



*Accademia dei Georgofili*

*Sezione Nord-Ovest*

1

## **Seminario**

# **Contributo della logistica e della meccanizzazione per la competitività del settore agricolo**

Quaderno

*Venerdì 27 Febbraio 2009, ore 15.00*

Sala Camera Commercio – Alessandria

## ***Presentazione***

*Piero Martinotti*, Presidente CCIAA Alessandria

*Paolo Filippi*, Presidente Provincia Alessandria

*Davide Sandalo*, Assessore all'Agricoltura Provincia di Alessandria

*Giuseppe Pellizzi*, Presidente Accademia dei Georgofili, sezione Nord-Ovest

## ***Relazioni***

*Pietro Piccarolo*, DEIAFA, Università degli Studi di Torino, Accademico Ordinario - **Strategie di gestione della meccanizzazione e importanza della logistica**, .....pag. 3

*Remigio Berruto*, DEIAFA, Università degli Studi di Torino – **Aspetti tecnici, economici, energetici ed ambientali negli studi di logistica delle operazioni agricole**, .....pag. 11

*Patrizia Busato*, DEIAFA, Università degli Studi di Torino – **Applicazione della logistica nella filiera cerealicola**, .....pag. 22

2

## ***Moderatore***

*Giuseppe Concaro*, Amministratore Delegato CADIR LAB S.r.l.

# Strategie di gestione della meccanizzazione e importanza della logistica

Pietro Piccarolo

L'importanza di una corretta gestione della meccanizzazione a livello, sia di singola azienda, sia di contoterzista, deriva da diversi fattori. In particolare:

- Il diverso trend del costo dei fattori produttivi e del prezzo dei prodotti agricoli, che penalizza la formazione del reddito;
- L'esigenza di effettuare le diverse operazioni entro il periodo utile, attraverso interventi tempestivi consentiti da macchine con elevate capacità di lavoro;
- Macchine che sempre più inglobano alta tecnologia e sempre più aumentano la potenza e la capacità di lavoro e che, per questo, richiedono investimenti significativi.

All'evoluzione delle macchine corrispondono prezzi di mercato delle macchine elevati, per cui l'acquisto di un trattore a 4RM richiede mediamente un investimento di 600-700 €/CV e quello di una mietitrebbiatrice di 700-800 €/CV. Ne deriva che occorre sapere coniugare l'efficienza delle prestazioni con l'investimento finanziario, in modo da riuscire ad aumentare la competitività dell'azienda e dell'impresa.

Da qui l'importanza non solo della scelta del parco macchine ma anche della gestione dello stesso al fine di arrivare ad una riduzione dei costi.

## Il costo di esercizio annuo (€/anno) o orario (€/h)

Nel costo d'esercizio rientrano i costi fissi e cioè deprezzamento ed interesse sul capitale investito, assicurazioni, tasse, ricovero e i costi proporzionali all'uso, quali il combustibile, la manutenzione e riparazione, la manodopera.

### I costi fissi

Le voci del deprezzamento e dell'interesse sul capitale sono le più significative e sono soprattutto influenzate dalla durata della macchina. Questa dipende dalla vita utile (trattori di 8000-10000 ore, mietitrebbiatrici di 2500-3000 ore, altre operatrici di 1500-2500 ore) e dall'impiego annuo (**Figura 1**).

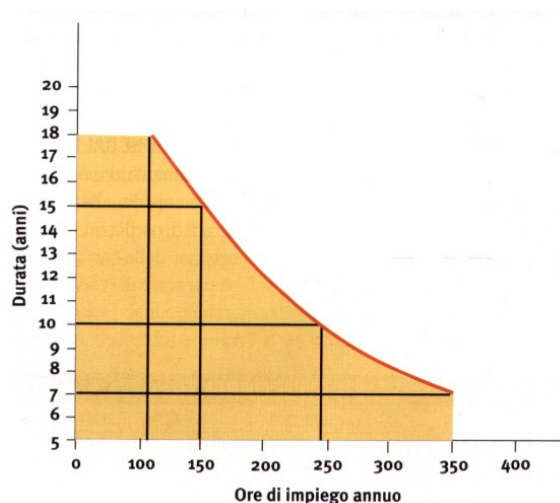
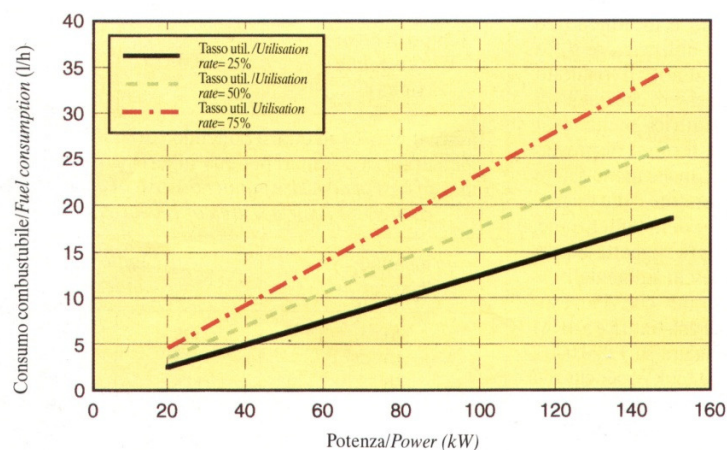


Fig. 1 - Relazione tra ore di impiego annuo e anni di durata delle mietitrebbiatrici

## Costi variabili

Tra i costi variabili il costo del consumo orario di combustibile (kg/h) ha una forte variabilità in funzione del tipo di impiego del trattore. Nei casi estremi (minor consumo, maggior consumo), considerando solo differenza del consumo orario e non valutando la maggiore usura che un lavoro pesante comporta rispetto a uno leggero, il maggior costo orario del lavoro che richiede più impiego di potenza è dell'ordine dei 10 € per un trattore da 170 CV e di 3 € per un trattore da 40 CV (**Figura 2**).



**Fig. 2** - Andamento dei consumi orari di combustibile per differenti classi di potenza in funzione del tasso di utilizzazione della potenza

I dati riportati nella **Tabella 1** consentono di vedere la variazione dell'indice del costo orario del trattore per diverse classi di potenza in funzione dell'impiego annuo. Si può rilevare come la classe di maggior potenza (130-135 CV) abbia costi orari, a parità di utilizzo annuo, quasi tre volte superiori a quelli di potenza inferiore (45-50 CV). Nell'ambito della stessa classe il basso utilizzo annuo (300 ore) comporta costi orari quasi doppi rispetto all'impiego di 900 ore all'anno. Va però fatto rilevare che per ottenere una riduzione del costo del 10% l'incremento di utilizzo del trattore deve essere del 30%, mentre per conseguire una riduzione del 30% l'incremento dell'impiego annuo deve raggiungere il 70% (**Figura 3**)

**Tabella 1:** Variazione dell'indice del costo orario ponendo pari a 100 il costo del trattore da 45-50 CV

Impiego (h/anno)	Durata (anni)	Indice		
		45-50 CV	85-90 CV	130-135 CV
300	20	180	355	480
500	16	130	260	350
700	12	110	220	300
900	10	100	200	280

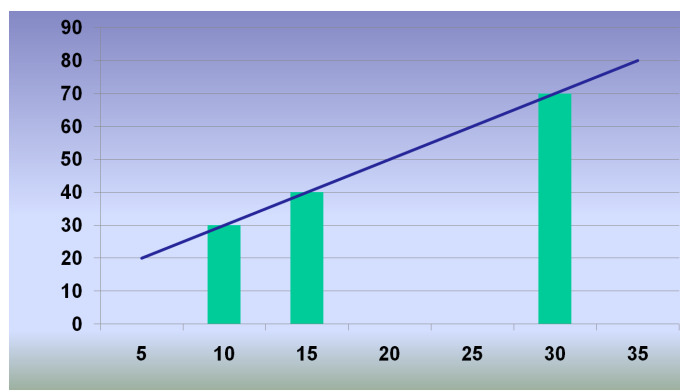


Fig. 3 - Relazione tra la riduzione del costo orario di esercizio del trattore e l'incremento dell'utilizzo dello stesso

Uno studio condotto in Germania dal KTBL dimostra che per abbassare il costo del 10% il tasso di utilizzazione della macchina, cioè il rapporto tra le ore annue di effettivo impiego e le ore di impiego ottimale (ad esempio 10000 per il trattore), per avere lo stesso risultato produttivo e a parità di condizioni, deve crescere del 20%. Per una ulteriore riduzione del costo, la crescita del tasso non è lineare ma più che proporzionale.

Questi dati indicano dunque che, per ottenere una riduzione significativa dei costi orari l'incremento di utilizzo deve essere rilevante. Questo è più difficile da realizzare per il privato, mentre il contoterzista può avere più possibilità.

La **Tabella 2**, evidenzia i costi di esercizio dei trattori per due diversi scenari inerenti una stessa azienda:

- il primo, riferito a un solo trattore da 74 CV impiegato in tutti i lavori aziendali per un totale di 1000 ore all'anno;
- il secondo, riferito a due trattori di cui quello di maggiore potenza (82 CV) viene impiegato per 300 ore all'anno solo nei lavori più pesanti, mentre quello di minore potenza (39 CV) ha un impiego annuo nei lavori più leggeri di 640 ore.

Il secondo scenario comporta, rispetto al primo, un più razionale impiego in termini di utilizzazione della potenza ma, per contro, si traduce in un prolungamento della durata dei due trattori che va oltre quella che viene definita "obsolescenza tecnica" (10 anni). Il risultato economico, cioè il raffronto tra il costo totale annuo, comunque, premia la soluzione coi due trattori consentendo, rispetto all'impiego di un solo trattore, un risparmio annuo di 700 €. Va però detto che cambiando le ore di lavoro dei due trattori, il risultato può essere diverso. In particolare se aumentano le ore del trattore con maggior potenza e si riducono quelle del trattore di minore potenza i costi totale dell'azienda che ha i due trattori aumenteranno. È comunque indubbio che con due trattori si ha una maggiore flessibilità nella pianificazione del lavoro e un minor rischio di interruzione per guasti o rotture.

**Tabella 2: Costo di esercizio di due trattori (escluso manodopera)**

Elementi/scenario	Unità di misura	Valori	
<b>1 trattore 4RM</b>			
Potenza	CV (kW)	74 (54,4)	
Impiego annuo	h/anno	1000	
Durata valutata	anni	10	
Valore iniziale	€	40000	
Saggio di interesse	%	5	
Costo orario	€/h	14,46	
Costo annuo	€/anno	14460	
Costi fissi	%	32,5	
Costi variabili	%	67,5	
<b>2 trattori 4RM</b>			
Potenza	CV (kW)	82 (60,3)	39 (28,7)
Impiego annuo	h/anno	300	640
Durata valutata	anni	18	13
Valore iniziale	€	48000	20000
Saggio di interesse	%	5	5
Costo orario	€/h	26,35	9,14
Costo annuo	€	7900	5850
Costi fissi	%	48,5	34
Costi variabili	%	51,5	66
Costo annuo totale A+B	€/anno	13760	
<b>Con due trattori A+B risparmio di 700 €/anno</b>			

La **Tabella 3** riassume la valutazione dei costi nell'ipotesi di vendita del trattore prima del raggiungimento delle ore di vita utile (8-10000). L'esempio è riferito al trattore da 82 CV già considerato, impiegato 1200 ore/anno (si pensi a un contoterzista), che viene venduto al 5° anno, quando il trattore ha lavorato per 6000 ore. Il maggior costo annuo che si viene ad avere rispetto a un impiego previsto di 9 anni è di 1500 €; in compenso, si potrà usufruire di un nuovo trattore più moderno, con consumi più bassi, meno inquinante, più confortevole e con meno rischi di arresti per rotture o guasti. Per contro, chi ha un basso utilizzo (300 ore/anno), potrebbe acquistare il trattore usato di 5 anni e impiegarlo per altri 10-12 anni. Questo utente, rispetto all'acquisto dello stesso trattore nuovo, grazie al minore investimento avrebbe un risparmio di 2200 € all'anno.

**Tabella 3: Costi di esercizio di uno stesso trattore (escluso la manodopera)**

Trattore 4RM – Potenza 82 CV (60,3 kW)			
Elementi	Unità di misura	Valore	
		A	B
<b>Trattore nuovo</b>			
Valore all'acquisto	€	48000	
Impiego annuo	h/anno	1200	
Saggio d'interesse	%	5	
Anni di impiego	anni	5	9
Valore finale	€	15000	4500
Costo orario	€/h	19,16	17,91
Costo annuo	€/anno	23000	21500
Costi fissi	%	37	32
Costi variabili	%	63	68
<b>Trattore usato</b>			
Valore all'acquisto	€	15000	
Impiego annuo	h/anno	300	
Saggio d'interesse	%	5	
Anni di impiego	anni	10	
Valore finale	€	2800	
Costo orario	€/h	19,00	
Costo annuo	€/anno	5700	
Costi fissi	%	31	
Costi variabili	%	69	

Maggior costo annuo con vendita al 5° anno:  
23000-21500=1500 €/anno

Minor costo con l'acquisto dell'usato rispetto al nuovo:  
7900-5700=2200 €/anno

È evidente che i risultati commentati derivano dalle valutazioni assegnate ai diversi elementi che entrano nel calcolo dei costi. Vanno quindi intesi come risultati conseguibili nelle condizioni ipotizzate e non aventi validità generale; quello che va compreso è il criterio di valutazione che ha portato a questi risultati.

