette una velocità di processo maggiore ed una minore permanenza delle nocciole in campo anche se, viste le differenze ridotte, il CASO 3 sembra il migliore perché porta vantaggi notevoli in termini di scarti portati in impianto e permette di raggiungere la migliore produttività pulita.

7.3.2 SIMULAZIONE 2

L'obiettivo della seconda simulazione è quantificare le variazioni nel processo della raccolta relativamente ad un diverso uso delle risorse di raccolta. Per l'analisi verranno considerati gli stessi indicatori osservati in precedenza, per quantificare eventuali altre differenze nel modello.

Il metodo di analisi ha seguito come logica lo schema seguente:



In questo caso numerose simulazioni in scenari differenti senza l'utilizzo della prioritizzazione. Per ogni scenario verrà effettuato un numero di simulazioni pari a quello determinato in uno dei punti precedenti. Ogni scenario è caratterizzato da un particolare numero di macchine raccoglitrici e da uno specifico numero Team di raccolta. Incrementando man mano l'una e l'altra tipologia di risorse verranno creati tanti scenari quante sono le possibili combinazioni.

In particolare, sapendo a priori che sarebbe stata la raccolta manuale quella maggiormente in difficoltà in termini di tempi si è lasciato più a spazio all'ampliamento di questa tipologia di risorsa rispetto a quella meccanica. I diversi scenari sono stati successivamente simulati per il caso in cui la prioritizzazione delle parcelle non era attiva generando quindi 21 scenari differenti.

DURATA DELLA SIMULAZIONE

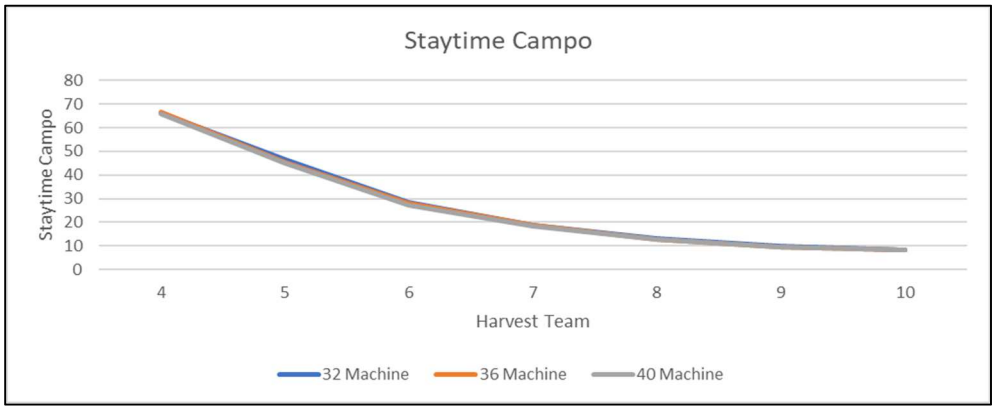
Altro aspetto particolarmente interessante è il fatto che i tempi di simulazione variano sempre in relazione all'aumento delle risorse ma non in maniera proporzionale.

Scenario con incremento massimo risorse	$Durata\ Totale = 51\ giorni$
Scenario senza incremento di risorse	$Durata\ Totale \cong 61\ giorni$
Tasso di miglioramento	$\tau = 16.39\%$

Si passa da oltre 61 giorni di raccolta a 51 ma il dato più interessante è che da un determinato scenario in poi il valore non viene più modificato all'aumentare del numero di risorse. Questo è segnale del fatto che all'interno del processo il collo di bottiglia è cambiato. Inizialmente era possibile identificarlo nell'attività di raccolta la cui capacità era evidentemente limitata ma l'incremento in numero delle risorse ha fatto emergere una nuova problematica ovvero il trasporto Campo-Impianto, come sarà evidenziato dall'analisi dei tempi di permanenza nelle varie fasi del processo.

