



Azienda Agricola Cazzola – 10 Ottobre 2024

Via Spolverine, 1164, 37056 Salizzole (VR)

<https://www.agricolacazzola.it/2021/11/24/articolo-di-prova-due/>

La distribuzione ottimizzata del digestato: valutazioni tecnico-economiche dei cantieri innovativi in aziende-tipo



Marco Fiala

Università degli Studi di Milano «La Statale»

Dipartimento Scienze Agrarie e Ambientali. Produzione, Territorio, Agroenergia (DiSAA)



++39 02 503 16868



marco.fiala@unimi.it



- a) Impiego agronomico del **digestato** → Cantieri di lavoro **alta efficienza** (meccanica ed economica, agronomica con pieno valorizzazione della risorsa) e **ridotti impatti ambientali**
- b) Modello aperto (implementabile) → **8 cantieri** studiando separatamente le fasi di: (i) TRASPORTO, (ii) DISTRIBUZIONE
- c) **Cantiere di trasporto** → **garantire un flusso costante di digestato (t/h), pari alla produttività massima della macchina di distribuzione**
- d) Sequenziamento delle due fasi in più **operazioni**:

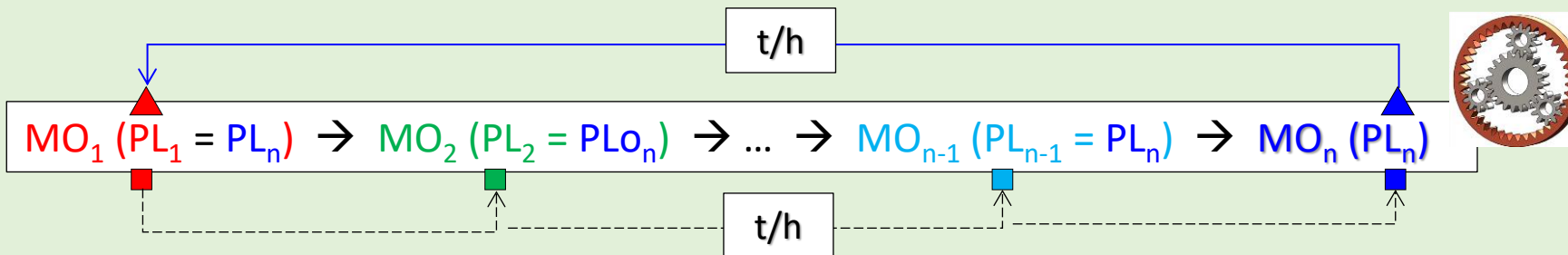
TRASPORTO

1. **Riempimento 1** (→ riempimento serbatoio + accessori)
2. **Trasferimento** (→ andata + ritorno + accessori)
3. **Riempimento 2** (→ riempimento serbatoio + accessori)

DISTRIBUZIONE

1. **Entrata-Uscita dal campo** (d prefissata)
2. **Spandimento** (→ erogazione + svolte + accessori)

- e) Tragitto di trasporto suddiviso in **4 tipologie stradali diverse** (stoppie, sterrato, asfalto, altro)
- f) Per ciascuna tipologia stradale, **2 velocità di trasferimento** (a vuoto, a pieno carico) e di distribuzione (uscita, entrata in campo)



CALCOLARE PRESTAZIONI

1. **meccaniche** delle singole macchine e del cantiere nel suo complesso
2. **economiche** (costi operativi) → contoterzisti (tariffe locali, indic. agr.)



t/h; m³/h
ha/h; ha/giorno



€/t; €/m³; €/kg N

**AL VARIARE DELLA
DISTANZA DI TRASPORTO
(d; km)**

APPLICAZIONE DEL MODELLO ALL' AZIENDA CAZZOLA (SALIZZOLE): PARAMETRI AZIENDALI

1511 ha



			1° R	2° R	
Frumento t&d	A _{c1}	ha	537		V
Mais	A _{c2}	ha	370	260	P
Colza	A _{c3}	ha	40		V
Pisello da industria	A _{c4}	ha	264		V
Pomodoro da industria	A _{c5}	ha	150		P
Sorgo	A _{c6}	ha		465	P
Fieno e insilati	A _{c7}	ha	90		V
Medica	A _{c8}	ha	60		
Soia	A _{c9}	ha		200	P
...	A _{c10}	ha			
Superficie coltivata	A_c	ha	1511	925	