### Costo dell'operazione

Nel calcolo del costo dell'operazione, che viene espresso in €/ha o in €/t, occorre mettere in conto, oltre al costo d'esercizio, anche i costi definiti indiretti, cioè quei costi legati:

- all'impatto ambientale e cioè inquinamento provocato dai gas di scarico, dal rumore, ecc.;
- al confort e alla sicurezza del lavoratore e cioè all'incidenza degli incidenti, delle malattie professionali, ecc.;
- alla qualità del lavoro e cioè perdite, sprechi, ecc.;
- alla tempestività e cioè alla capacità di lavoro che consente di svolgere l'operazione nei giorni che sono disponibili nel periodo utile di esecuzione dell'operazione stessa.

L'incidenza di questi costi non è di facile quantificazione ma è indubbio però che elementi come la sicurezza, la qualità del lavoro e le emissioni andranno comunque considerati nella scelta delle macchine.

La possibilità di effettuare l'operazione entro il periodo utile è legata anzitutto alla capacità di lavoro della macchina, ma anche al livello di assistenza per garantirsi dai pericoli di fermo macchina per guasti o rotture. Uscendo dal periodo utile (anticipo o ritardo) aumentano le perdite e quindi anche i costi dell'operazione (Figure 4 e 5). Questo è forse più evidente nelle operazioni di raccolta, ma è valido anche in molte altre operazioni. Basti pensare che cosa può comportare un trattamento ritardato o una semina fuori dal periodo utile. Questo spiega il ricorso a macchine con sempre maggior capacità di lavoro; macchine che difficilmente sono alla portata della singola azienda, per cui occorre rivolgersi al contoterzista.

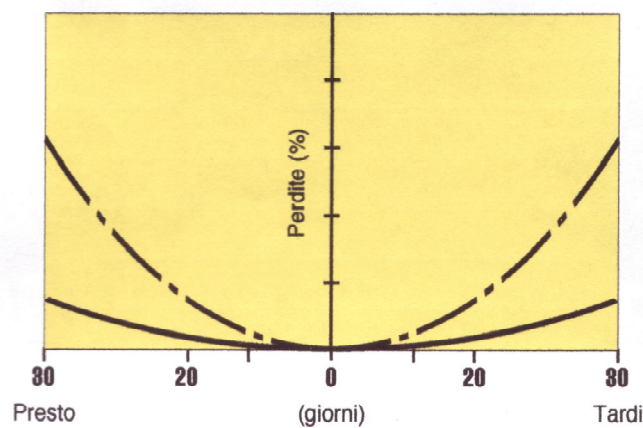


Fig. 4 - Le perdite di produzione aumentano quando l'operazione viene eseguita fuori dal periodo utile

### Costo totale dell'operazione

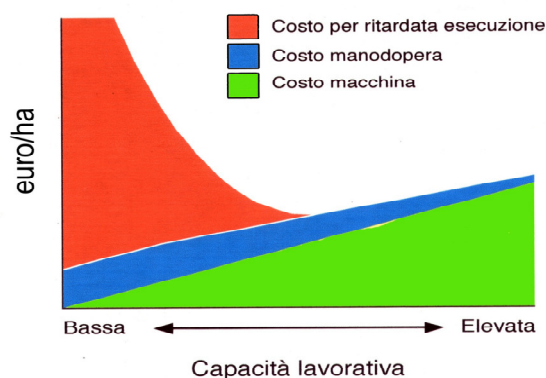


Fig. 5 - andamento dei costi d'esercizio e indiretti (G. Siemens)

### Importanza della logistica

Nella gestione della meccanizzazione la determinazione dei costi d'esercizio e dei costi dell'operazione è dunque necessaria ma ancora insufficiente per fornire una valutazione complessiva.

Per fare questo è necessario valutare l'intera filiera del processo considerato. È cioè necessario avere un approccio di sistema; approccio tipico della logistica, col quale considerare non solo le operazioni di campo ma anche quelle di trasporto e stoccaggio.

Così, nella valutazione dell'efficienza della capacità di lavoro, ad esempio dell'operazione di mietitrebbiatura, è riduttivo considerare il lavoro della sola mietitrebbiatrice; occorre invece mettere in conto anche il cantiere di trasporto.

Occorre cioè considerare non un solo elemento della filiera di raccolta ma l'intera filiera.

L'insufficiente dimensionamento del cantiere di trasporto influisce infatti negativamente sulla capacità di lavoro della mietitrebbiatrice; per contro, un cantiere di trasporto sovradimensionato non porta vantaggi ma si traduce in un aggravio dei costi.

Rilievi eseguiti sul cantiere di mietitrebbiatura del riso con una mietitrebbiatrice con barra di taglio di 6,7 m, ipotizzando per il trasporto della granella all'essiccatoio un numero diverso di rimorchi della capacità di 8 tonnellate, hanno dimostrato, in funzione di distanze per il trasporto crescenti, che con un solo rimorchio, già con distanze inferiori a 1 km la capacità ottimale di lavoro della mietitrebbiatrice (1,62 ha/h) si riduce. Per distanze di 6,5 – 7 km la capacità viene più che dimezzata (Figura 6).



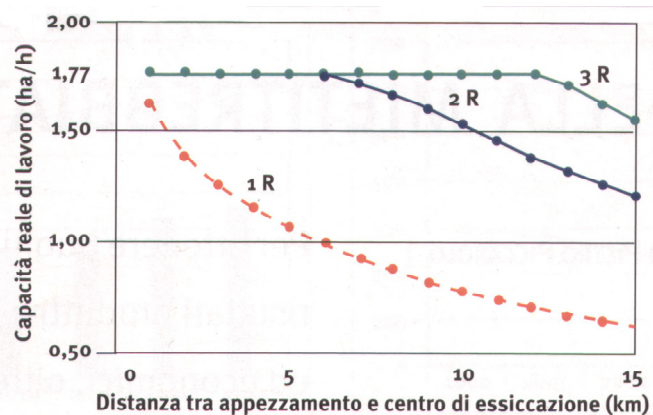


Fig. 6 - Influenza del numero di mezzi di trasporto sulla capacità di lavoro della mietitrebbiatrice per distanze crescenti di trasporto

Nella scelta della filiera ottimale bisognerebbe considerare anche l'impatto ambientale, per cui, in funzione delle reali condizioni operative, deve essere messo in conto, non solo il costo unitario della raccolta (€/t) ma anche le emissioni di CO<sub>2</sub> e la spesa energetica per unità di prodotto raccolto, cioè CO<sub>2</sub>/t e MJ/t.

Particolarmente interessante è il programma di simulazione IBSAL (S. Sokhansanj *et al.*, 2008), utilizzato per valutare, anche sotto l'aspetto ambientale e logistico, la raccolta degli stocchi di mais dopo la mietitrebbiatura della granella nello Iowa. Negli scenari è stato ipotizzato di conferire la biomassa raccolta ad una bioraffineria per la produzione di biocombustibile di seconda generazione (Figura 7).

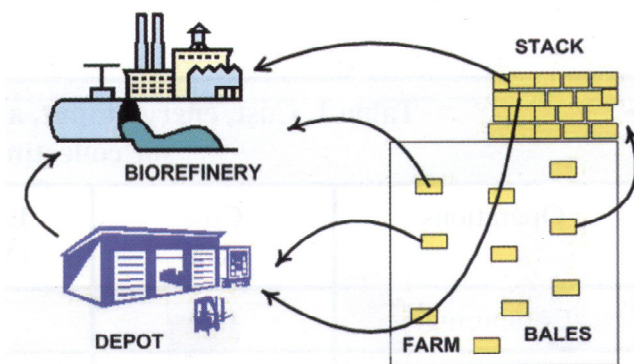


Fig. 7 - Schema generale di conferimento della biomassa residua dalla mietitrebbiatura del mais a una bioraffineria (S. Sokhansanj)

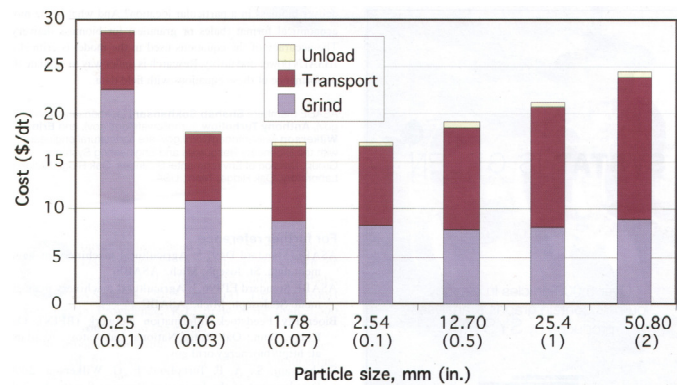
La Tabella 4 riporta i costi, la spesa energetica e le emissioni di CO<sub>2</sub> dell'intera filiera, dalla raccolta allo stoccaggio. Le operazioni di trinciatura e imballatura nel loro insieme sono quelle che incidono di più. Esse rappresentano il 74% del costo totale, pari a 30,57 \$/t s.s. e l'80% della spesa energetica e dell'emissione di CO<sub>2</sub> pari, rispettivamente, a 341,2 MJ e 7,22 kg di CO<sub>2</sub> per tonnellata di sostanza secca.

Sotto l'aspetto più prettamente logistico, il modello è stato applicato per stabilire quale è la migliore lunghezza di trinciatura al fine di ridurre il costo complessivo della filiera. I valori di costo riportati in tabella 4 sono riferiti a una lunghezza di trinciatura di 0,25 mm. Con questa lunghezza le balle hanno maggiore densità per cui si riducono i costi di trasporto riferiti a una distanza di 60 km. Applicando il modello si è visto che quella dei 0,25 mm è la soluzione più costosa per la forte incidenza delle operazioni di trinciatura e imballatura. La soluzione più economica invece, risulta quella con lunghezza di trinciatura di 1,78 mm (ed

anche di 2,54 mm), che consente di ridurre il costo dell'intera filiera del 40% circa (**Fig. 8**). Viene così confermato che solo con un approccio di sistema si può individuare la migliore soluzione.

**Tabella 4:** Schema generale di conferimento della biomassa residua dalla mietitrebbiatura del mais a una bioraffineria (S. Sokhansanj)

Operazioni	Costo (\$/t ss)	Energia (MJ/t ss)	CO <sub>2</sub> (kg/t ss)	Quantità netta (t ss/ha)
Raccolta (*)	1,93	21,1	0,45	8,4
Trinciatura	4,81	82,7	1,75	7,7
Imballatura	17,46	188,8	3,99	6,8
Trasporto e impilamento	3,54	48,6	1,03	6,5
Stoccaggio	2,84	-	-	5,8
Totale	30,57	341,2	7,22	-



**Fig. 8 -** Influenza della lunghezza di trinciatura della biomassa residua dalla mietitrebbiatura del mais sui costi (S. Sokhansanj)

# Strategie di gestione della meccanizzazione e importanza della logistica

Remigio Berruto

## Introduzione

Anzitutto voglio esprimere un ringraziamento all'Accademia dei Georgofili che ci ha dato la possibilità di presentare questa tematica, per la prima volta in Italia al di fuori di convegni internazionali. In particolare, ringrazio il professor Pellizzi e il professor Piccarolo per aver creduto nell'importanza della logistica in agricoltura, permettendo di divulgare questi risultati attraverso un seminario, in linea con il pensiero dell'Accademia stessa di creare un legame tra gli studiosi e le problematiche del territorio agricolo e delle aziende. Un rapporto importante che consente di mantenere lo studio ad un livello applicativo, fruibile anche da tecnici e agricoltori.

Quella che presenteremo è una metodologia all'avanguardia per valutare innovazioni o tecnologie in agricoltura con approccio di sistema, considerando l'aspetto tecnico, economico e ambientale. L'ambiente è una priorità e l'agricoltura attraverso una migliore gestione delle risorse può fare molto in questo ambito. Ridurre l'impatto ambientale è ritenuto di importanza prioritaria a livello europeo ed è ormai supportato da finanziamenti dedicati e supporto da parte di enti pubblici.

Le sfide più importanti della logistica in agricoltura riguardano procedure che possono ridurre l'efficienza dei processi produttivi quali la tracciabilità, che necessita di tempi di lavoro superiori e richiede a volte un sottoutilizzo della capacità di lavoro del cantiere. Per contro, si utilizzano per la raccolta macchine sempre più grandi che richiedono sistemi di trasporto più capaci. Anche i reflui zootecnici sono una problematica rilevante in termini di trasporto. In campo agroalimentare la logistica è particolarmente interessante per *supply chain* di prodotti deperibili, al fine di ottenere maggiore quantità ma soprattutto migliore qualità al punto vendita. L'approccio di qualità è importante e una riduzione dei tempi di trasporto consente di raccogliere prodotto più maturo e quindi più gradito al consumatore, in modo particolare per il prodotto locale. Altro aspetto importante è il contenimento delle emissioni attraverso l'aumento dell'efficienza delle operazioni agricole. Quando parliamo di conferimento di un prodotto, parliamo di un sistema di macchine che comprende la raccolta, il trasporto, lo stoccaggio ed eventualmente l'essiccazione del prodotto.

In questo contesto parliamo di operazioni logistiche ovvero fondamentalmente di trasporto e di organizzazione del lavoro dei mezzi in agricoltura. È chiaro che i trasporti hanno un'incidenza diversa a seconda della distanza degli appezzamenti rispetto al centro aziendale. In un'azienda risicola, ad esempio, l'incidenza delle operazioni logistiche varia da un minimo del 3% con appezzamenti accorpati per arrivare fino al 13% per appezzamenti siti a 3 km di distanza (Figura 1). Anche l'elevato livello di produzione, come nel caso del mais da granella o da trinciato, influenza in modo sensibile il trasporto.