STAYTIME ANALYSIS

L'analisi sulla permanenza delle nocciole nei vari stadi del processo ha dato luce ai seguenti grafici:

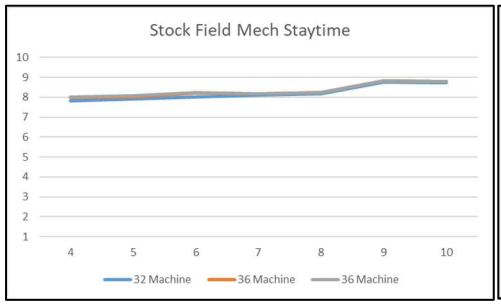


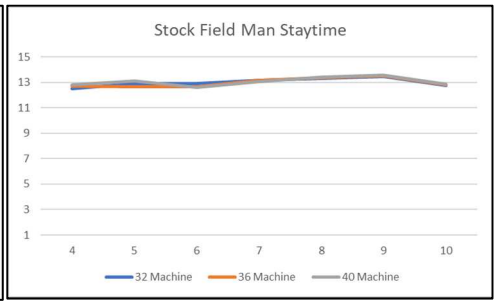
Come è possibile vedere dal grafico è evidente che l'aumento progressivo delle risorse di raccolta fornisce evidentemente dei vantaggi in termini di tempo di permanenza in campo.

Scenario con incremento max di risorse	$StaytimeCampo \cong 8\ ore$
Scenario senza incremento di risorse	$StaytimeCampo = 67.73\ ore$
Tasso di miglioramento	$\tau \cong 85\%$

Il tempo medio che le nocciole sono costrette ad aspettare all'interno del campo prima di essere raccolte diminuisce drasticamente da 54.46 ore circa a 8 ore con un incremento massimo di risorse. In termini percentuali questo corrisponde ad un miglioramento dell'85%. Questo, come visto in precedenza, si assume abbia un influsso particolarmente buono sulla qualità delle nocciole.

È possibile inoltre notare come al miglioramento complessivo contribuisca maggiormente la raccolta manuale rispetto a quella meccanica. Le 3 curve relative ai 3 differenti scenari con diverso numero di macchine raccoglitrici seguono più o meno lo stesso flusso mentre è al variare dei Team di raccolta che si verificano cambiamenti. Questo lascia intendere che fosse la raccolta manuale ad essere maggiormente in ritardo rispetto alla propria schedulazione e che fosse lei a necessitare maggiormente di un incremento di risorse. Un altro dato interessante è che i vantaggi conseguiti con la prioritizzazione descritti prima sono equivalenti allo scenario con l'aggiunta di un Team di raccolta di 165 persone.

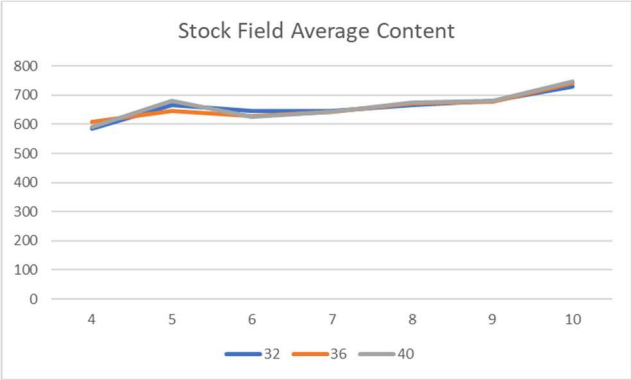




Questi due grafici mostrano invece lo Staytime degli Stock Field delle nocciole raccolte meccanicamente o manualmente. Il loro andamento è molto differente dallo Staytime di Campo perché la capacità del trasporto campo-impianto viene saturata. Crescono leggermente gli Staytime per l'una e per l'altra modalità di raccolta, segno del fatto che la capacità di questa fase del processo è ora limitata relativamente a chi sta a monte della catena.

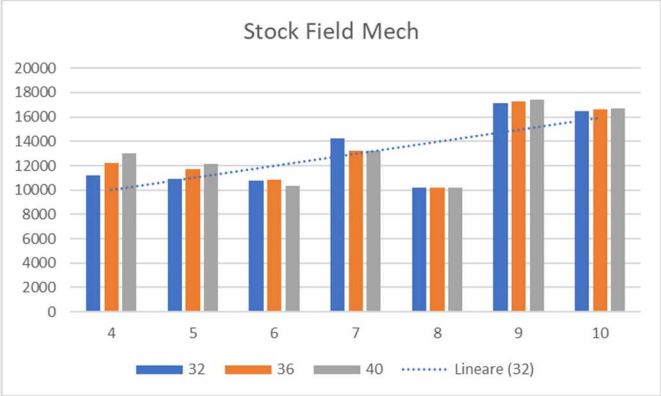
CONTENT ANALYSIS

Attraverso questa tipologia di Performance Measure estratta dal modello è possibile conoscere una media del contenuto delle Queue nel tempo. I dati estratti da questo indicatore sono in accordo con i grafici precedenti.