COLTURE VERNINE [V]
931 ha

FRUMENTO
537 ha

COLTURE PRIMAVERILI [P]
1445 ha

MAIS
630 ha

2 x 1 MW
1 x 60 kW



CARATTERISTICHE FERTILIZZANTE ORGANICO			
MATERIALE	DENSITA'	SOLIDI TOTALI	SOLIDI VOLATILI
DIGESTATO	ρ	ST	SV
STATO	t/m ³	%	%
FL	1,020	5,70%	98,36%

COLTURE PRIMAVERILI (mais):
280 kg/ha N; efficienza: 80% → DOSE D_{DIG} = 105 t/ha

ANALISI CHIMICA				
mg/kg SS	kg/t SS	kg/t TQ	kg/m ³	%
		N _{TOT}		
62124	62,1	3,54	3,61	0,35%
		P ₂ O ₅		
13328	13,3	0,76	0,77	0,08%
		K ₂ O		
52487	52,5	2,99	3,05	0,30%

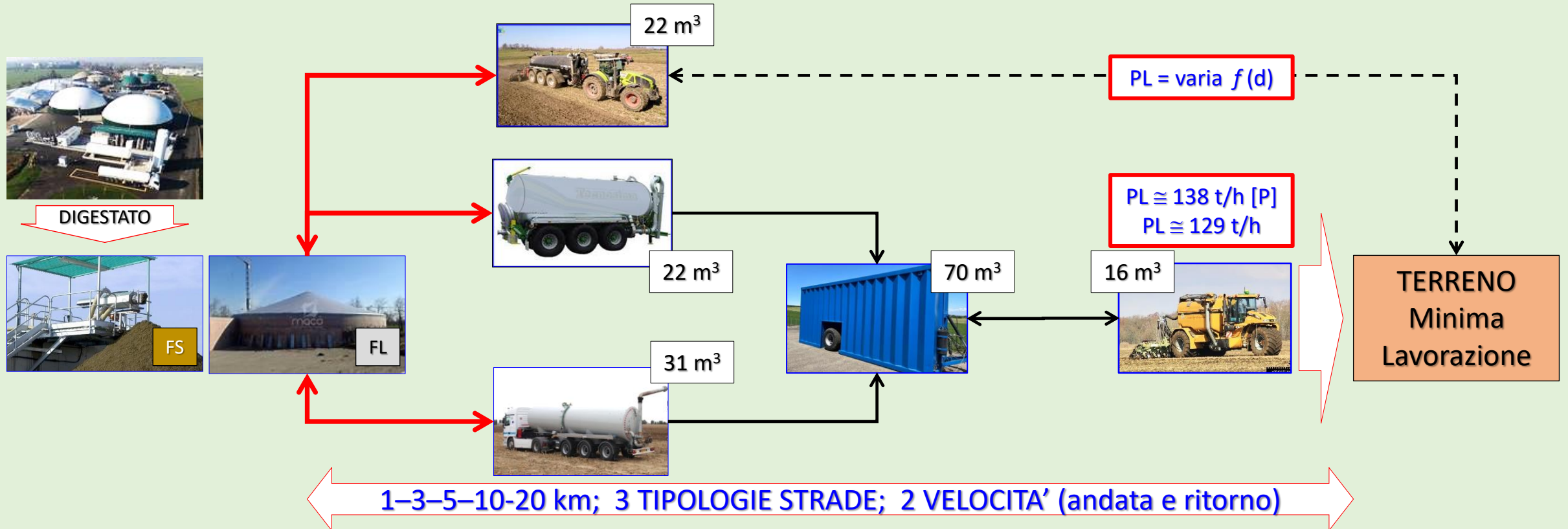
COLTURE VERNINE:
180 kg/ha N; efficienza: 60% → DOSE D_{DIG} = 90 t/ha

TRAGITTO ACCUMULO 1^{ario} - CAMPO

Stoppie	TF1	km	0,15				
Sterrato	TF2	km	0,10	0,3	0,5	1,0	2,5
Asfalto	TF3	km	0,90	2,7	4,5	9,0	17,5
Altro	TF4	km	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
Distanza totale	d	km	1,00	3,0	5,0	10,0	20,0