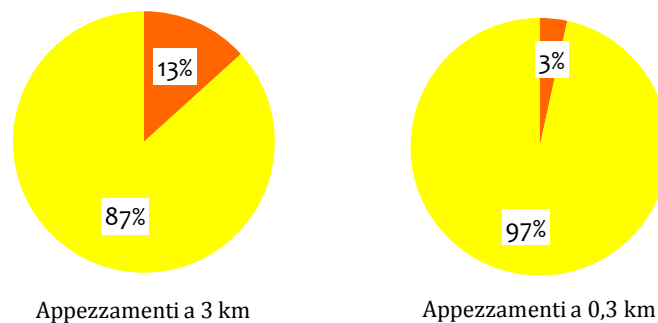


Fig. 1 – Incidenza operazioni logistiche di raccolta e trasporto in un'azienda risicola

La logistica ha come obiettivo la pianificazione, l'organizzazione e il controllo dei processi, per una gestione più efficiente del flusso di beni e informazioni lungo la *supply chain*. In particolare, nella presentazione verrà fatta una carrellata generale di quello che viene svolto relativamente agli aspetti di trasporto e di organizzare dei cantieri, argomento investigato da tempo dal professor Piccarolo.

Il fondamento del concetto di logistica integrata è rappresentato dalla minimizzazione del costo totale delle attività logistiche viste nel loro complesso, dato un obiettivo di livello di servizio da garantire e considerando i vincoli tecnici di impiego delle risorse. Le operazioni logistiche che descrivono una parte o l'insieme della *supply chain* sono organizzate a costituire un sistema. Il sistema ha le seguenti proprietà: complessità – è caratterizzato da molte relazioni tra gli oggetti che lo compongono; interattività – è costituito da un numero di componenti che interagiscono reciprocamente; dinamicità – il comportamento varia nel tempo.

L'approccio di sistema è il processo che si riferisce allo studio del sistema nel suo complesso, piuttosto che all'esame delle singole operazioni dei suoi componenti. La simulazione è lo strumento che consente di valutare un sistema attraverso l'implementazione di un modello che ne imita il comportamento. Simulare l'intero sistema consente di valutare le interazioni degli oggetti che lo compongono e di ottenere come risultato la performance dell'insieme. La simulazione si utilizza nei casi in cui non ci siano delle soluzioni analitiche del problema. Attraverso la simulazione è possibile comprendere meglio il comportamento del sistema, individuare i fattori limitanti e sperimentare nuovi scenari al fine di migliorarne la performance. La variazione degli scenari può riguardare l'incremento delle risorse o la diversificazione di strategie concernenti l'utilizzo delle stesse.

### **Casi di studio**

La ricerca ha riguardato la messa a punto di modelli di simulazione e di metodologie per lo studio della logistica intra-aziendale nelle operazioni post-raccolta dei prodotti agricoli.

12

Il primo caso di studio presentato si riferisce alla definizione del fabbisogno dei mezzi per fare tracciabilità durante la fase di raccolta e trasporto del riso in un'azienda risicola di 215 ha. Nuove mietitrebbie sempre più veloci e produttive sono state introdotte sul mercato, alcune di queste possono raggiungere i 10 ha/ora di capacità di lavoro. Il sistema di trasporto e stoccaggio deve essere adeguatamente dimensionato per fare fronte a questa elevata capacità oraria. Le operazioni di tracciabilità e la gestione separata dei lotti di prodotto per contro penalizzano la produttività delle macchine, inclusi i trasporti. Per la tracciabilità di coltura, quella tradizionalmente attuata, con due rimorchi a disposizione per il trasporto l'attesa in campo della mietitrebbia è pari al 5% del tempo totale di lavoro. Se invece analizziamo la tracciabilità di campo, dove al termine della raccolta di ogni appezzamento è necessario lo svuotamento della tramoggia della mietitrebbia e quello dei rimorchi, oltre al problema dello stoccaggio poco utilizzato in azienda, abbiamo un incremento dell'attesa all'11% per la mietitrebbia (**Figura 2**).

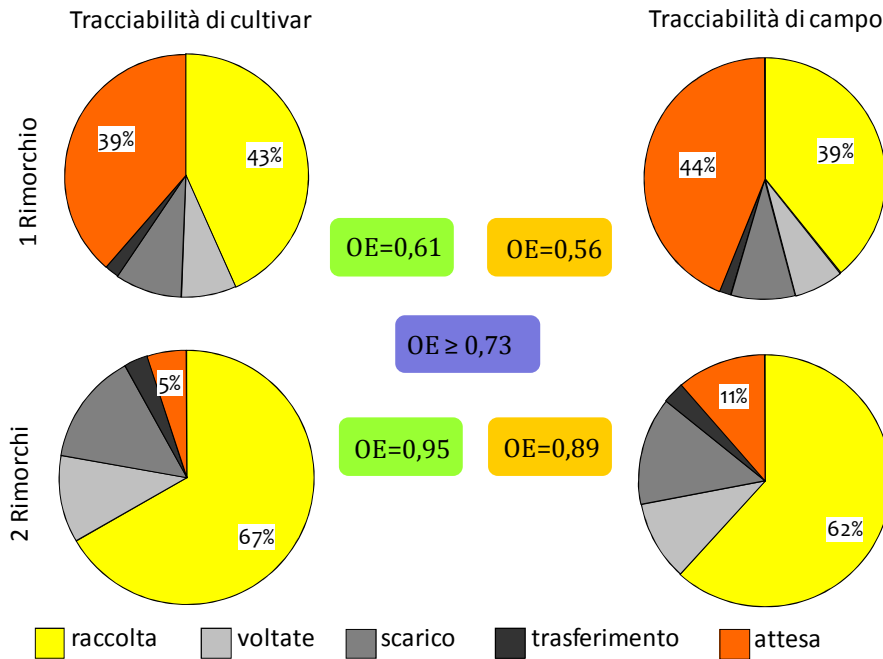


Fig. 2 – Tempi di lavoro ed efficienza operativa tracciabilità di cultivar verso tracciabilità di campo

Come citava il professor Piccarolo nel precedente intervento, occorre avere un'efficienza elevata per avere una buona tempestività nella raccolta. Nel caso specifico, con 27 giorni disponibili per raccogliere una superficie di 215 ha, con una mietitrebbia con barra di taglio di 6,5 m occorre un'efficienza operativa media di 0,73. Per avere questi risultati, considerando i singoli appezzamenti, vediamo come la tracciabilità di cultivar consenta di utilizzare fino a 9 km un solo rimorchio, mentre oltre ai 9 km sono necessari due rimorchi (Figura 3) per garantire tale livello di efficienza.

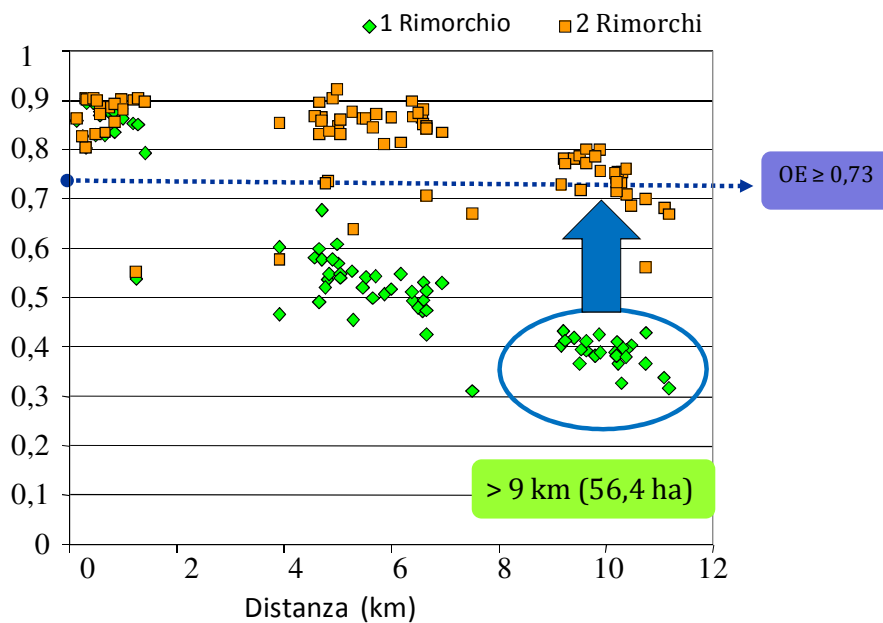


Fig. 3 – Efficienza cantiere di raccolta del riso su base aziendale

Se invece si opera la tracciabilità di campo, oltre i 6 km di distanza, occorre avere a disposizione due rimorchi (Figura 4).

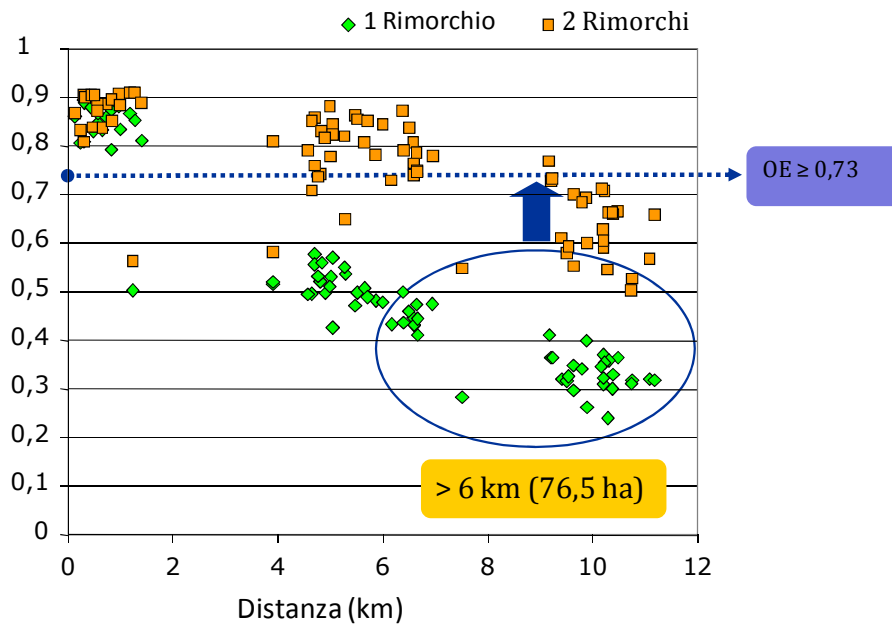


Fig. 4 – Efficienza cantiere di raccolta del riso su base aziendale

Da un punto di vista economico, la tracciabilità delle partite sul singolo appezzamento coltivato a riso, determina un aumento dei costi delle operazioni di raccolta e trasporto di circa 14 €/ha, pari al 7% circa (Figura 5).

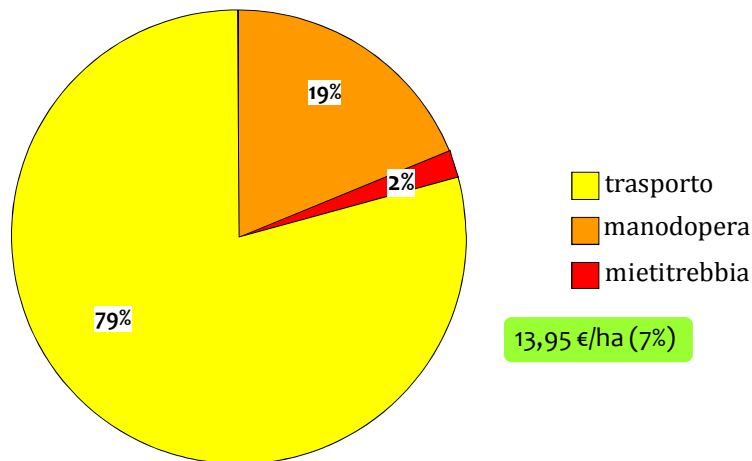


Fig. 5 – Incremento di costi per passare alla tracciabilità del singolo campo

La macchina limitante nel sistema è quella che ne condiziona la produttività. E' bene che le macchine per la raccolta (mietitrebbiatrici, falcia-trincia-caricatrici) possano operare in modo continuativo, con tempi di attesa minimi, in quanto rappresentano il costo maggiore. Ciò si ottiene con un adeguato dimensionamento dei mezzi di trasporto, tenendo conto di distanze e produzioni unitarie. Come possiamo vedere, i tempi di lavoro minimi ai quali corrisponde la massima capacità del cantiere, per una falcia-trincia-caricatrice a 6 file da mais risultano essere pari a 0,6 h/ha, e aumentano quando il sistema di trasporto comincia ad essere

sottodimensionato rispetto alla produttività della macchina (Figura 5). Considerando la disponibilità di sei rimorchi, il tempo di utilizzo del cantiere inizia ad aumentare dopo i 7 km. Se i rimorchi a disposizione sono solo due, già a partire dal primo chilometro i tempi di utilizzazione del cantiere sono più elevati, ad indicare delle attese per la falcia-trincia-caricatrice. Se questi diventano troppo elevati, il cantiere non riuscirà a completare l'operazione di raccolta nei giorni disponibili per farlo. Per aumentare la capacità delle macchine occorre quindi aumentare la capacità del sistema di trasporto. Volendo mantenere ad esempio un tempo di lavoro inferiore ad 1 h/ha, occorrono 2 rimorchi fino a 3 km, 3 rimorchi da 4 a 6 km, e così via. Il grafico consente così di individuare il dimensionamento ottimale per ogni distanza alla quale si deve raccogliere il prodotto. L'impiego della manodopera è funzione sia del numero di addetti che dell'efficienza del cantiere. Nel caso in Figura 6, quando il cantiere è sovradimensionato, (6 rimorchi per il trasporto del silo mais fino a 7 km) gli impieghi di manodopera sono più elevati delle opzioni correttamente dimensionate. A distanze di trasporto maggiori (ad esempio 10 km), l'uso di 6 rimorchi è quello che presenta tempi di impiego della manodopera più ridotti (5,5 h/ha), mentre se si avessero solo due rimorchi a disposizione gli impieghi di manodopera sarebbero di circa 8 h/ha.