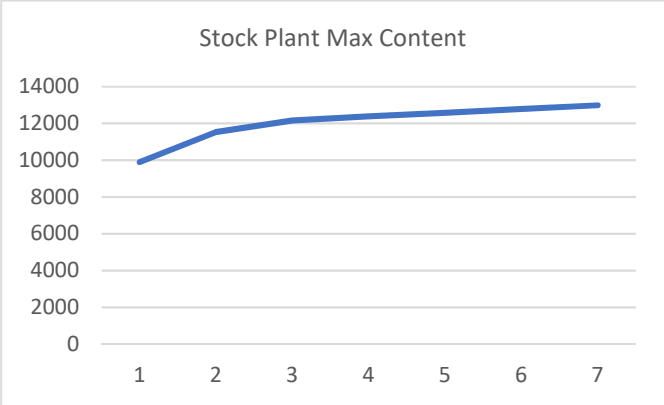


Il grafico relativo al contenuto degli Stock Field medio con la crescita degli Harvest Team tende a salire da un valore di 580 kg circa ad un valore 780 kg circa. Si consideri che gli Stock Field creati nel modello sono 40 separati per azienda, modalità di raccolta e varietà. Il contenuto medio di tutti gli Stock è pari a 23 tonnellate di nocciole nel caso attuale e di 31 tonnellate nel caso con incremento di risorse. La crescita di questo valore medio determina quindi un ingombro totale medio maggiorato di 8 tonnellate circa. Questo, a livello di dimensionamento delle strutture, non dovrebbe portare a grossi cambiamenti in quanto gli spazi per stoccare le nocciole in campo, in contesto agricolo, sono notevoli.

Un altro grafico significativo in questo senso è quello relativo al contenuto massimo in questo caso tenuto mediamente dai magazzini di campo. Soprattutto all'interno dei magazzini creati per mezzo di nocciole raccolte meccanicamente la differenza è significativa e il valore passa da 11 tonnellate circa a 18 tonnellate circa.



Per quanto riguarda invece gli stock a livello di impianto è possibile vedere come anche in questo caso il loro utilizzo cresce notevolmente.



Questo grafico descrive la crescita del contenuto degli Stock di impianto. In questo caso, nell'ottica di dimensionare correttamente il magazzino, viene estratta una performance Measure relativa al Contenuto massimo rilevato all'interno di questo Stock. Come è possibile vedere il valore passa da 10000 unità circa a 13000 circa con un incremento percentuale del 30% circa.

Il magazzino, in termini assoluti, dovrebbe essere preparato ad accogliere circa 30 tonnellate in più di nocciole durante la stagione.

DRYING ANALYSIS

Nel corso della simulazione per ognuna delle entità è stato registrato un quantitativo di umidità e di sporco portati in impianto relativamente ai coefficienti RL_{ij} e RE_{ij}.

L'idea è quello di comprendere attraverso questi dati come potrebbe cambiare a seguito di una modifica delle attività a monte l'attività in impianto in termini di tempi di lavorazione.

In particolare è possibile vedere come, a livello di sporco e di umidità portati in impianto, velocizzare la raccolta ha effetti sicuramente negativi.

Relativamente allo sporco portato in linea l'effetto è separato per varietà. L'aumento delle risorse meccaniche ha un effetto marginale sullo sporco rispetto all'effetto dato dalla raccolta manuale. A seconda delle varietà raccogliere manualmente ha effetti positivi o negativi. Notiamo decrementi dei livelli di sporco portati in linea sulle varietà Anakliuri e sul gruppo AV che non compensano gli incrementi relativi a Giffoni e Tonda Romana. In totale risultano 44 le tonnellate aggiuntive portate in impianto.

Per quanto riguarda il processo di essiccazione è interessante notare come, conseguentemente al fatto che le nocciole vengono raccolte in anticipo, la loro umidità di partenza in ingresso è più alta.