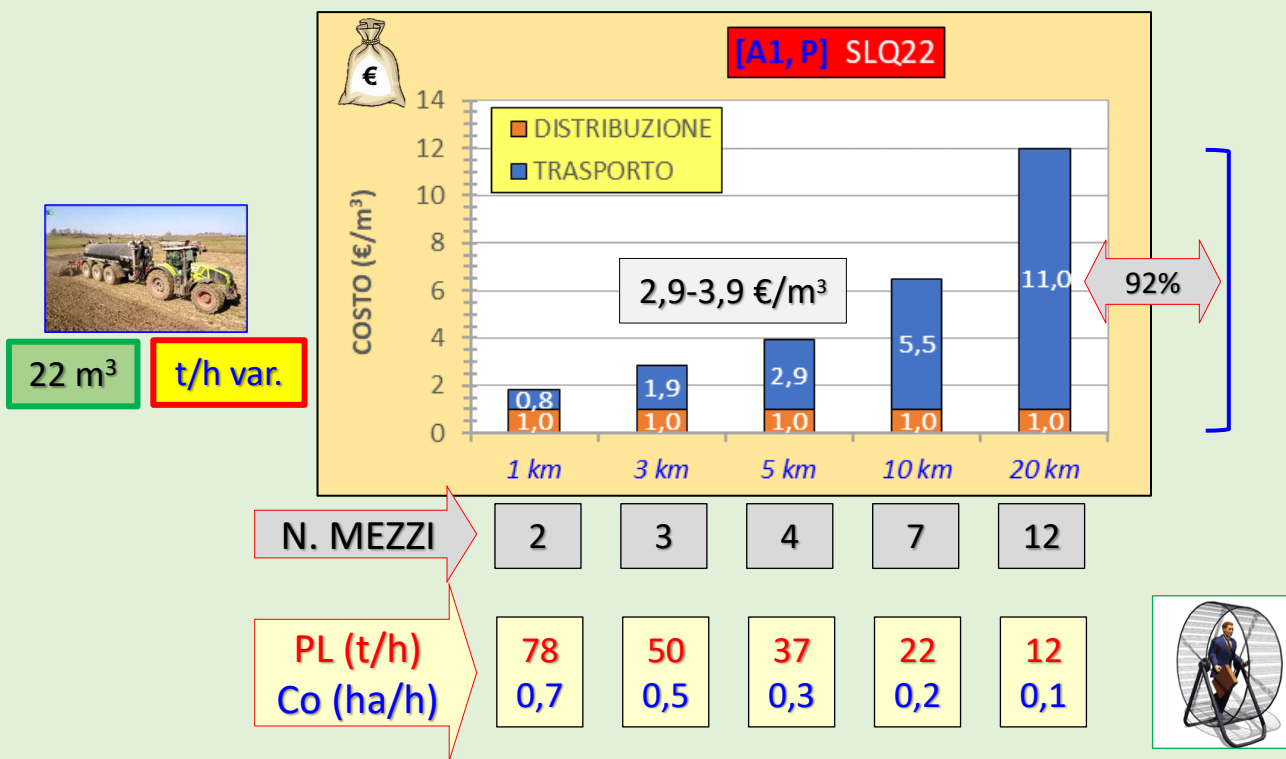
DISTANZA SIMULATE

3 CANTIERI: ANALIZZATI PER % DISTANZE DI TRASPORTO DEL DIGESTATO



	APPROVVIGIONAMENTO		DISTRIBUZIONE
	CARICO E TRASPORTO	ACCUMULO 2 ^{ario}	MACCHINA OPERATRICE
SLQ22	TR + <u>Spandiliquame</u> (22 m ³) con distributore		
CBT22 + BAL70 + SMV16	TR + <u>Carrobotte</u> (22 m ³)	Carro Balia (70 m ³)	Spandiliquame semovente (16 m ³)
CST31 + BAL70 + SMV16	<u>Autocisterna</u> (31 m ³)		

D = 105 t/ha	APPROVVIGIONAMENTO		DISTRIBUZIONE
	CARICO E TRASPORTO	ACCUMULO 2 ^{ario}	MACCHINA OPERATRICE
SLQ22	TR + Spandilquame (22 m ³) con distributore		