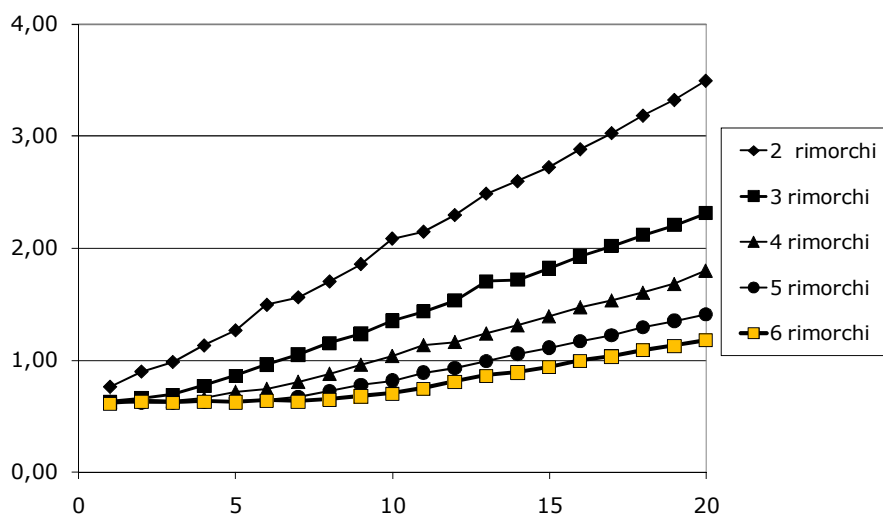


Fig. 5 – Andamento dei tempi di utilizzazione del cantiere di raccolta del silo mais (ore/ha), al variare della distanza e del numero di rimorchi per il trasporto (portata 3.6 t SS)

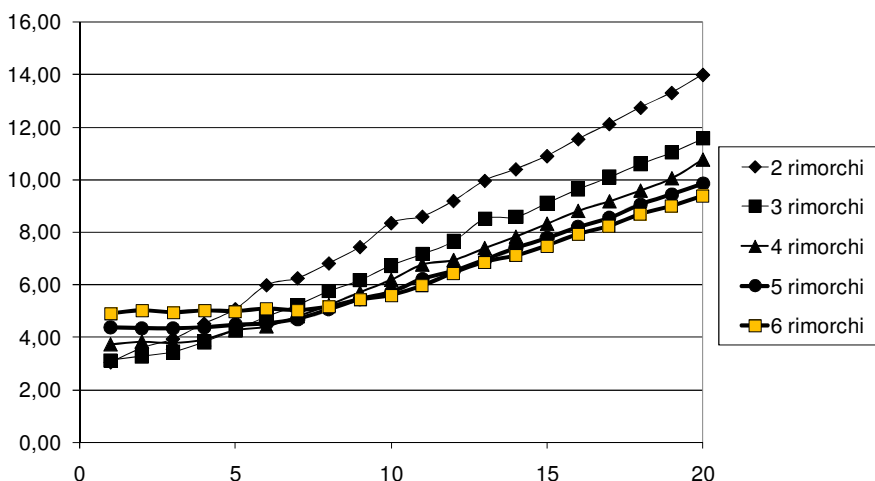


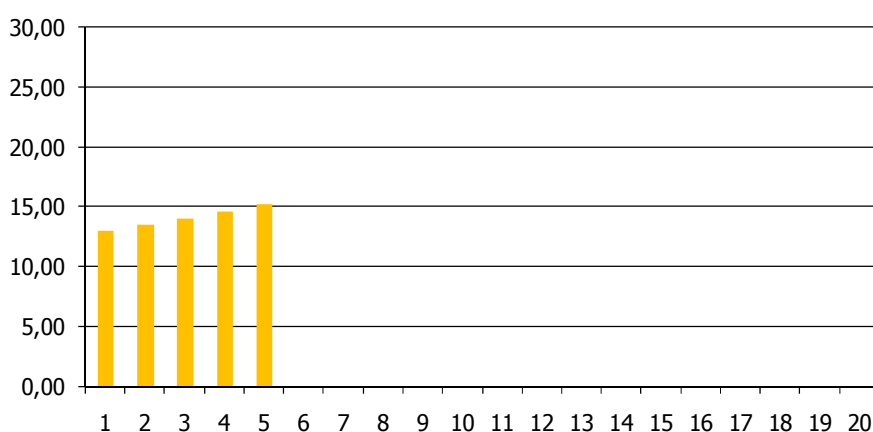
Fig. 6 – Andamento dei tempi di impiego della manodopera del cantiere di raccolta del silo mais (ore/ha), al variare della distanza e del numero di rimorchi per il trasporto (portata 3.6 tSS)

I flussi di biomassa (silomais) agli impianti di digestione anaerobica comportano costi di gestione che si incrementano in modo lineare all'aumentare della distanza di trasporto (**Tabella 1**).

**Tabella 1** – Costi di raccolta-trasporto-stoccaggio del silo mais (€/tSS) al variare della distanza di conferimento e del numero di rimorchi disponibile (portata 3,6 tSS)

Distanza appezzamento km	Numero rimorchi				
	2	3	4	5	6
1	12,98	12,99	13,61	14,18	14,44
2	14,09	13,91	14,57	14,84	15,56
3	14,62	14,50	15,04	15,41	16,07
4	15,94	15,75	15,83	16,40	17,01
5	17,05	16,80	17,03	17,25	17,54
6	18,83	17,87	17,63	17,90	18,55
7	19,51	19,07	18,91	18,80	19,08
8	20,68	20,36	20,33	20,09	20,14
9	22,05	21,32	21,20	21,26	21,00
10	23,71	22,96	22,34	21,89	21,81

I costi di trasporto hanno un'incidenza sui costi della biomassa e sul *business plan* di un impianto. Rifornire un impianto con silomais raccolto entro i 20 km comporta costi di 23,00 €/tSS, entro i 10 km 17,33 €/tSS ed entro i 5 km 14,71 €/tSS. In termini monetari, la raccolta della biomassa su 400 ha, comporta un aumento dei costi di oltre 60000 €/anno, se essa viene effettuata su un raggio di 20 km (165.140 €/anno) rispetto ad un raggio di 5 km (106.400 €/anno). Nella **Figura 7** e nella **Figura 8** sono presentati i costi di raccolta e trasporto della biomassa al variare della distanza degli appezzamenti, rispettivamente al raggio di conferimento di 5 e 20 km. Si può notare come, a causa degli impieghi diversi delle macchine, a parità di distanza sia meno oneroso il cantiere che raccoglie la biomassa entro i 5 km. Le operazioni logistiche incidono in modo importante anche sui consumi energetici per il conferimento della biomassa. Una percentuale dal 2,8% al 5,5% dell'energia contenuta nel silomais viene consumata per la raccolta, il trasporto e lo stoccaggio, passando da 1 a 20 km la distanza dei campi dall'impianto di produzione del biogas.



**Fig. 7** – Raggio di conferimento della biomassa (silomais) 5 km – costi raccolta-trasporto-stoccaggio €/tSS



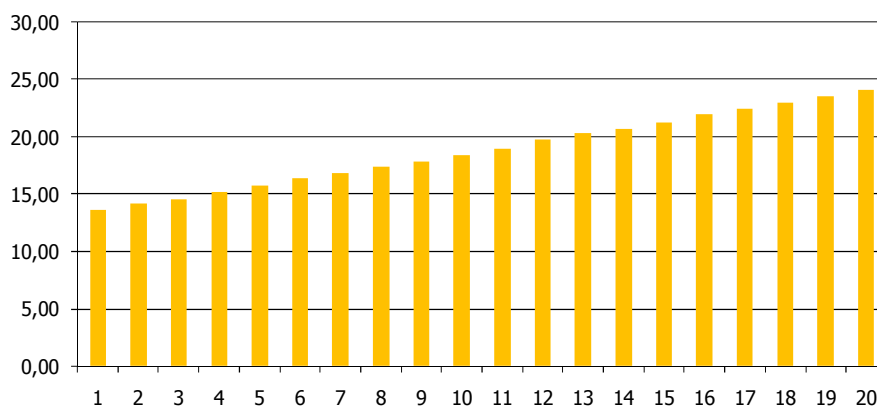


Fig. 8 – Raggio di conferimento della biomassa (silomais) 20 km – costi raccolta-trasporto-stoccaggio €/tSS

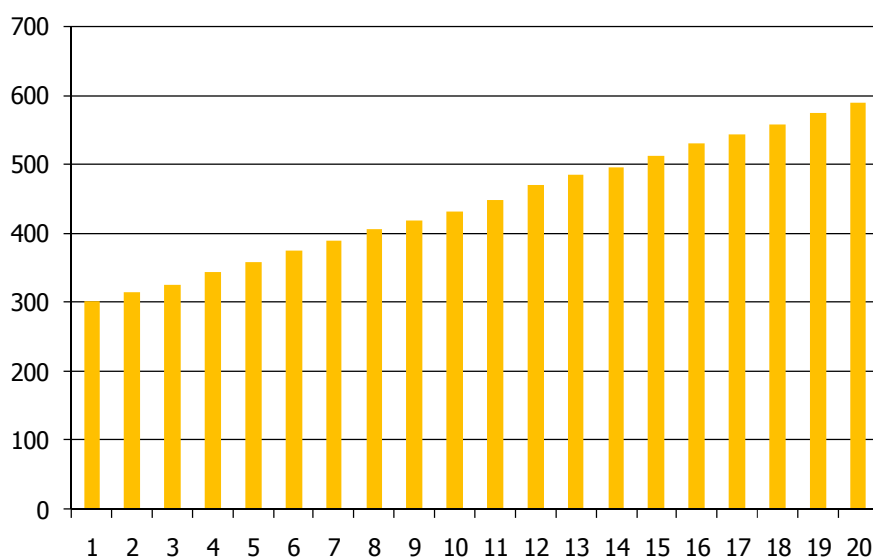
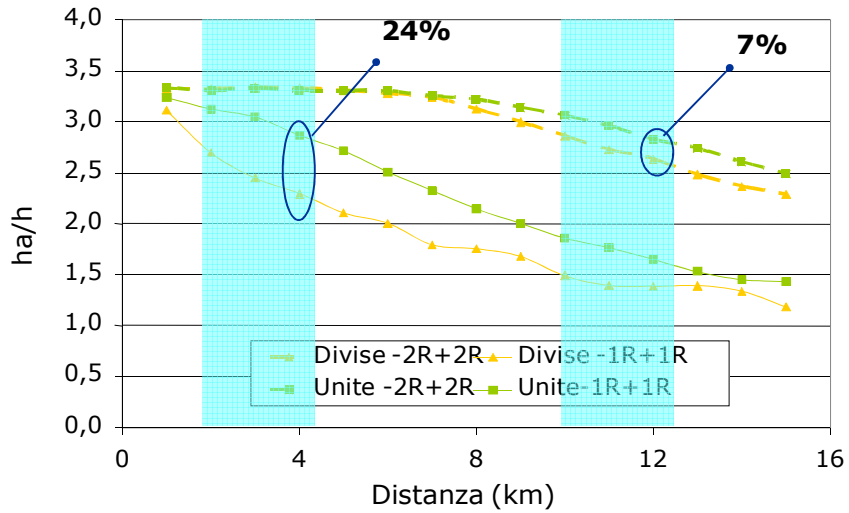


Fig. 9 – Consumi energetici per il conferimento del silomais al variare della distanza (MJ/tSS)

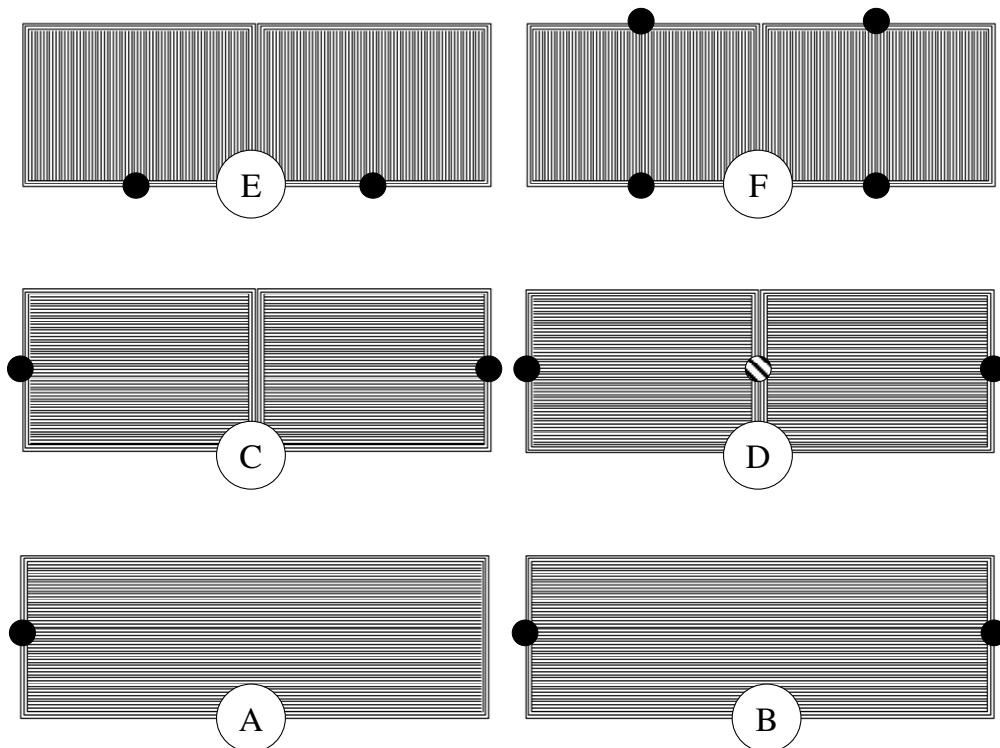
Mentre nell'implementazione del modello è semplice aggiungere una nuova risorsa, nella pratica ciò richiede investimenti importanti, sia economici che di manodopera. Oltre al cambiamento nel numero di risorse disponibili (mietitrebbie, rimorchi, manodopera) si può variare la strategia di gestione delle stesse. Quest'ultima non implica investimenti supplementari ma un modo diverso di gestire le risorse.