Di seguito vengono illustrati i risultati relativi alla quantità di umidità portata in impianto:

	Drying Anakliuri	Drying Anakliuri	Drying Anakliuri
Harvest Team / Macchine raccoglitrici	32	36	40
4	6400,485	6428,866875	6440,658125
5	6902,543125	6928,00875	6934,8775
6	7252,016875	7254,821875	7293,516875
7	7609,0375	7615,186875	7637,904375
8	7943,324375	7961,46625	7971,28125
9	8190,6775	8195,864375	8202,85625
10	8363,60625	8389,285625	8392,288125

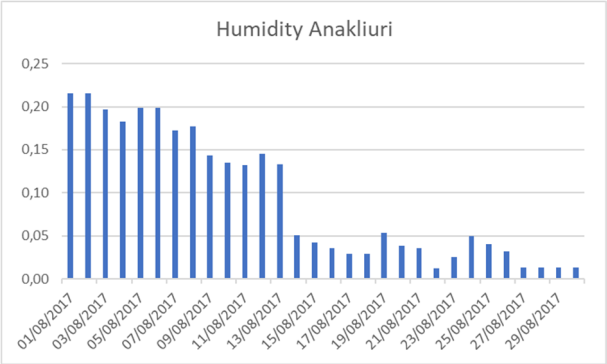
	Drying Giffoni	Drying Giffoni	Drying Giffoni
Harvest Team / Macchine raccoglitrici	32	36	40
4	8372,006875	8383,39	8427,040625
5	9124,23	9143,965	9134,2075
6	9577,21625	9621,895	9582,53625
7	9772,985	9761,035625	9747,29375
8	9764,475	9761,49	9759,84375
9	9720,935625	9717,521875	9718,3
10	9693,173125	9693,080625	9688,936875

	Drying Tonda Tomana	Drying Tonda Tomana	Drying Tonda Tomana
Harvest Team / Macchine raccoglitrici	32	36	40
4	1666,803125	1677,97375	1687,79125
5	1976,756875	1988,630625	2001,8375
6	2150,555625	2155,544375	2174,27375
7	2304,4025	2304,289375	2306,399375
8	2326,935	2325,81375	2327,544375
9	2337,41875	2339,4825	2339,67875
10	2548,781875	2548,85875	2549,888125

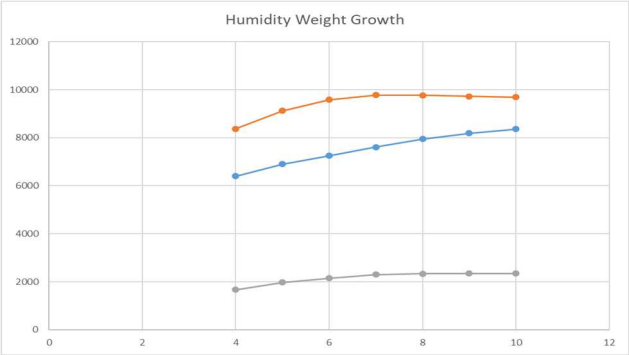
Come descritto in precedenza, anche in questo caso modificare lo scenario relativamente alla raccolta meccanica non ha grossi effetti sul modello ma le differenze principali si riscontrano nel variare i Team di raccolta. In particolare ci sono due aspetti interessanti.

Le differenze principali si riscontrano per la varietà Anakliuri. Tra lo scenario col minor utilizzo di risorse manuali (32 macchine raccoglitrici e 4 Harvest Team) e lo scenario con il maggior utilizzo di risorse manuali (32 macchine raccoglitrici e 10 Harvest Team) vengono portate in impianto circa 19

tonnellate in più di umidità. Le altre due varietà, Giffoni e Tonda Romana, che hanno volumi più ridotti, effettuando lo stesso confronto portano in impianto rispettivamente 13 tonnellate e 9 tonnellate aggiuntive. Complessivamente l'aumento di risorse ha fatto sì che l'impianto lavorasse circa 40 tonnellate di umidità in più all'interno dei Silos.



La varietà Anakliuri è particolarmente interessata da questo fenomeno perché il range di umidità con la quale viene raccolta è molto più ampio rispetto a quello delle altre varietà. Di conseguenza anticipare la sua raccolta e velocizzarla ha un effetto più evidente rispetto a quello che si ottiene sulla varietà Giffoni per esempio, il cui decremento di umidità è più lineare ed appartiene in tutti i casi ad un range più ridotto.