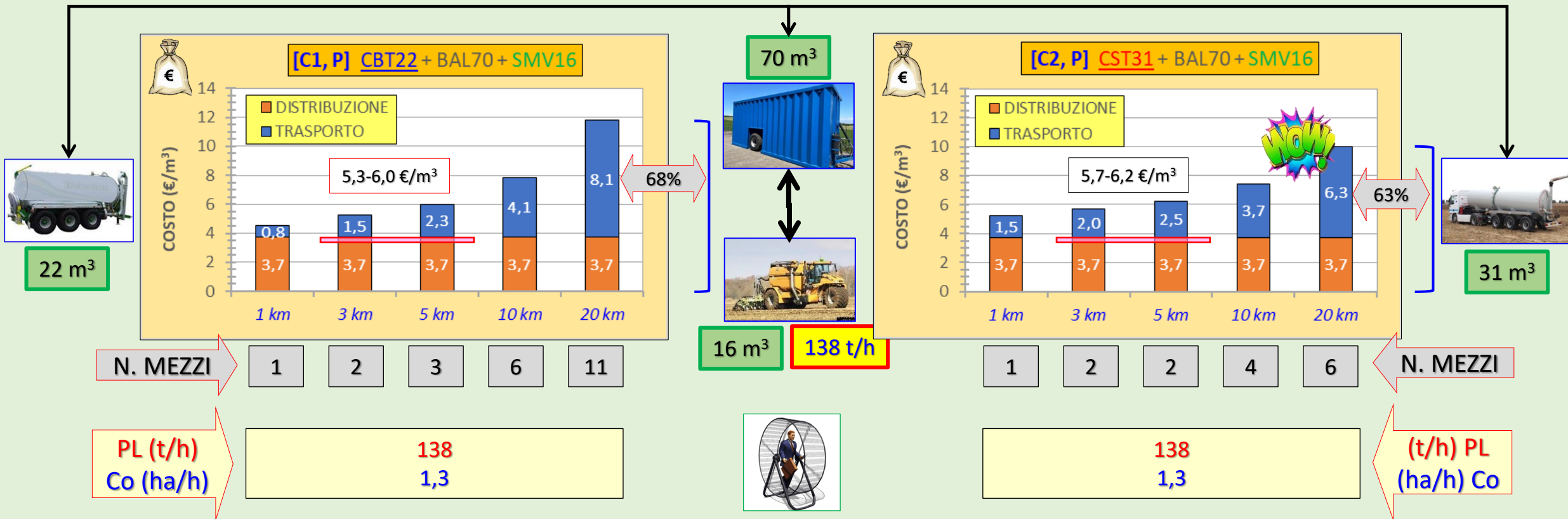
22 m³ t/h var.

N. MEZZI	2	3	4	7	12
PL (t/h)	78	50	37	22	12
Co (ha/h)	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1



Costi Approvvigionamento: ****; Costi Distribuzione: * (DST: 1,0 €/m³); Tecnologia: ***; Qualità lavoro ***; Tempestività: **

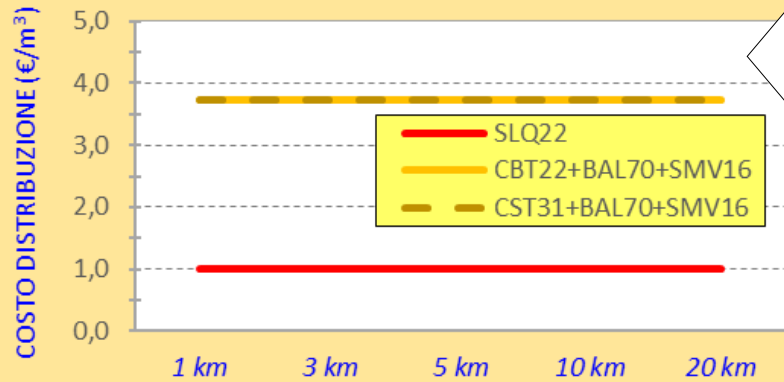
D = 105 t/ha	APPROVVIGIONAMENTO		DISTRIBUZIONE
	CARICO E TRASPORTO	ACCUMULO 2 ^{ario}	MACCHINA OPERATRICE
CBT22+BAL70+SMV16	TR + <u>Carrobotte</u> (22 m ³)	Carro Balia (70 m ³)	Spandiliquame semovente (16 m ³)
CST31+BAL70+SMV16	<u>Autocisterna</u> (31 m ³)		