I prossimi esempi sono riferiti alla variazione di strategie. Il primo caso riguarda il vantaggio che ci può essere a fare lavorare due mietitrebbie in parallelo su campi vicini, condividendo quindi le risorse di trasporto, oppure lontane, ognuna con la sua dotazione di rimorchi a disposizione. Facendo operare due mietitrebbie su campi limitrofi è possibile condividere il sistema di trasporto. Con due rimorchi a disposizione, questo comporta un incremento di capacità di lavoro del 24% per distanze dei campi comprese tra i 3 e i 6 km. Per distanze maggiori e quattro rimorchi a disposizione, il vantaggio è solo del 7%. La riduzione dei costi per l'operazione di raccolta e trasporto è fino a 15 €/ha, pari al 12% (Figura 10).



**Fig. 10** – Capacità di lavoro (ha/h) dei cantieri con due mietitrebbie che lavorano unite in campi vicini, con mezzi di trasporto condivisi, e mietitrebbie che lavorano divise, ognuna con un suo set di mezzi di trasporto

Un altro esempio di cambiamento nelle strategie di gestione riguarda un progetto sviluppato in Australia, per campi di grandi dimensioni con produzioni unitarie molto basse e distanze dai centri di stoccaggio elevate (25-100 km). In questo contesto è necessario posizionare degli stoccaggi temporanei per il prodotto, in modo che lo scarico del medesimo possa avvenire anche in assenza dei mezzi di trasporto, senza limitare la capacità delle mietitrebbie. La questione logistica è dove posizionare al meglio i *bins* in campo, per ridurre i trasferimenti della macchina e per ottimizzare quindi l'operazione di raccolta (**Figura 11**).



**Fig. 11** – Posizionamento dei silos temporanei in campo

Il posizionamento di due *bins* temporanei sui lati opposti dell'appezzamento permette, rispetto al posizionamento da un solo lato, una riduzione di 246 h/anno di lavoro della mietitrebbia (31%), considerando una superficie coltivata a frumento di 3000 ha (Tabella 2). Oltre al risparmio economico, il consumo di gasolio si riduce di circa 5600 kg, con una riduzione delle emissioni di 15,5 t/CO<sub>2</sub> all'anno. In termini monetari si può considerare il gasolio e la manodopera risparmiati, e l'eventuale mercato di tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalenti non emesse. La riduzione delle emissioni non può essere certificata su una singola azienda ma su un insieme di aziende.

**Tabella 2 – Tempi e capacità con diverse posizioni dei bins – campo 70 ha – produzione 4 t/ha**

	A	B	C	D	E	F
Raccolta (min/ha)	7.46	7.40	7.44	7.44	7.43	7.43
Scarico (min/ha)	1.87	1.82	1.36	1.36	1.42	1.43
Voltate e trasferim (min/ha)	6.67	1.84	3.46	2.13	2.85	2.76
Tempo operativo (min/ha)	16.00	11.07	12.25	10.93	11.71	11.62
Capacità di lavoro (ha/h)	3.75 i	5.42 b	4,90 g	5,49 a	5.13 de	5.16 cd
Efficienza operativa	0.45	0.65	0.59	0.66	0.62	0.62

Gli aspetti logistici sono importanti per la distribuzione degli effluenti dopo il trattamento anaerobico. Una ricerca finanziata dalla Regione Piemonte, ha proprio lo scopo anche di evidenziare i tempi di esecuzione delle operazioni di distribuzione dei reflui ed i relativi costi di esecuzione delle stesse. Dai primi risultati dell'indagine si può notare come i costi di distribuzione aumentino in modo proporzionale alla distanza. Il costo per unità fertilizzante distribuita è inferiore al costo del fertilizzante minerale se le distanze di distribuzione sono inferiori ai 10-15 km. Per i reflui entro i 10 km c'è convenienza a distribuire il fertilizzante organico, al di sopra è meno costoso il fertilizzante minerale. Anche qui sarebbe interessante però conteggiare la CO<sub>2</sub> risparmiata derivante dal utilizzo dei reflui in sostituzione del fertilizzante minerale, e anche questa potrebbe essere in qualche modo venduta sul mercato (Tabella 3).

**Tabella 3 – Costo di distribuzione effluenti al variare della distanza (€/kg)**

Sup (ha)	N/ha (Kg)	Distanza campo – vasca stoccaggio (Km)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	170	0.26	0.34	0.42	0.51	0.59	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00
2	340	0.20	0.29	0.37	0.45	0.53	0.61	0.70	0.78	0.86	0.94
4	170	0.25	0.34	0.42	0.50	0.58	0.66	0.75	0.83	0.91	0.99
4	340	0.20	0.29	0.37	0.45	0.53	0.62	0.70	0.78	0.87	0.95
6	170	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.91	1.00
6	340	0.20	0.28	0.36	0.45	0.53	0.61	0.69	0.78	0.86	0.94

Il problema è il corretto dimensionamento dei mezzi di trasporto ma anche del sistema di stoccaggio. Una riduzione dei tempi di lavoro di 1.62 min/autocarro nell'operazione di scarico utilizzando delle buche di dimensioni maggiori in un impianto di stoccaggio cereali nel *corn belt* americano, nei giorni di picco, ha consentito di ridurre del 34% i tempi di attesa, e di aumentare nel contempo i conferimenti del 17%, con incrementi notevoli di produttività dell'agricoltore e della tempestività nell'esecuzione delle operazioni di raccolta.

La simulazione fornisce solo dei risultati predittivi del comportamento del sistema complesso quale è quello di raccolta-trasporto-scarico del prodotto. I risultati possono essere utilizzati come input in un modello di

programmazione lineare, che in funzione dei vincoli (es. superficie da raccogliere, giorni utili per effettuare l'operazione), consente di ottimizzare le risorse e le strategie impiegate, rispetto ad obiettivi quali il minimo costo dell'operazione o il minimo impiego di manodopera.

Un esempio dell'uso del modello di programmazione lineare è riferito al costo della raccolta del riso comparando due cantieri, uno con mezzi di trasporto dedicati ad ogni macchina, ed uno con rimorchi condivisi. I risparmi che si ottengono sono pari a 4790 €/anno (11,16 €/ha) con una riduzione percentuale del 7,2%. Con l'uso combinato di simulazione e programmazione lineare si possono trasferire i risultati della simulazione su base aziendale o regionale.

## **Conclusioni**

I risultati presentati hanno evidenziato come le operazioni di trasporto, di movimentazione e stoccaggio dei prodotti siano importanti non solo per i costi che ne derivano, ma per l'importanza del sistema di trasporto nel garantire efficienze elevate ai sistemi di raccolta, con una riduzione dei tempi, dei costi e dei consumi energetici e dell'impiego di manodopera.

La determinazione esatta dei costi logistici è importante anche per la stesura di un *business plan* accurato specie per le filiere agro energetiche, dove i flussi di biomassa hanno un'influenza rilevante sui costi di gestione dell'impianto.

La logistica continuerà ad avere un ruolo importante nell'approvvigionamento dei prodotti e nel trasporto e stoccaggio dei medesimi.

La simulazione è da tempo utilizzata per lo studio della logistica di sistemi complessi, le applicazioni in campo agricolo sono tuttavia poco diffuse. Alcune operazioni, quali quelle legate alla raccolta e al trasporto di cereali su base aziendale, o alla distribuzione di prodotti ortofruitticoli freschi lungo la *supply chain*, coinvolgendo un sistema di macchine e processi, si prestano ad essere analizzate con questo strumento. L'impiego della simulazione infatti offre vantaggi notevoli nel predire il comportamento del sistema, facilitandone la comprensione e indicando le soluzioni più opportune in funzione degli obiettivi prefissati.

La tecnica della simulazione potrà contribuire ad elevare il livello delle conoscenze dei sistemi agroalimentari complessi, perché permette, partendo da una base di dati rilevati, di analizzare in modo puntuale molte tipologie di catene e di risorse disponibili, e consente di scegliere quelle che più soddisfano gli obiettivi, tenendo conto dei vincoli. Il modello di simulazione consente l'approccio di sistema, ma non opera delle scelte, è di tipo predittivo, rappresenta il comportamento. L'utente decide quali sono le scelte da fare per migliorare il sistema e può simulare diverse opzioni attraverso l'implementazione di nuovi scenari, con variazione di risorse o di strategie. Si possono utilizzare in combinazione modelli di simulazione e di programmazione lineare per ottimizzare le scelte, in funzione di determinati obiettivi quali la riduzione dei costi, delle emissioni o della manodopera impiegata.

La simulazione può aiutare a evidenziare situazioni dove semplicemente un cambiamento della strategia, può migliorare la performance del sistema senza importanti aumenti di spesa. Per questa ragione, le regole di gestione inserite nel modello, devono essere ben conosciute, e vanno tenute in debita considerazione quando si analizzano i risultati. I modelli messi a punto consentono sia lo studio di operazioni intra-aziendali, sia di operazioni extra-aziendali. Alcune problematiche, estendendo opportunamente il sistema ed il modello che lo rappresenta, possono essere analizzate su base regionale. Ad esempio si potrebbe analizzare l'effetto dell'introduzione degli OGM, l'incremento della capacità delle mietitrebbie o delle falcia-trincia-caricatrici, o l'aumento di capacità dei mezzi di trasporto.

L'analisi di sistema può essere svolta a livello locale ma anche a livello regionale, ci sono ormai gli strumenti e le competenze, si tratta solo di integrare queste due realtà, per avere delle risposte interessanti non solo per l'azienda agraria, ma anche per le agenzie regionali o i decisori politici.

Per i vantaggi che presenta nello studio di sistemi complessi è auspicabile un utilizzo della simulazione sempre più diffuso in campo agricolo e agroalimentare.

# Applicazione della logistica nella filiera cerealicola

*Patrizia Busato*

## **Introduzione**

Nella relazione sono descritti due esempi di applicazione della logistica nella filiera cerealicola.

I modelli hanno spaziato da indagini svolte su singoli appezzamenti, a studi riferiti all'azienda intera, e sono stati applicati alla raccolta del riso e del mais, dove le operazioni di raccolta, trasporto e stoccaggio del prodotto sono state simulate come parti di un unico sistema.

Lo scopo del primo lavoro è stato quello di dimensionare correttamente un cantiere di raccolta e trasporto del riso, in funzione delle caratteristiche intrinseche degli appezzamenti (forma, dimensione, produzione unitaria e distanza dal centro aziendale).

Nel secondo caso è stato implementato un modello a rete in grado di evidenziare gli effetti dell'aumento della capacità di ricevimento dell'impianto di stoccaggio mais sulla produttività dei cantieri di raccolta e trasporto del prodotto, in termini di riduzione dei tempi di servizio e di aumento dei volumi giornalieri conferiti.

## **Primo caso di studio** – *Simulazione di cantieri di raccolta del riso: aspetti tecnici e logistici*

Le operazioni di raccolta e trasporto dei cereali rappresentano un sistema complesso, nel quale l'efficienza della singola macchina dipende dalla performance dell'insieme nel suo complesso. La capacità di lavoro della mietitrebbia è condizionata dai mezzi di trasporto. Aumentare la disponibilità di rimorchi o manodopera consente di elevare la capacità del cantiere, quando questa è limitata dalla distanza o quando il periodo utile per la raccolta è ridotto.

Il modello di simulazione aiuta a scegliere, in base ai vincoli esistenti (distanza degli appezzamenti dal centro aziendale, produzioni unitarie, etc.), il cantiere di trasporto necessario alla raccolta di tutta la superficie nel periodo utile.

## **Cantiere considerato**

Il rilievo dei dati in campo è stata effettuata presso un'azienda risicola di 540 ha. La dimensione media degli appezzamenti rilevati era di 3.2 ha e le varietà di riso raccolte erano *Vialone nano* e *Tejo*, con una produzione media di circa 7 t/ha all'umidità di raccolta.

Il cantiere oggetto di rilievo era costituito da una mietitrebbia Claas Lexion 480 con larghezza di barra di taglio di 6.7 m, e capacità di serbatoio di raccolta di circa 4 t. Per il trasporto sono stati utilizzati due rimorchi della capacità di 8 t ciascuno.

I parametri rilevati durante le prove sono stati elaborati in modo statistico e sono stati utilizzati nel modello di simulazione come parametri di input ([Tabella 1](#) e [Tabella 2](#)).