Un altro aspetto interessante riguarda, coerentemente con i tempi totali di processo, la variazione di scarti di umidità che non è proporzionale all'aumento delle risorse. Le varietà Giffoni e TondaRomana, dopo un iniziale incremento di scarti, al variare dello scenario mostrano una quantità di scarto pressochè costante. Lo scarto portato nel processo di Drying dipende infatti dallo stato di maturazione della nocciola nel momento in cui viene raccolta e, considerando che da un determinato scenario in poi il tempo totale di processo non varia, anch'esso segue questo andamento.

La fase di raccolta e le sue tempistiche influiscono sul lavoro in impianto che cresce o diminuisce in base agli scarti raccolti. È possibile, attraverso i dati raccolti con la formula per il calcolo degli scarti

comprendere, sulla base della quantità di umidità portata in impianto la crescita delle ore di lavorazione che ne consegue nella fase di Drying.

La stima si basa su due modelli:

- Il primo mostra, utilizzando a ritroso la formula dell'Agua, la relazione tra la percentuale di umidità persa da ogni Batch e la percentuale in peso persa da ogni Batch in fase di essiccazione.
- Il secondo mostra invece la relazione tra la percentuale di peso persa nella fase di essiccazione da un Drying Batch e le ore di lavorazione necessarie per il processo.

Attraverso l'uso combinato di questi due modelli è possibile ottenere, conoscendo la quantità aggiuntiva di umidità portata in impianto le ore di lavorazione necessarie per smaltirla.

È stata eseguita una regressione lineare per mezzo del seguente procedimento:

La retta risultante ha come equazione

$yi = b_0 + b_1x_1 + \varepsilon_i$

dove

- b_0: intercetta, il valore di Yi quando x_i=0. In questo caso si è assunta un'intercetta pari a 0 in quanto ad una variazione nulla dell'umidità di un Drying Batch corrisponde una variazione nulla di ore di lavorazione dello stesso.
- b_1: pendenza, di quanto cambia Yi quando xi incrementa di un'unità
- εi: l'errore che si commette nella spiegazione della variabile y_i tramite una funzione lineare di x

Si utilizza il metodo dei minimi quadrati che prevede per un determinato set x_i di dati la risoluzione delle seguenti formule per i parametri b_1 e b_0.

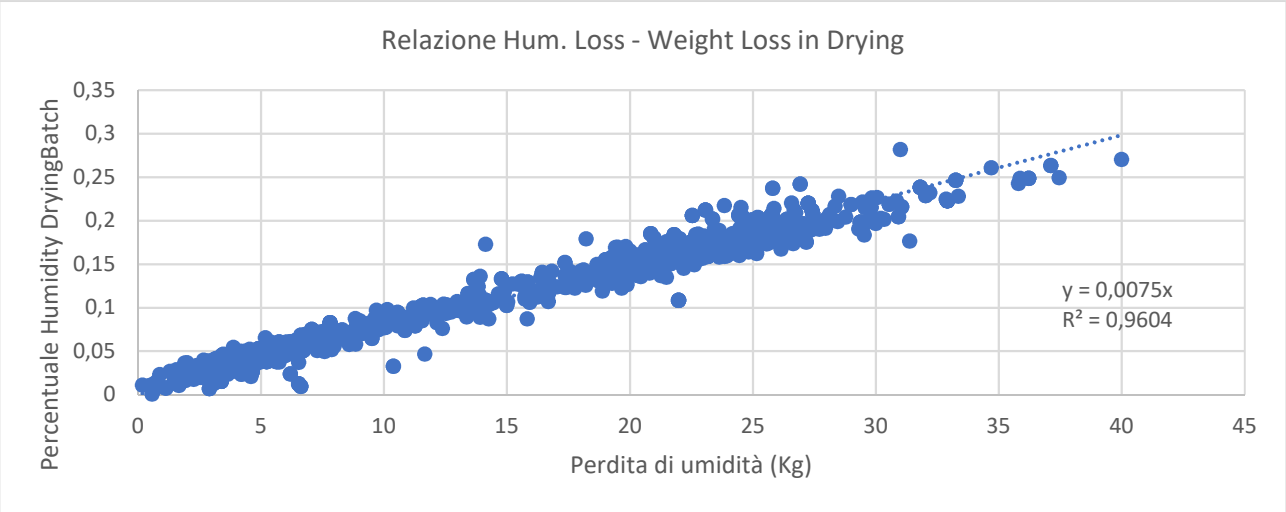
$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}$$

$$b_0 = \bar{y} - b1 * \bar{x}$$

Viene inoltre calcolato l'indice R^2 che indica la bontà della regressione trovata attraverso la seguente formula:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}-\bar{y})}{\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})}$$

La relazione tra la percentuale di umidità persa dal Batch e il relativo peso perso dal Batch in fase di essiccazione è strettamente positiva e lineare, essendo la formula dell'Agua essa stessa lineare.



