

# BIOMASSE E SOTTOPRODOTTI: I POSSIBILI CANTIERI DI RACCOLTA DEI RESIDUI DI MAIS

**Mais**  
100%



di **Marco Fiala<sup>1</sup>, Mattia Ferrari<sup>1</sup>, Paolo Mantovi<sup>2</sup>, Mariangela Soldano<sup>2</sup>, Andrea Zanaroli<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Università degli Studi di Milano, Dip. Scienze Agrarie e Ambientali. Produzione, Territorio, Agroenergia

<sup>2</sup>Fondazione CRPA Studi Ricerche

**DOPO IL PRIMO BIENNIO DI PROVE IN CAMPO, LE PRIME INDICAZIONI SU OPERATIVITÀ E COSTI DELLE SOLUZIONI TESTATE IN CAMPO DAL GRUPPO OPERATIVO "MAIS100%".**

Il cambiamento in atto degli scenari geo-politici ed economici, spinge ancor di più il nostro Paese verso la diffusione delle Fonti Energetiche Rinnovabili. Nel settore agricolo la produzione di biometano da Digestione Anaerobica (DA) può fornire un importante contributo alla riduzione delle importazioni di combustibili fossili e alla riduzione dell'impatto ambientale sia del settore trasporti che di quello industriale.

Tale obiettivo risulta oltremodo interessante se, come prevede la vigente normativa, la DA viene alimentata principalmente da matrici residuali. Fra queste, i residui di mais da granella umida (pastoni), possono essere vantaggiosi sia per disponibilità che per potenzialità. Oltre a questo, in un'ottica di integrazione di filiere, possono contribuire alla creazione di ulteriore valore aggiunto per la coltura.

Il recupero di questi residui, la cui resa media negli areali padani è di 6-10 t/ha di sostanza secca (SS), è attuabile con cantieri di lavoro successivi alla raccolta della granella, basati su uno o più passaggi di macchine specifiche o già utilizzate anche su altre colture e adattate allo scopo. In quest'ambito, il Gruppo Operativo "Mais100%" (finanziato dal PSR di Regione Lombardia) dall'annata 2020 sta testando alcuni cantieri di lavoro presso quattro Aziende cerealicolo-zootecniche-energetiche della Pianura Padana (Figura 1):

• Standard a passaggio unico (STD): trincia-caricatrice (TC) con testata "whole-crop";

• Innovativo a 2 passaggi (INN\_A): (P1) trattore (TR) con trinciastocchi-andanatore e (P2) TC con testata "pick-up";

• Innovativo a passaggio unico (INN\_B): TC con testata specifica "trinciante"

A ciascun cantiere di raccolta è abbinato un cantiere di conferimento, composto da trattori (TR) e dumper (D), in numero variabile in relazione alle specifiche condizioni operative (distanze e condizioni del trasporto, tempi di scarico ecc.).

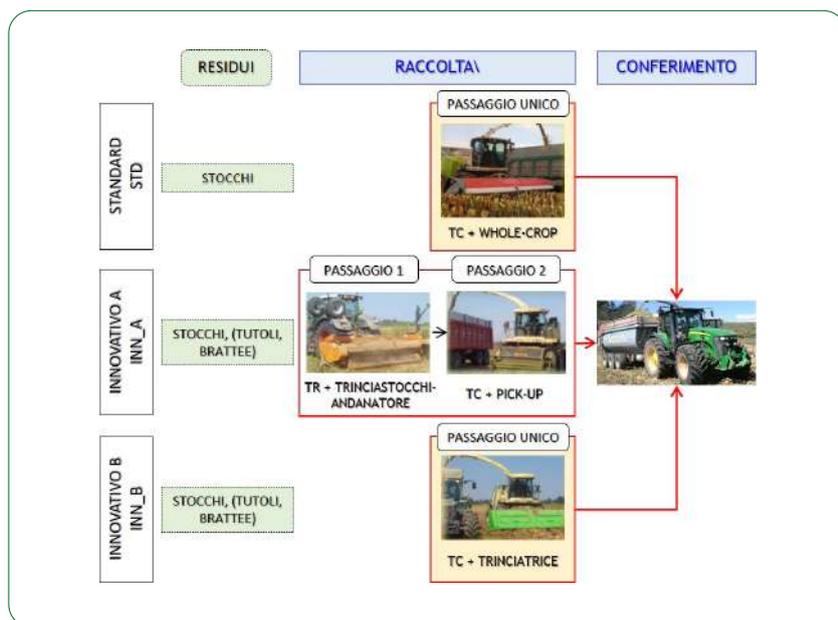


Figura 1: Cantieri utilizzati nelle prove sperimentali nel biennio 2020 e 2021 (Fonte: Fiala M.)