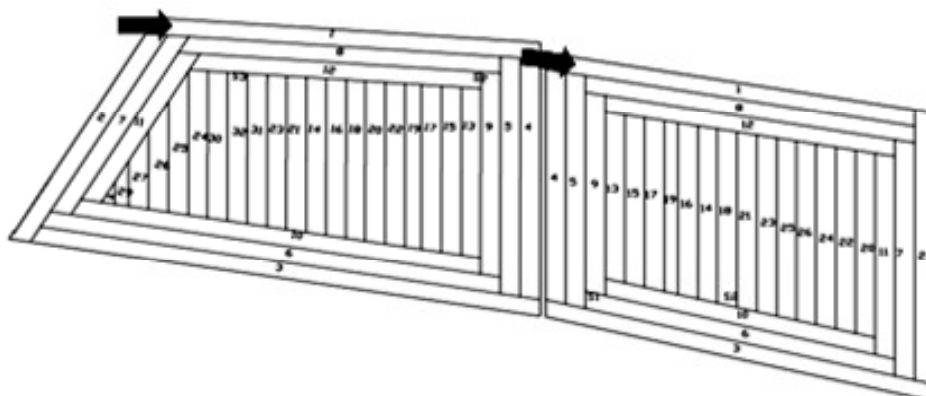
**Tabella 1** – Distribuzioni statistiche relative alle velocità e ai tempi di lavoro della mietitrebbia, verificate con il test di Kolmogorov-Smirnov (ARENA®, Rockwell software Inc, ). I tempi sono espressi in min e le velocità in km/h

Attività	Osservazioni	Distribuzione statistica	Media	Deviazione standard
Velocità di raccolta lungo la direzione principale dell'appezzamento	117	Normale	3.92	0.86
Velocità di raccolta in capezzagna	22	Lognormale	2.11	1.19
Tempo di voltata per l'apertura del campo	16	Lognormale	0.777	0.43
Tempo di voltata a 90°	47	Lognormale	0.252	0.11
Tempo di voltata a 180°	70	Lognormale	0.329	0.15
Tempo di trasferimento per lo scarico	55	Lognormale	0.642	1.64
Tempo di scarico in capezzagna	28	Lognormale	1.76	0.803

**Tabella 2** – Distribuzioni statistiche relative alle velocità ed ai tempi di lavoro dei rimorchi, verificate con il test di Kolmogorov-Smirnov (ARENA®, Rockwell software Inc, ). I tempi sono espressi in minuti e le velocità in km/h

Attività	Osservazioni	Distribuzione statistica	Media	Deviazione standard
Velocità di trasferimento a vuoto su sterrato	9	Normale	16.7	1.29
Velocità di trasferimento a vuoto su asfalto	9	Normale	26.6	2.06
Velocità di trasferimento a pieno su sterrato	11	Normale	13.3	1.27
Velocità di trasferimento a pieno su asfalto	11	Normale	26.7	2.55
Tempo di pesatura del rimorchio in azienda	23	Lognormale	1.25	0.821
Tempo di trasferimento dalla pesa allo scarico	19	Lognormale	4.1	3.85
Tempo di scarico in azienda	15	Lognormale	0.798	1.14

Per descrivere il comportamento della mietitrebbia durante l'operazione di raccolta, nel modello di simulazione gli appezzamenti sono stati rappresentati con una serie di segmenti, corrispondenti alle singole passate. Questo approccio riconduce il movimento bidimensionale della macchina in campo ad un movimento unidimensionale, semplificando la simulazione. In questo modo, concettualmente, possono essere descritti campi di qualsiasi forma in modo molto accurato (Figura 1).



**Fig. 1** – Schema della suddivisione degli appezzamenti in singole passate. Il numero progressivo indica la sequenza di raccolta effettuata dalla mietitrebbia in campo. Le frecce identificano i punti di ingresso della mietitrebbia in campo e la direzione iniziale dell'operazione di raccolta

## Modello di simulazione

Il caso di studio ha riguardato la performance del cantiere di raccolta e trasporto del riso in funzione della sua composizione – rimorchi, trattrici e manodopera – e della distanza degli appezzamenti dal centro aziendale, variabile da 1 a 15 km:

- Cantiere 1R1T1P. 1 rimorchio, 1 trattrice e 1 persona;
- Cantiere 2R2T1P. 2 rimorchi, 2 trattrici e 1 persona;
- Cantiere 2R2T2P. 2 rimorchi, 2 trattrici e 2 persone;
- Cantiere 3R3T2P. 3 rimorchi, 3 trattrici e 2 persone;
- Cantiere 3R3T3P. 3 rimorchi, 3 trattrici e 3 persone.

Considerando 45 giorni come periodo utile per la raccolta, un coefficiente di sensibilità climatica di 0.6 e 6 ore di lavoro giornaliero, per raccogliere una superficie di 215 ha, occorre impiegare meno di 0,753 h/ha:

$$TU = \frac{Pu \times \alpha \times h}{A} = \frac{45 \times 0,6 \times 6}{215} = 0,753 \text{ h/ha}$$

## Risultati

Il modello restituisce i tempi di lavoro del cantiere di raccolta e trasporto rispetto alla distanza dei campi dall'azienda. Gli scenari che consentono di raccogliere tutta la superficie entro il periodo utile di 27 giorni sono i seguenti (Figura 2):

- 1R1T1P per distanze fino a 2 km;
- 2R2T1P per distanze tra i 3 e gli 7 km;
- 2R2T2P per distanze tra 8 e 11 km;
- 3R3T2P per distanze tra 12 e 15 km.

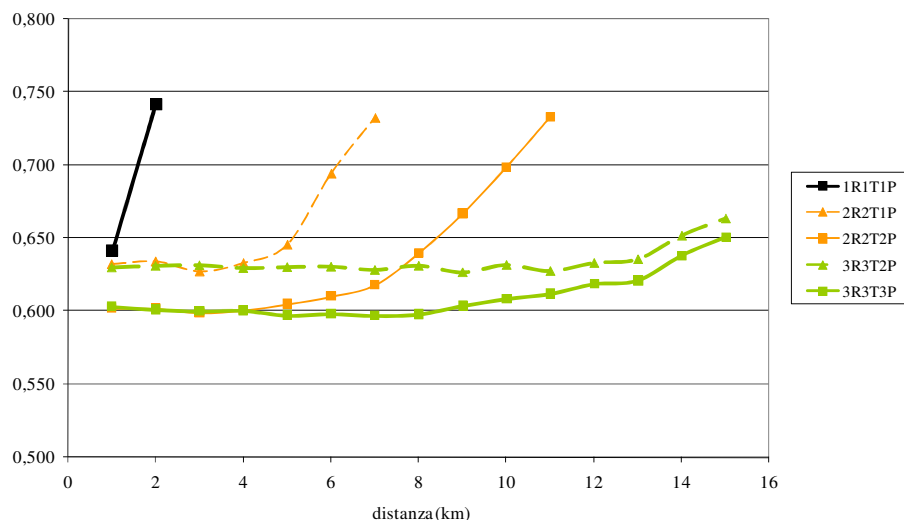


Fig. 2 – Tempo di lavoro dei cantieri di raccolta e trasporto rispetto alla distanza dei campi dall'azienda. Valori espressi in h/ha - Produzione unitaria 7 t/ha

Il tempo di utilizzazione minimo è pari a 0,604 h/ha, pari ad una capacità massima di cantiere di 1,65 h/ha. Tale risultato è ottenibile con l'impiego di due rimorchi, per appezzamenti situati a distanze inferiori ai 5 km dal centro aziendale, e con tre rimorchi, per appezzamenti compresi tra i 6 e gli 9 km. La presenza di un

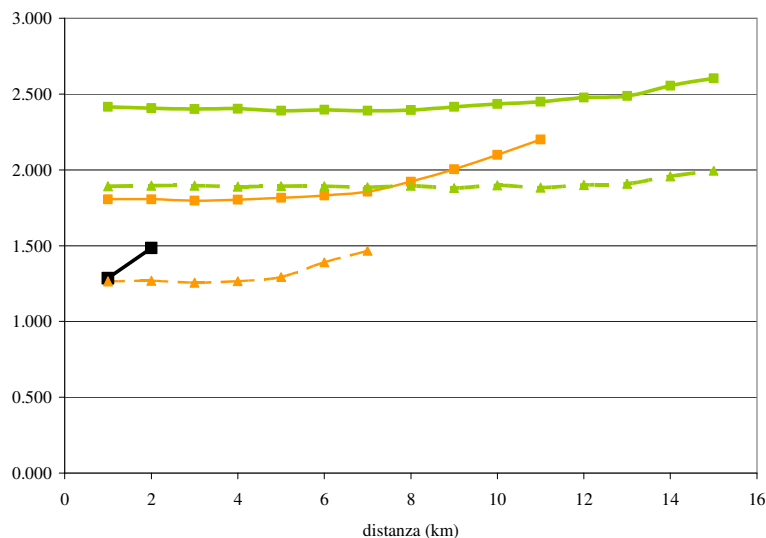


unico rimorchio non è in grado di garantire l'ottimizzazione della mietitrebbia, nemmeno alle distanze più brevi.

Evidentemente, quando i tempi di utilizzazione sono uguali per due cantieri diversi, risultano economicamente più vantaggiosi quelli che presentano un minore utilizzo di manodopera e di macchine. Ad esempio, con distanze comprese tra 1 e 4 km, 2R2T1P presenta lo stesso tempo di utilizzazione di 3R3T2P, consentendo il risparmio di una persona, una trattrice e un rimorchio. Con distanze comprese tra 1 e 5 km, 2R2T2P presenta lo stesso tempo di utilizzazione di 3R3T3P, con il risparmio di una persona, una trattrice e un rimorchio. A 8 km di distanza, 2R2T2P ha un tempo di utilizzazione equivalente a 3R3T2P, e ciò consente il risparmio di una trattrice e un rimorchio.

Analizzando i risultati relativi all'impiego di manodopera, si possono trarre alcune considerazioni (**Figura 3**):

- quando la catena di trasporto è sovradimensionata, all'interno dello stesso cantiere, l'impiego della manodopera rimane costante al variare della distanza degli appezzamenti;
- al contrario, quando la catena di trasporto è un fattore limitante per la mietitrebbia, il tempo necessario a raccogliere tutta la superficie si incrementa all'aumentare della distanza e di conseguenza anche la richiesta di manodopera aumenta.



**Fig. 3 – Impiego di manodopera al variare della distanza dei campi dall'azienda e al variare del numero di rimorchi disponibile.**  
Valori espressi in h/ha - Produzione unitaria 7 t/ha

Inoltre, il modello evidenzia alcuni impieghi particolari di manodopera che non potrebbero essere spiegati con sistemi di calcolo analitico. Ad esempio, per il cantiere 3R3T2P la presenza del terzo rimorchio non paga in termini di manodopera. Infatti, l'utilizzo di una persona in meno determina fino a 7 km di distanza tempi di attesa superiori per la mietitrebbia, cioè un tempo di utilizzazione maggiore rispetto al cantiere 2R2T2P. Al contrario, per il cantiere 2R2T1P il rimorchio aggiuntivo consente un impiego migliore della manodopera rispetto al cantiere 1R1T1P, la persona che lascia il rimorchio vuoto in campo per portare quello pieno in azienda, riduce i tempi di attesa per lo scarico della mietitrebbia.

In generale, è evidente per alcune distanze la convenienza ad utilizzare cantieri che presentino un risparmio di manodopera adibita al trasporto, quando la capacità di lavoro è sufficiente per la mietitrebbia. L'impiego di una persona in meno determina una riduzione di manodopera, a parità di macchine.

La composizione dei costi unitari è data dalla mietitrebbia, dalla manodopera e dal sistema di trasporto, trattrici e rimorchi (Figura 4). La mietitrebbia rappresenta la principale componente di costo, per tale ragione essa deve lavorare con elevata efficienza.

I costi delle macchine sono stati calcolati escludendo i tempi di attesa. E' questo il motivo per cui al variare della distanza il costo della mietitrebbia rimane pressoché costante, mentre si incrementa per il sistema di trasporto. Il costo della manodopera non cambia fino a quando l'efficienza operativa della mietitrebbia è uguale a uno, in seguito aumenta con la distanza. In generale, l'impiego di una persona in meno determina maggiori costi per le attese che si verificano in campo a carico della mietitrebbia.

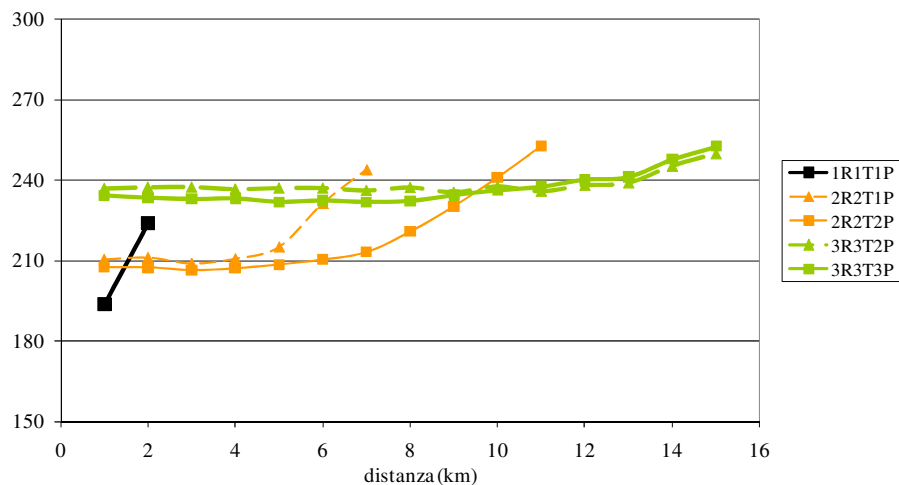


Fig. 4 – Costi unitari dei cantieri di raccolta e trasporto al variare della distanza dei campi dall'azienda. Valori espressi in €/ha - Produzione unitaria 7 t/ha

## Considerazioni

Il modello è una rappresentazione semplificata del sistema reale da descrivere, in cui si analizzano le variabili che influenzano il problema in esame. Attraverso il modello è possibile valutare la catena di raccolta e trasporto come un unico sistema, considerando l'interazione tra le singole macchine, identificando il fattore limitante e i possibili miglioramenti.

La descrizione dei campi come un insieme di singole passate, limitando il percorso della mietitrebbia a quello pianificato, semplifica notevolmente la simulazione e consente minime perdite di accuratezza nel modello. In questo modo la dimensione e la forma dell'appezzamento possono essere rappresentate con un elevato livello di dettaglio nel sistema.

Il modello aiuta a scegliere in funzione del tempo disponibile, della distanza degli appezzamenti dal centro aziendale e della produzione unitaria, il cantiere di trasporto che consente la raccolta in modo tempestivo del prodotto, e nel contempo un uso efficace della manodopera impiegata.