È stata stimata la seguente retta:

$$y = 0{,}0075x$$

$$y = \text{Hum. Loss}$$

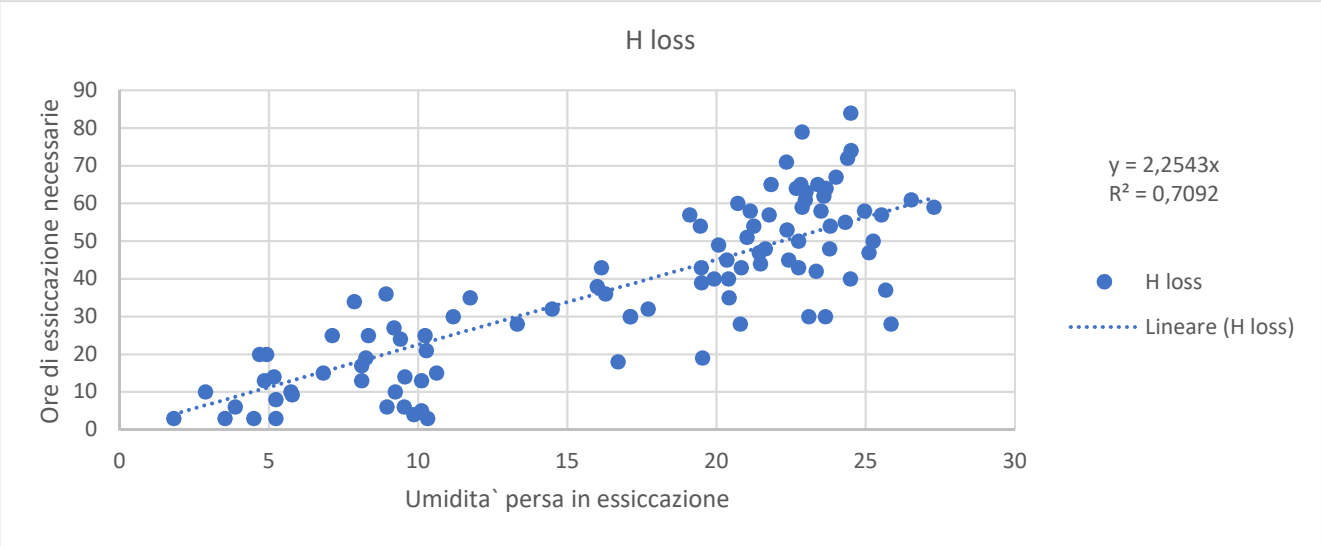
$$x = \text{Weight Loss}$$

Vengono fatte le seguenti assunzioni:

- la produzione di Agrigeorgia è composta da 110 Drying Batch da 17000 Kg ciascuno.
- lo scarto di umidità aggiuntivo da smaltire viene equamente diviso sui 110 Drying Batch.

A questo punto per ogni Drying batch è possibile calcolare la percentuale di scarto aggiuntiva sul peso totale e, successivamente, la relativa variazione di umidità di ciascuno Drying Batch.

Nel seguente grafico viene invece mostrata la relazione tra la percentuale di peso persa nella fase di essiccazione da un Drying Batch e le ore di lavorazione necessarie per il processo.



Questa relazione è stata invece ricavata interpolando le ore di lavorazione eseguite su un determinato Drying Batch e l'umidità persa da quel Drying Batch nel processo. Si è assunto che la retta di regressione seguisse un andamento lineare. L' errore R^2 della regressione ha un valore di 0.71 che è stato ritenuto accettabile. La retta risultante ha il seguente andamento