Costi Approvvigionamento: **; Costi Distribuzione: *** (DST: 3,7 €/m³), Tecnologia: ****; Qualità lavoro ****; Tempestività: ****

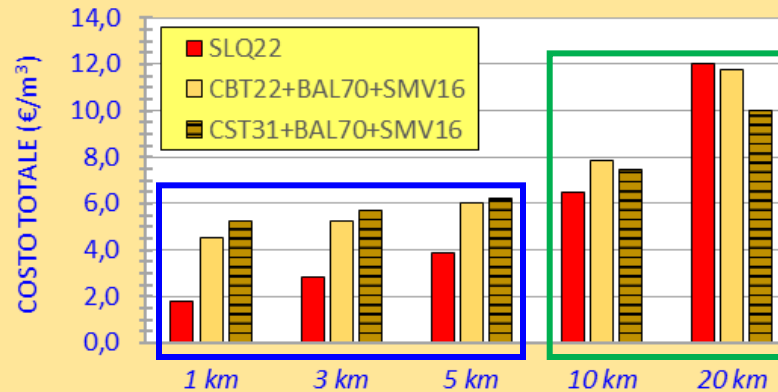
COSTI OPERATIVI (€/m³): VALUTAZIONI COMPARATIVE (PRIMAVERILI)

[P], CONFRONTO COSTI DISTRIBUZIONE



La distribuzione con macchine a elevato livello tecnologico ed efficienza qualitativa (spandiliquame semoventi, 16 m³) ha costi sensibilmente maggiori (3-4 volte) rispetto a spandiliquame trainato

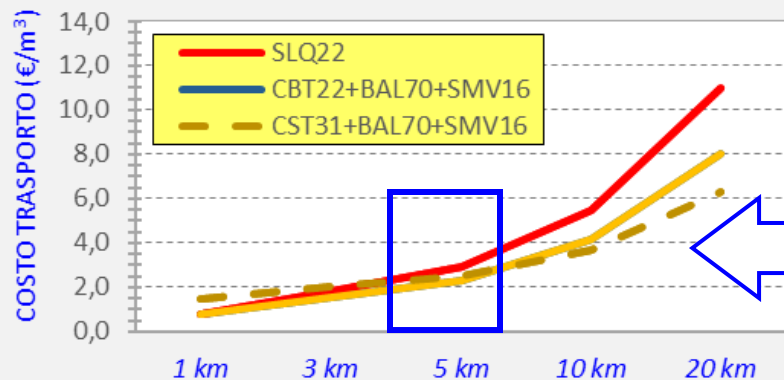
[P], CONFRONTO COSTI TOTALI



Fino a $d \leq 6$ km: la soluzione più competitiva è lo spandiliquame trainato (22 m³). Impiegando spandiliquame semoventi (16 m³), meglio carrobotte

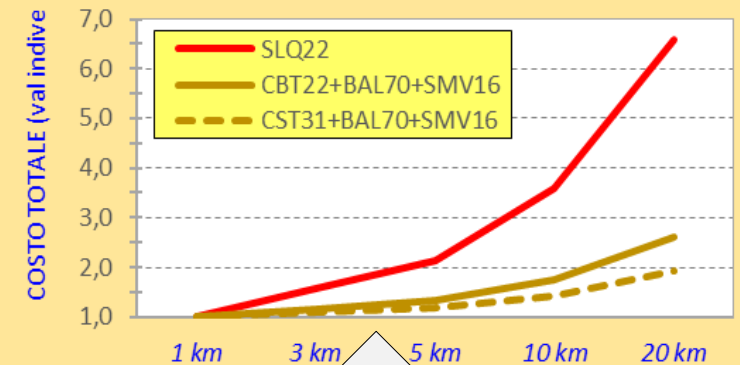
Con $d > 6$ km: l'uso della autocisterna (31 m³), istogramma tratteggiato) riduce i costi tanto più sensibilmente quanto maggiore è la distanza (d)

[P&V], CONFRONTO COSTI TRASPORTO



Con $d > 5-6$ km l'uso della autocisterna (31 m³) è sempre più conveniente. Con $d < 3$ km lo spandiliquame trainato (22 m³) ha i costi minori - anche di approvvigionamento.