In particolare, l'uso del modello ha sottolineato l'importanza del dimensionamento corretto del sistema di trasporto, tale da garantire una capacità di lavoro della mietitrebbia sufficiente a raccogliere tutta la superficie dell'azienda nel periodo utile. In particolare, per alcune distanze è evidente la convenienza a utilizzare cantieri che consentano un risparmio di manodopera, garantendo comunque capacità di lavoro elevate durante la raccolta.

All'aumentare della produzione unitaria (es. produzione di mais granella), il sistema di trasporto diventa critico per la mietitrebbia determinando una riduzione repentina della sua capacità di lavoro, al crescere della distanza dal centro aziendale. In questo caso la variazione di una risorsa – mezzo di trasporto o

manodopera disponibile – comporta quasi sempre un effetto significativo nel determinare la performance del sistema.

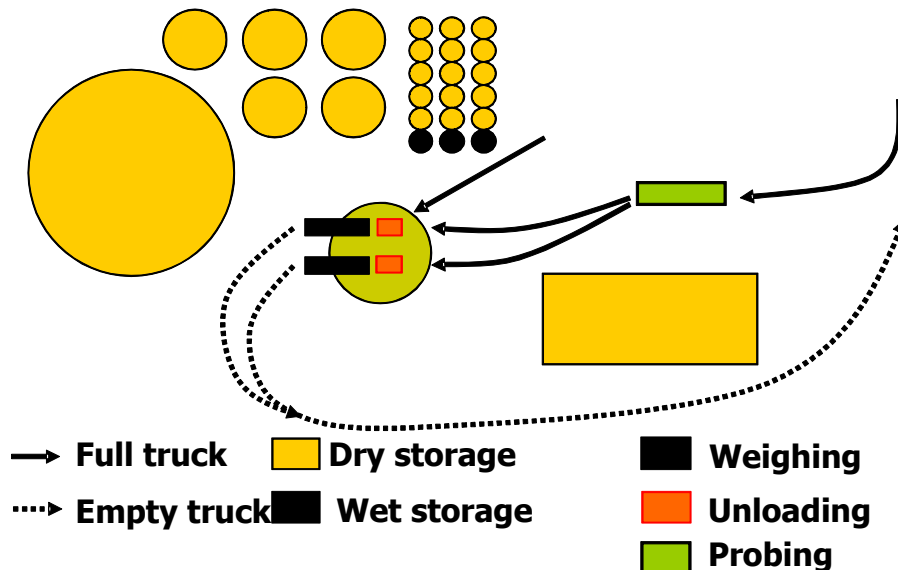
**Secondo caso di studio** – *Analisi delle strategie logistiche durante le operazioni di scarico della granella presso i centri di stoccaggio con modelli di simulazione a rete*

In America il conferimento di granella all’impianto di stoccaggio, effettuato mediamente su lunghe distanze, avviene con autocarri di proprietà degli agricoltori o forniti da terzi (**Figura 5**).



**Fig. 5** – Autocarri con rimorchio utilizzato per il trasporto della granella dal campo al centro di stoccaggio

Il layout dell’impianto di stoccaggio in esame è presentato in **Figura 6**.

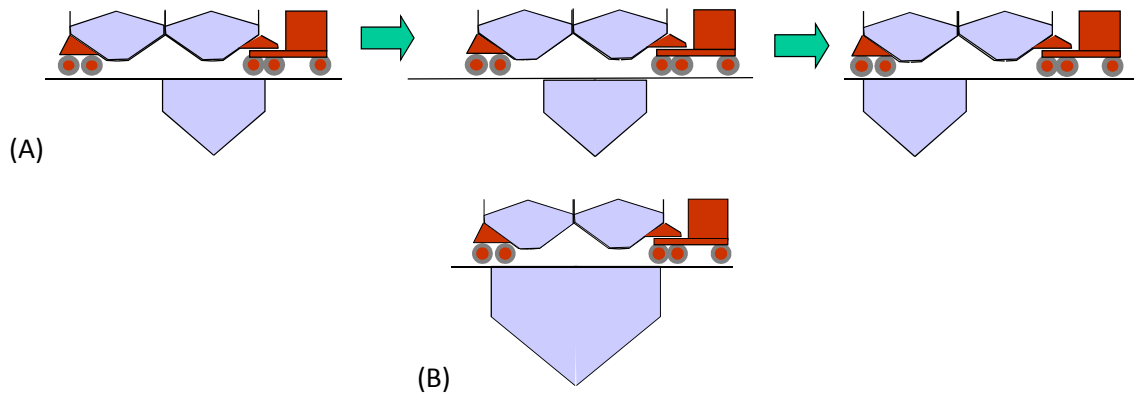


**Fig. 6** – Layout del centro di stoccaggio. Il layout dell’impianto ed il percorso degli autocarri all’interno dell’impianto non cambia con l’allargamento di una o due buche

L’impianto oggetto delle prove, della dimensione tipica per il *Corn Belt* americano, ha una stazione di prelievo campioni vicino alla costruzione principale, due buche della capacità di 35 t per il ricevimento del

prodotto e due stazioni di sollevamento con bilance integrate per il ribaltamento posteriore dei rimorchi. Lo stoccaggio è costituito da diciotto silos in cemento della capacità di 1250 t ciascuno, cinque silos in acciaio della capacità di 12.500 t ciascuno, e un cumulo all'aperto della capacità di 45.000 t.

Nel corso degli anni, le dimensioni delle buche per lo scarico del prodotto si sono gradualmente incrementate, fino a raggiungere una capacità pari alla portata dell'autoarticolato. Nonostante questo il loro sviluppo orizzontale non consentiva lo scarico contemporaneo dei due compartimenti del mezzo ([Figura 7](#)).



**Fig. 7** – (A) Configurazione attuale buca. (B) Configurazione innovativa buca

Nei giorni con traffico molto elevato, è importante mantenere bassi tempi di servizio, inteso come tempi necessari a campionare e scaricare un singolo autocarro. Se l'impianto è in grado di servire gli agricoltori più velocemente, aumenterà la frequenza dei viaggi e quindi la quantità di granella consegnata. Dal momento che i nastri trasportatori per la movimentazione della granella dalle buche ai silos, hanno una capacità di circa 30 autoarticolati all'ora per buca, si è pensato di implementare delle strategie che consentissero uno svuotamento più rapido di questi.

L'obiettivo dello studio è stato quello di utilizzare un approccio di simulazione a rete, per analizzare l'interazione tra le operazioni di ricevimento della granella presso il centro di stoccaggio e la performance del sistema di raccolta e trasporto, comparando strategie di miglioramento delle operazioni di scarico.

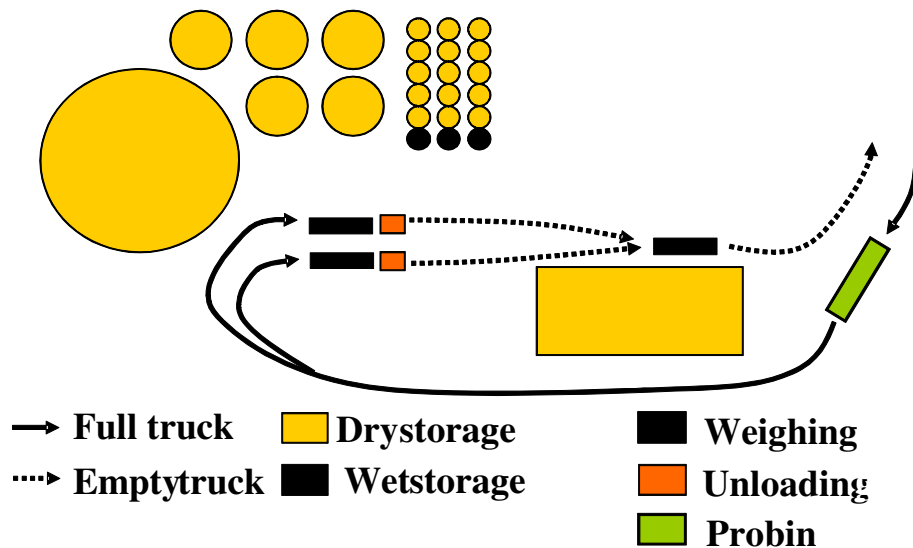
### Strategie implementate

Dal momento che i nastri trasportatori per il trasporto della granella dalle buche ai silos, hanno una capacità di circa 30 autoarticolati all'ora per buca, si è pensato di implementare delle strategie che consentissero uno svuotamento più rapido di questi.

Le strategie di configurazione e di gestione del traffico simulate con il modello a rete sono state le seguenti:

- **Strategia A.** Esprime la configurazione di partenza come illustrato nella [Figura 6](#), dove ogni buca è configurata come nella [Figura 7](#), opzione (A). In ciascuna buca si possono scaricare circa 13 autocarri per ora di lavoro. Ciò significa 26 autocarri per ora in totale.
- **Strategia B.** Prevede l'allargamento di una delle buche, come indicato nella [Figura 7](#), opzione B, in modo che entrambi i compartimenti del rimorchio possano essere scaricati simultaneamente. Non ci sono spostamenti da fare del mezzo sulla buca durante l'operazione di scarico e la capacità passa a 20 autocarri per ora lavorata. Considerando entrambe le buche la capacità totale di ricevimento è di 33 autocarri all'ora.
- **Strategia C.** Simula l'allargamento contemporaneo delle due buche di scarico che consente di elevare la capacità oraria a 40 autocarri per ora lavorata.

- Strategia D. Ipotizza il cambiamento del flusso di traffico con rimozione della stazione di campionamento e l'aggiunta di una bilancia per la pesatura degli autocarri vuoti. In questo caso la capacità passa a 31–33 autocarri/ora, considerando entrambe le buche. Il cambiamento del layout dell'impianto è presentato in **Figura 8**.



**Fig. 8** – Layout del centro di stoccaggio dopo l’inversione del flusso degli automezzi. Questo layout richiede un nuovo posizionamento della stazione di campionamento e l’aggiunta di una bilancia per la pesatura degli autocarri vuoti

### Modello di simulazione a rete

29

Per simulare le diverse strategie è stato implementato un modello a rete, considerando come un unico sistema l’operazione di raccolta, il trasporto e lo scarico della granella presso il centro di stoccaggio, con interazione delle operazioni logistiche tra loro.

Nel modello le regole di gestione dei camion, che limitano il numero dei carichi fatti da un singolo autocarro all'impianto, sono le seguenti:

- Regola 1. Ciascun autocarro non può portare più carichi all'impianto di quelli assegnati;
- Regola 2. Ciascun autocarro deve arrivare all'impianto durante le ore di apertura. Se la regola è verificata, il camion è inviato nuovamente in campo, per completare un altro carico, altrimenti esso verrà escluso dal modello.

Se si applica solo la Regola 2, la simulazione rappresenterà il massimo potenziale del sistema raccolta–trasporto, in quanto si assume che i clienti consegnino tutta la granella raccolta. In questo caso i risultati predicono la massima capacità del sistema stoccaggio, raccolta e trasporto considerato nel suo complesso.

### Esperimenti simulati

Sono stati inoltre simulati due diversi flussi di granella in arrivo all’impianto, in quanto essi hanno influenza sui tempi di pulizia delle buche e quindi sui tempi di scarico del prodotto:

- F1. Mais secco 56%, mais umido 22%, soia 22%;
- F2. Mais secco 41%, mais umido 29%, soia 30%.

In entrambi i casi una delle due buche è riservata al flusso più importante della giornata, ovvero al mais secco. Con il flusso F1 si ha una ripartizione più equilibrata del prodotto; con il flusso F2 la buca che riceve soia e mais umido sarà molto più impegnata e questo determina un utilizzo sbilanciato delle buche. Un sommario degli esperimenti simulati è presentato in **Tabella 3**.

**Tabella 3** – Esperimenti simulati e parametri utilizzati per comparare le strategie di configurazione e di gestione del traffico

Parametro	Exp. 5–36	Exp. 37–48
Traffico simulato	medio, elevato, molto elevato	medio, elevato, molto elevato
Flusso di granella <sup>(1)</sup>	F1	F2
Strategia simulata <sup>(2)</sup>	A,B,C,D	A,B,C,D
Numero di esperimenti	1200	1200

(1) F1–mais secco 56%, mais umido 22%, soia 22%. F2–mais secco 41%, mais umido 29%, soia 30%

(2) A–Configurazione attuale, B–Allargamento di una buca, C–Allargamento di due buche, D–Inversione del traffico

## Risultati

Il numero di carichi per autocarro e la quantità totale di prodotto conferito al giorno, rappresentano la massima performance del sistema nel suo complesso. Tanto più ridotti saranno i tempi di servizio, tanto più elevato sarà il numero di carichi consegnato giornalmente. Il numero medio di camion arrivati per la strategia A è molto elevato, simile nella realtà ai giorni di grande traffico, e questo ha consentito di validare il modello rispetto alla realtà. Tutte le strategie hanno avuto una performance significativamente migliore rispetto alla strategia A (**Tabella 4 e Tabella 5**).

Relativamente al flusso di granella F1, l'allargamento di una buca ha comportato l'aumento della capacità di ricevimento dell'11-14,1%, mentre quello di due buche ha comportato un incremento del 12,5-16,7%, pari a 76 carichi in più al giorno rispetto alla Strategia A. Il cambiamento di percorso all'interno dell'impianto di stoccaggio ha consentito un aumento di capacità solo del 3,3-3,9%.

Con il flusso di granella F2 l'allargamento di una buca ha comportato l'aumento della capacità di ricevimento dell'5,7-6,5%, mentre l'allargamento di due buche ha comportato un incremento del 6,8-7,2%, pari a 30 carichi in più al giorno rispetto allo scenario di partenza. Il cambiamento di percorso all'interno dell'impianto di stoccaggio ha consentito un aumento di capacità solo del 4,0-5,4%, con picchi di 22 carichi al giorno in più rispetto allo scenario A.