$$y = 2{,}2543x$$

$$y = \text{Hour}$$

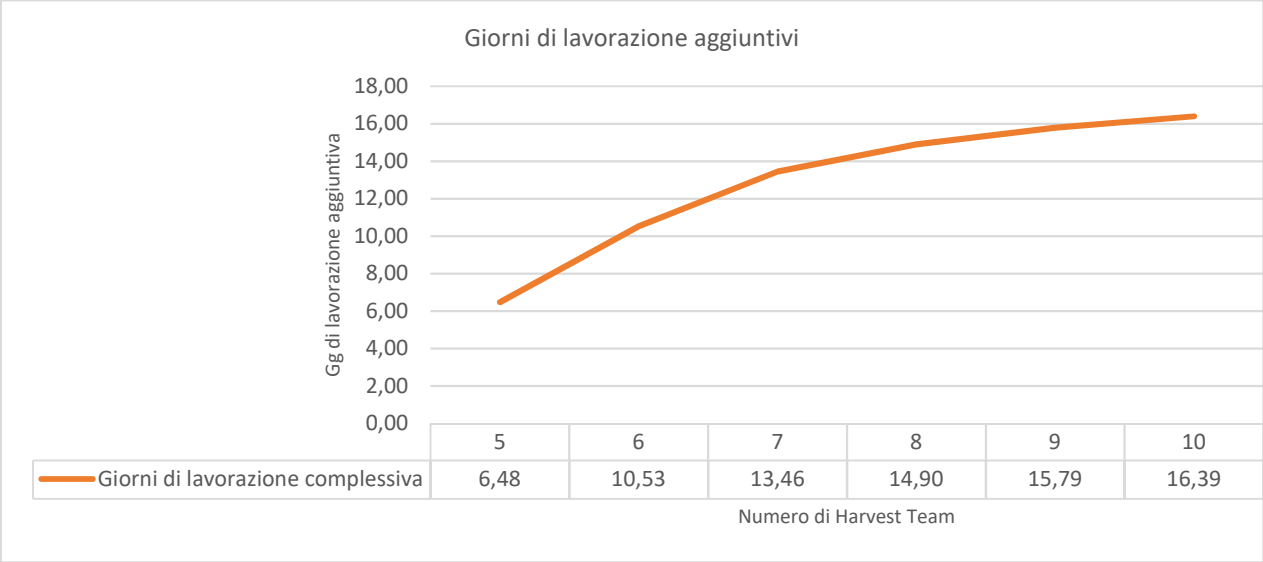
$$x = \text{Humidity Loss}$$

Attraverso questa relazione, essendo lineare, è possibile calcolare la quantità di ore di lavorazione aggiuntive necessarie per ogni Drying Batch.

Va considerato che le ore di lavorazione corrispondono ad un effettivo ritardo nelle attività solamente nel momento in cui l'impianto è a pieno regime pertanto il valore andrebbe decrementato se si vuole ottenere un reale incremento dei tempi totali di processo. Nel caso in cui tutti i Dryer siano in funzione un ritardo nella lavorazione del Drying Batch corrisponde effettivamente ad un ritardo nel processo complessivo. In caso contrario sarebbe possibile distribuire il lavoro su Dryer liberi parallelizzando il lavoro e creando Drying Batch su questi ultimi.

Mantenendo fisso il numero di macchine raccoglitrici (32), si è deciso di raccogliere inoltre i dati in base alla variazione dei Team di raccolta nei differenti scenari. I risultati sono mostrati nella tabella e nel grafico.

Harvest Team / Macchine raccoglitrici	Kg Scarti Drying Process	Giorni di lavorazione complessiva
5	15642,35	6,48
6	25404,94	10,53
7	32471,30	13,46
8	35954,39	14,90
9	38097,37	15,79
10	39562,66	16,39



Come è possibile vedere dalla tabella e dal grafico la lavorazione aggiuntiva ha un andamento crescente a tassi decrescenti all'aumentare del numero di Team di raccolta coinvolti e quindi della velocità del processo. Il valore passa dai 6 giorni ai 16 circa visti in precedenza.

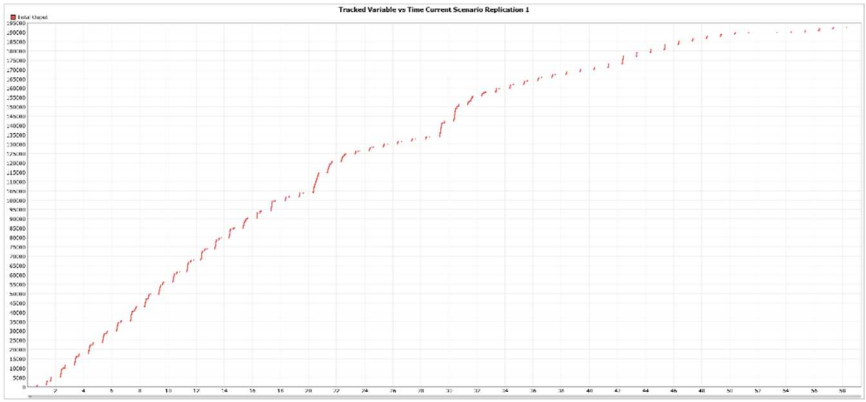
8. CONCLUSIONI

La prioritizzazione delle parcelle fornisce dei notevoli vantaggi in termini di efficienza e velocità del processo. Permette di:

- diminuire complessivamente la durata totale dello stesso. Il miglioramento in termini di tempo è del 6% circa.
- di raccogliere con una maggiore produttività sfruttando su ogni parcella la migliore modalità di raccolta. Mediamente viene raccolto un quantitativo di nocciole giornaliero maggiore del 6% nello scenario con prioritizzazione
- di procedere in linea con la maturazione delle nocciole, decrementando il loro tempo di permanenza in campo. L'indicatore in questo caso presenta un miglioramento del 33%

Il metodo si basa sulla raccolta e l'analisi dei dati storici e parzialmente sui rilievi fenologici pre-raccolta, che pertanto sono di fondamentale importanza per la logica dell'algoritmo ed i suoi risultati.
La simulazione con variazione del numero di risorse ha invece evidenziato come tra le due modalità di raccolta quella che presenta maggiori problemi è la raccolta manuale, che è sottodimensionata rispetto

alle task da svolgere. Lo dimostra il fatto che variare il numero delle risorse relative porta a grandi cambiamenti nel processo. La variazione del numero di macchine raccoglitrici non è invece particolarmente "interessante" perché l'attuale numero è pienamente in grado di svolgere le relative mansioni. L'aumento di risorse permette di ridurre la durata del processo in modo da garantire la chiusura delle attività entro Settembre. In particolare nello scenario con il maggior numero di Team di raccolta la quasi totalità delle nocciole viene raccolta entro i 51 giorni, come è possibile vedere dal seguente grafico, che mostra l'Output totale in uscita dalle linee. Questo scenario garantisce inoltre un notevole decremento dei tempi di permanenza in campo delle nocciole.



Tutto ciò però ha notevoli influssi sulla restante parte del processo. In particolare:

- I magazzini, sia di campo che di impianto, vedono un flusso medio in entrata maggiore. La loro giacenza media e massima cresce in maniera significativa. Si dovrebbe tener conto di questo nel loro dimensionamento, specialmente per quanto riguarda il magazzino dell'impianto.
- Il collo di bottiglia del processo all'aumentare della numerosità delle risorse di raccolta cambia. Il flusso a monte proveniente dalla raccolta non viene più assorbito totalmente dalle risorse a valle del processo, in particolare da quelle che si occupano del trasporto campo-impianto. è particolarmente interessante il fatto che già con l'aggiunta di un solo Team di raccolta i tempi totali delle attività scendano già fino a 54 giorni che è comunque un valore soddisfacente.
  Tuttavia lo scenario non è comunque il migliore per via dei tempi di permanenza in campo. Sulla base di questo indicatore i vantaggi iniziano a diventare veramente importanti con l'aggiunta di 3 Team di raccolta che portano il valore a decrescere del 65% circa.
- Il problema dell'umidità e della relativa lavorazione in impianto nel processo di essiccazione potrebbe risultare bloccante per la fluidità del processo. Anticipare la raccolta rispetto alla naturale maturazione costringe i Dryer a molte ore di lavorazione aggiuntive. Questa fase non è stata inclusa nel modello di simulazione. Nell'ottica di ridurre la permanenza in campo delle nocciole si predilige in tutti i casi scenari con una durata totale del processo ed uno Staytime di campo minori, ma va tenuto conto che, visti i risultati, la fase più lenta potrebbe diventare

quest'ultima. Questo andrebbe tenuto in considerazione nel dimensionamento del magazzino di impianto che andrebbe ampliato ulteriormente, sulla base dei dati raccolti.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Agostino Villa - *Analisi e Gestione dei sistemi di produzione industriale* - 2006

Atzeni, Ceri, Paraboschi, Torlone – 'Basi di dati - Modelli e linguaggi di interrogazione', 3 ed., McGraw Hill, 2009

Regolamento (Ce) N. 178/2002 del Parlamento Europeo e del Consiglio