[P], CONFRONTO COSTI TOTALI (val. indice)



L'uso dell'autocisterna (linea tratteggiata) comporta aumenti di costo unitario molto poco influenzati dall'aumento della distanza.

CODICE	COSTI TOTALI (€/m ³)				
	€/m ³				
	1 km	3 km	5 km	10 km	20 km
SLQ22	1,8	2,9	3,9	6,5	12,0
CBT22 + BAL70 + SMV16	4,5	5,3	6,0	7,9	11,8
CST31 + BAL70 + SMV16	5,2	5,7	6,2	7,4	10,0

Due fattori condizionano l'aumento dei costi totali:

- grado di specializzazione delle macchine → correlato all'aumento dei costi di distribuzione (tariffe maggiori) **POCO OTTIMIZZABILE**
- distanza → correlata all'aumento dei costi di trasporto → **OTTIMIZZABILE** (aumento: (i) volumi, (ii) velocità di percorrenza).

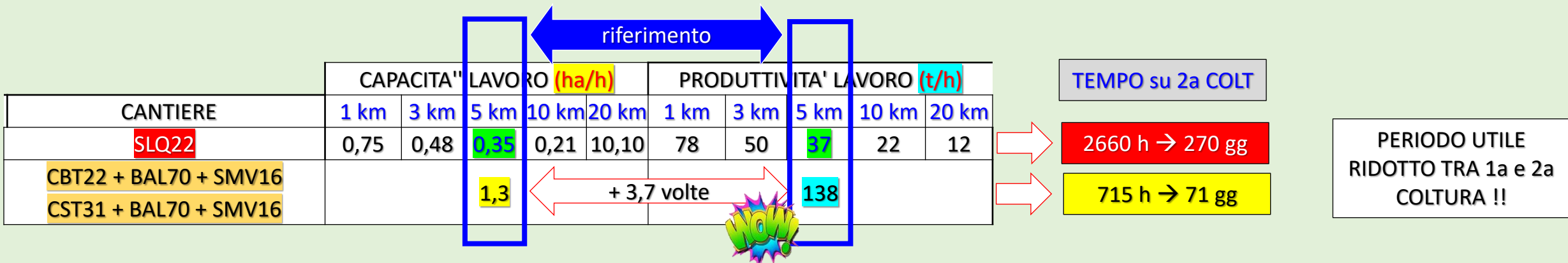
Ne deriva che i cantieri

- a fasi riunite (SLQ22) sono convenienti ($\leq 4 \text{ €/m}^3$) a distanze $d < 5 \text{ km}$
- a fasi separate con macchine ad elevato livello tecnologico - pur registrando costi **sempre $\geq 7 \text{ €/m}^3$** - sono convenienti - a distanze $d > 10 \text{ km}$

CAPACITÀ (ha/h) E PRODUTTIVITÀ (t/h) – TABELLA DI SINTESI

MAGGIORE CAPACITA' LAVORO = MAGGIORE TEMPESTIVITA' DI INTEERVENTO

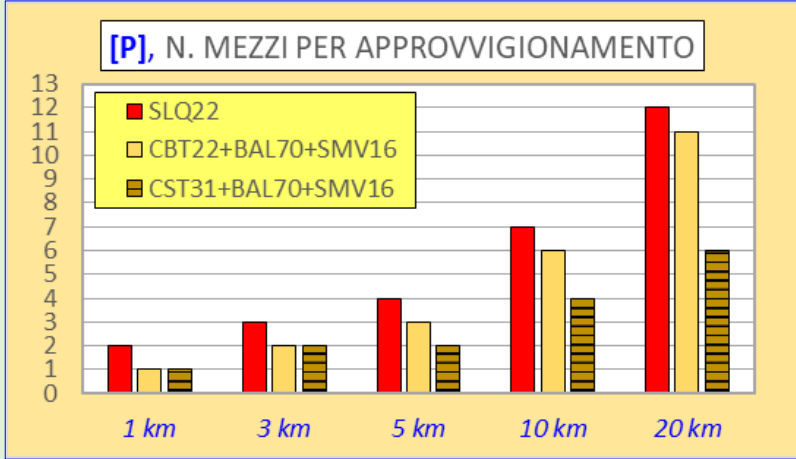
Az. Cazzola: circa 1500 ha colture 1° R (periodi utile: 40 gg) + 930 ha colture 2° R (periodi utile: 10 gg) SE tutti campi a d = 5 km a dose: D_{DIG} = 105 t/ha