**Tabella 4** – Capacità di ricevimento dell'impianto relative alle quattro strategie (carichi/giorno). Dati medi

Scenari <sup>(1)</sup>	Flusso 1			Flusso 2		
	medio	elevato	molto elevato	medio	elevato	molto elevato
A	9.5	10.6	19.5	9.8	13.6	44.1
B	7.7	8.2	10.7	8.3	10.0	29.0
C	6.8	7.2	9.1	7.3	9.3	27.6
D	8.1	8.9	13.4	8.5	10.9	33.1
A-B	1.8	2.4	8.8	1.5	3.6	15.1
A-C	2.6	3.4	10.4	2.5	4.3	16.4
A-D	1.3	1.7	6.1	1.3	2.7	11.0
A-B(%)	19.2%	23.0%	45.2%	15.5%	26.7%	34.2%
A-C(%)	28.0%	32.2%	53.2%	25.7%	31.5%	37.3%
A-D(%)	14.0%	16.0%	31.5%	13.0%	19.9%	24.9%

Tabella 5 – Capacità di ricevimento dell'impianto relative alle quattro strategie (carichi/giorno). Dati medi

Scenari <sup>(1)</sup>	Flusso 1			Flusso 2		
	medio	elevato	molto elevato	medio	elevato	molto elevato
A	373.8	413.4	455.2	347.6	382.9	416.4
B	414.9	463.5	519.2	369.3	404.6	443.2
C	420.7	469.2	531.2	371.1	408.2	446.4
D	388.0	427.0	473.1	362.6	398.0	438.9
B-A	41.0	50.1	64.0	21.8	21.8	26.9
C-A	46.9	55.8	76.0	23.5	25.3	30.0
D-A	14.2	13.5	17.9	15.0	15.2	22.5
B-A(%)	11.0%	12.1%	14.1%	6.3%	5.7%	6.5%
C-A(%)	12.5%	13.5%	16.7%	6.8%	6.6%	7.2%
D-A(%)	3.8%	3.3%	3.9%	4.3%	4.0%	5.4%

(1) A–Configurazione attuale, B–Allargamento di una buca, C–Allargamento di due buche, D–Inversione del traffico

L'aumento del numero di carichi ottenibile con diverse strategie è di rilevante interesse per i centri stoccaggio. Questo dato non è ottenibile con i modelli di simulazione tradizionali, dove il flusso di entrata è inserito come un parametro di input, senza la possibilità di valutare i vantaggi per il singolo agricoltore derivanti dalle strategie migliorative della capacità di ricevimento presso il centro di stoccaggio. Inoltre, le strategie simulate hanno comportato risparmi nei tempi di servizio per ogni singolo carico. In particolare, per il flusso di granella F1 i risparmi dovuti all'allargamento di una buca o di entrambe sono stati del 30,4 e del 44,1% rispetto allo scenario di partenza – Strategia A – mentre il cambiamento di traffico all'interno del centro ha comportato la riduzione dei tempi di servizio del 10-13,4%. Per il flusso di granella F2, i risparmi dovuti all'allargamento di una buca o di entrambe sono stati del 21,9% rispetto allo scenario A, mentre il cambiamento di traffico all'interno del centro ha comportato la riduzione dei tempi di servizio del 10,6-12,6% (Figura 9 e Figura 10).

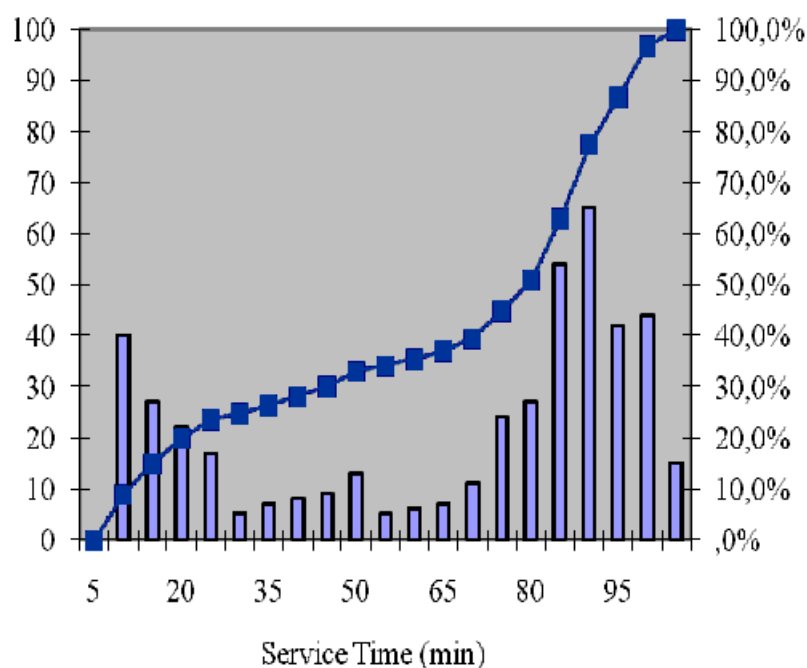


Fig. 9 – Strategia A. Distribuzione dei tempi di servizio nei giorni di traffico molto elevato

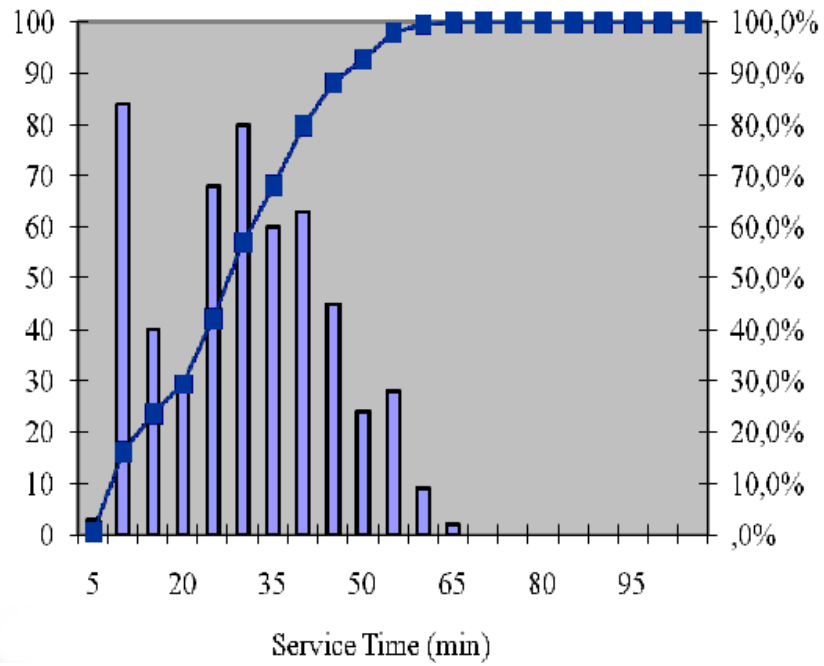


Fig. 10 – Strategia C. Distribuzione dei tempi di servizio nei giorni di traffico molto elevato

Nella Strategia A il tempo di servizio è stato maggiore (Figura 11) e il numero di scarichi per autocarro minore, rispetto alla strategia C (Figura 12).

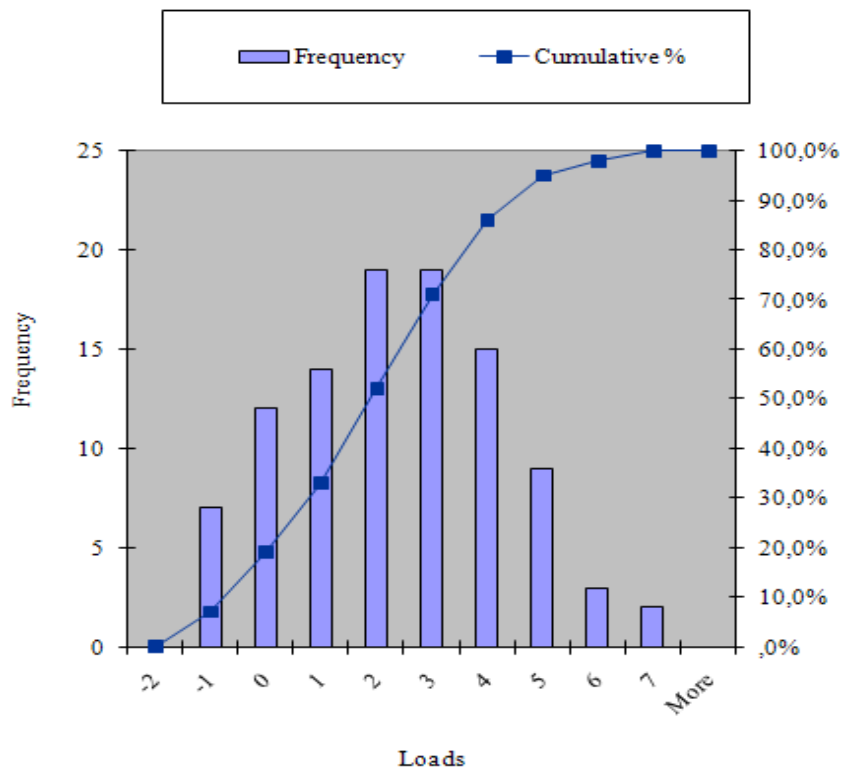


Fig. 11 – Strategia A. Distribuzione del numero di scarichi per autocarro nei giorni di traffico molto elevato



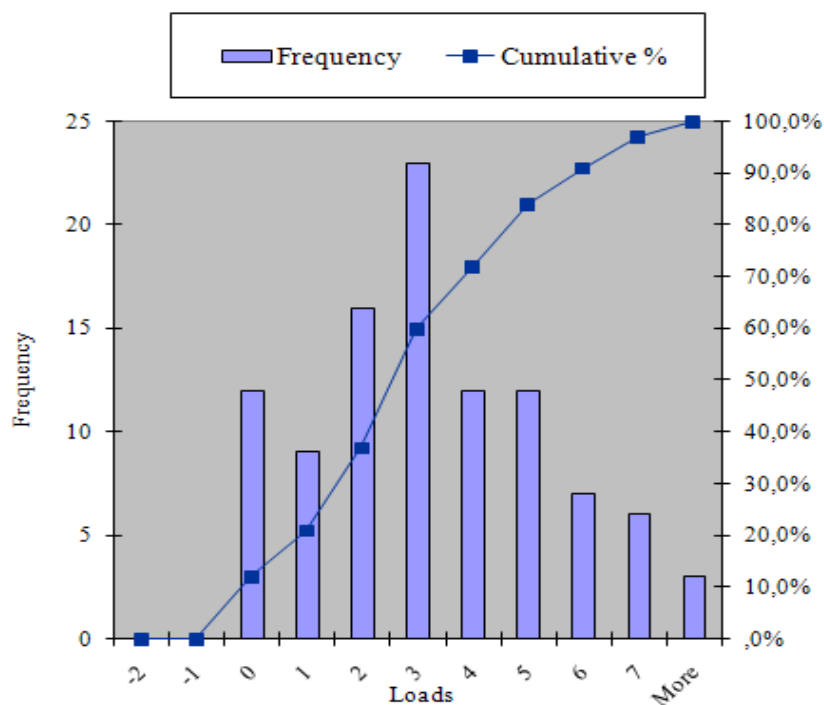


Fig. 12 – Strategia C. Distribuzione del numero di scarichi per autocarro nei giorni di traffico molto elevato

## Considerazioni

La ricerca presentata è riferita all'implementazione di un modello a rete per simulare l'aumento di capacità nelle operazioni di scarico della granella presso il centro di stoccaggio e l'effetto sulla capacità di raccolta-trasporto degli autocarri che conferiscono il prodotto.

Con il modello a rete sono state confrontate quattro diverse strategie di configurazione e gestione del traffico – scenario di partenza, allargamento di una buca, allargamento di due buche, inversione del traffico all'interno dell'impianto – in funzione di due differenti flussi di granella in ingresso (F1 e F2) e di tre diversi livelli di volume di traffico: medio, elevato e molto elevato.

Il modello è stato utilizzato con lo scopo di calcolare la performance massima del sistema raccolta-trasporto e stoccaggio del prodotto. Con il flusso di granella F1, l'allargamento di entrambe le buche ha comportato incrementi del numero di carichi consegnati pari al 16,7%, con una riduzione dei tempi di servizio del 34-44%. Con il flusso di granella F2, l'allargamento di entrambe le buche ha comportato incrementi del numero di carichi consegnati pari al 7,2%, con una riduzione dei tempi di servizio del 16,2%.

In conclusione, si può dire che il modello a rete consente di evidenziare i vantaggi sia per l'impianto di stoccaggio che per gli agricoltori e che i due sistemi, raccolta-trasporto e scarico-stoccaggio del prodotto, sono fortemente interconnessi a costituire un unico sistema.

Le strategie simulate di scarico del prodotto e flussi in arrivo, hanno un effetto importante sulle performance dell'impianto e sull'impatto delle innovazioni che possono interessare sia il centro di stoccaggio, sia il cantiere di raccolta-trasporto, con l'adozione di nuove macchine a elevata capacità.

Il modello implementato consente di investigare entrambe le situazioni, e bene si presta a studiare scenari complessi a livello regionale, che coinvolgono più centri di stoccaggio, quali ad esempio la verifica dell'introduzione di cereali OGM ed il loro impatto sulle operazioni post-raccolta.

Anche in questo caso si evidenzia come l'impiego della simulazione consenta di investigare nel dettaglio scenari e sistemi complessi, legati non solo alla dotazione di risorse ma anche alle strategie di gestione delle stesse.