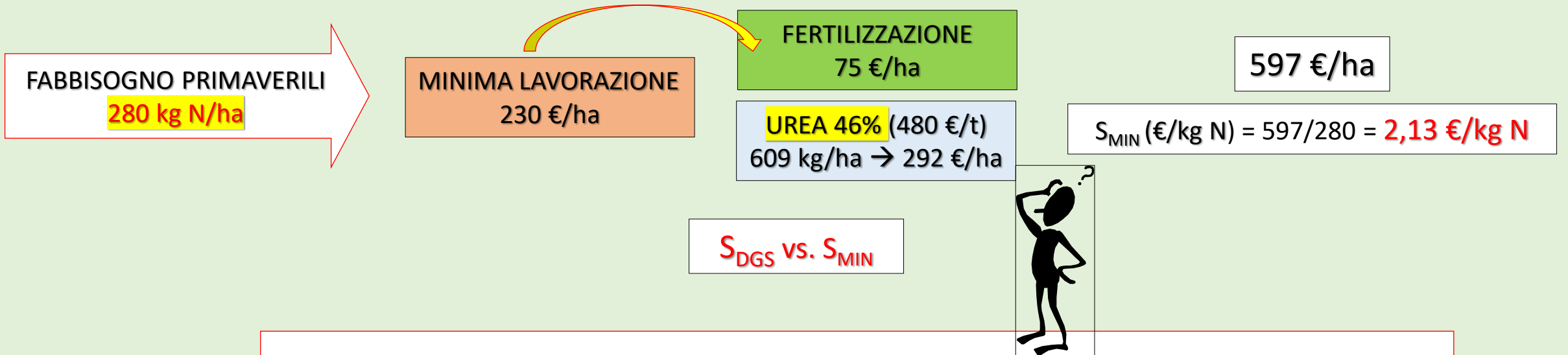
FLOTTA MEZZI TRASPORTO - TABELLA DI SINTESI

CANTIERE	NUMERO MACCHINE				
	1 km	3 km	5 km	10 km	20 km
SLQ22 (* anche distribuzione)	2*	3*	4*	7*	12*
CBT22 + BAL70 + SMV16	1	2	3	6	11
CST31 + BAL70 + SMV16	1	2	2	4	6

MAGGIOR NUMERO =
 + COMPLESSITA' ORGANIZZ.
 + CONSUMI
 + IMPATTO AMBIENTALE
 + INCONVENIENTI MECCAN.
 + TRAFFICO LOCALE



COMPARAZIONE TRA IL COSTO DA SOSTENERE PER LA COPERURA DEI FABBISOGNI AZOTATI (kg N/ha) DELLA COLTURA MEDIANTE FERTILIZZANTI MINERALE (Urea 46%; S_{MIN} ; €/kg N)) E ANALOGO COSTO MEDIANTE FERTILIZZAZIONE ORGANICA CON DGESTATO (S_{DGS} ; €/kg N) → SE $S_{DGS} < S_{MIN}$ → PIU' ECONOMICA LA FERTILIZZAZIONE ORGANICA



DAL TITOLO N DEL DIG FL (N% = 3,61 g N/m³) SI CONVERTONO I COSTI OPERATIVI DA €/m³ A €/kg N, CONSENTENDO IL **CONFRONTO CON ANALOGO APPORTO CON N MINERALE**

CANTIERE	COSTI TOTALI				
	€/kg N				
	1 km	3 km	5 km	10 km	20 km
SLQ22	0,50	0,79	1,08	1,80	3,32
CBT22 + BAL70 + SMV16	1,25	1,46	1,66	2,18	3,26
CST31 + BAL70 + SMV16	1,45	1,58	1,72	2,06	2,78

DELOCALIZZAZIONE ACCUMULI
RIDEFINIZIONE LOGISTICA TRASPORTI AZIENDALI

CONCLUSIONI

L'IMPIEGO AGRONOMICO DEL DIG PUO' COPRIRE IN GRAN PARTE O TOTALMENTE I FABBISOGNI DI N DELLE COLTURE

Cantieri a fasi riunite: MO convenzionali, gamma volumi (10÷30 m³), robuste e operativamente adattabili.
Diffusione: elevata. Tecnologia: medio livello.

- **Spandiliquame trainato** (22 m³): Specializzazione: medio. Influenza fase trasporto: molto elevata (con d > 4 km → produttività ridotta → durata prolungata intervento). Tempi accessori: elevati. Compattamento: molto elevato.

COSTI COMPETITIVI ≤ 4 €/m³ PER DISTANZE d < 5 km

Cantieri a fasi separate: MO specializzate, gamma volumi (15÷22 m³), operativamente adattabili.
Diffusione: limitata. Tecnologia: elevata.

- **Spandiliquame semovente** (16 m³): Specializzazione: molto elevata. Influenza fase trasporto: elevata (con d > 4 km → auspicabile impiego autocisterna). Tempi accessori: molto contenuti. Compattamento: molto contenuto.

COSTI COMPETITIVI > 7 €/m³ PER DISTANZE d > 10 km

MA... IL COSTO UNITARIO (€/m³) NON E L'UNICO PARAMETRO DA CONSIDERARE PER LA SCELTA OTTIMALE

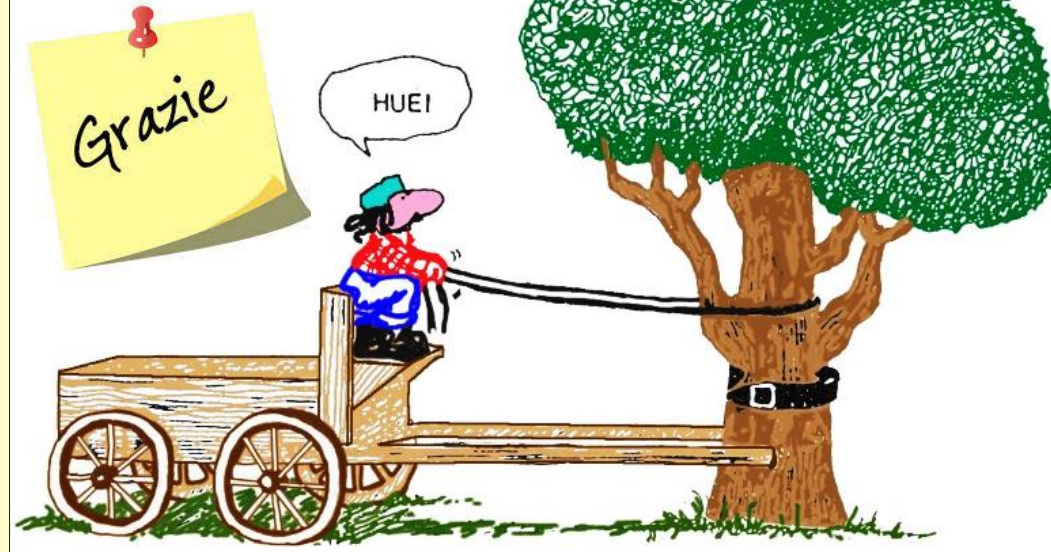
I CANTIERI A FASI SEPARATE HANNO ALTRI VANTAGGI ESTREMAMENTE IMPORTANTI

- produttività lavoro → tempestività dell'intervento (specie nel breve periodo tra raccolta 1° coltura e semina 2a coltura)
- efficienza di distribuzione e accuratezza di localizzazione
- proprietà chimico-fisiche del terreno (compattamento)
- mezzi coinvolti (contenimento emissioni)

Biomasse...

SI PUO' FARE TUTTO !

Beh... quasi tutto...



Prof. Marco Fiala ☎ ++39 02 503 16868 ✉ marco.fiala@unimi.it
Dipartimento Scienze Agrarie e Ambientali. Produzione, Territorio, Agroenergia
CV: <https://www.unimi.it/it/ugov/person/marco-fiala>