## Prime indicazioni su operatività e costi dei cantieri

Nel 2020 le prove hanno interessato 29 ha, ripartiti in 13 ha (STD), 11 ha (INN\_A) e 5 ha (INN\_B), mentre nel 2021 la superficie di prova è stata di 25 ha (13 e 12 ha, rispettivamente per STD e INN\_A).

In Tabella 1 vengono riportate, in sintesi, le prestazioni meccaniche ed economiche dei tre cantieri in riferimento ai principali parametri energetici dei residui recuperati. Poiché la fase di raccolta del cantiere STD è stata effettuata da contoterzisti mentre per i cantieri INN\_A e INN\_B sono state utilizzate macchine aziendali, ai fini del confronto i costi di raccolta dei residui sono stati uniformati riferendosi alle tariffe dei contoterzisti locali per tutte le soluzioni.

Le capacità operative di lavoro ( $C_o$ ; ha/h) riscontrate nei test del primo biennio risultano migliorabili: infatti, l'eliminazione dei tempi morti strettamente connessi alle condizioni sperimentali, comporta, a parità di superficie lavorata, un incremento della  $C_o$  (10-25% per il cantiere STD; 35-40% per il cantiere INN\_A; 40-55% per il cantiere INN\_B), a beneficio dei costi associati.

I costi per metro cubo di metano sono riferiti al potere metanigeno dei residui del mais al momento dell'insilamento; ai fini del bilancio energetico, tale costo va espresso con riferimento alla biomassa desilata considerando, quindi, le variazioni dei parametri qualitativi avvenute durante la conservazione in trincea. L'espressione dei costi riferita al volume di  $CH_4$  è particolarmente significativa in quanto tiene conto delle prestazioni sia quantitative (massa di residui recuperati), sia qualitative (resa in  $CH_4$  dei residui) del cantiere.

Per il cantiere a passaggio unico STD, le perdite di resi-

duo (pCP; %) possono essere contenute adottando alcuni accorgimenti (adattare altezza e velocità di lavoro, raccogliere su appezzamenti non eccessivamente assolcati e con senso inverso di marcia opposto a quello della spannocchiatrice, aumentare il numero di file della testata spannocchiatrice). Per i due restanti cantieri le perdite dipendono in larga misura dall'altezza di lavoro che, tuttavia, non deve essere eccessivamente ridotta, pena l'inquinamento con inerti del residuo raccolto.

Capacità operativa di lavoro ( $C_o$ ; ha/h) e costo specifico ( $CTCH_4$ ; €/Nm<sup>3</sup>) della fase di raccolta di ciascun cantiere, sono sintetizzati in Figura 2. I costi di conferimento non sono invece indicati in quanto le differenti condizioni operative registrate in ciascuna prova (tipologia e dimensionamento delle flotte, fondi stradali, distanze di trasporto) rendono impossibile la comparazione. Va tuttavia evidenziato che il costo di conferimento presenta una incidenza piuttosto elevata sul costo finale di recupero, superando, nei casi di errato dimensionamento, il 50% del costo totale.

In sintesi, dal confronto dei valori fra i due anni di prove, si evidenzia che:

- cantiere STD: la capacità di lavoro è più stabile nel primo anno (2,3-2,5 ha/h), molto meno nel 2021 (1,4-5,4 ha/h). Non considerando i valori massimi, si registra un'ottima  $C_o = 2,5-3,4$  ha/h, ma con elevate quantità di residui non raccolti pCP = 35-60%. Il costo specifico è molto variabile, tolti i valori limite si colloca nel range  $CTCH_4 = 0,120-0,180$  €/Nm<sup>3</sup>
- cantiere INN\_A: la capacità di lavoro è pure abbastanza variabile, ma - rispetto a STD - sempre minore ( $C_o = 0,7-1,3$  ha/h) e con perdite paragonabili pCP = 38-58%. Il costo specifico si colloca nel range  $CTCH_4 = 0,130-0,180$  €/Nm<sup>3</sup>;

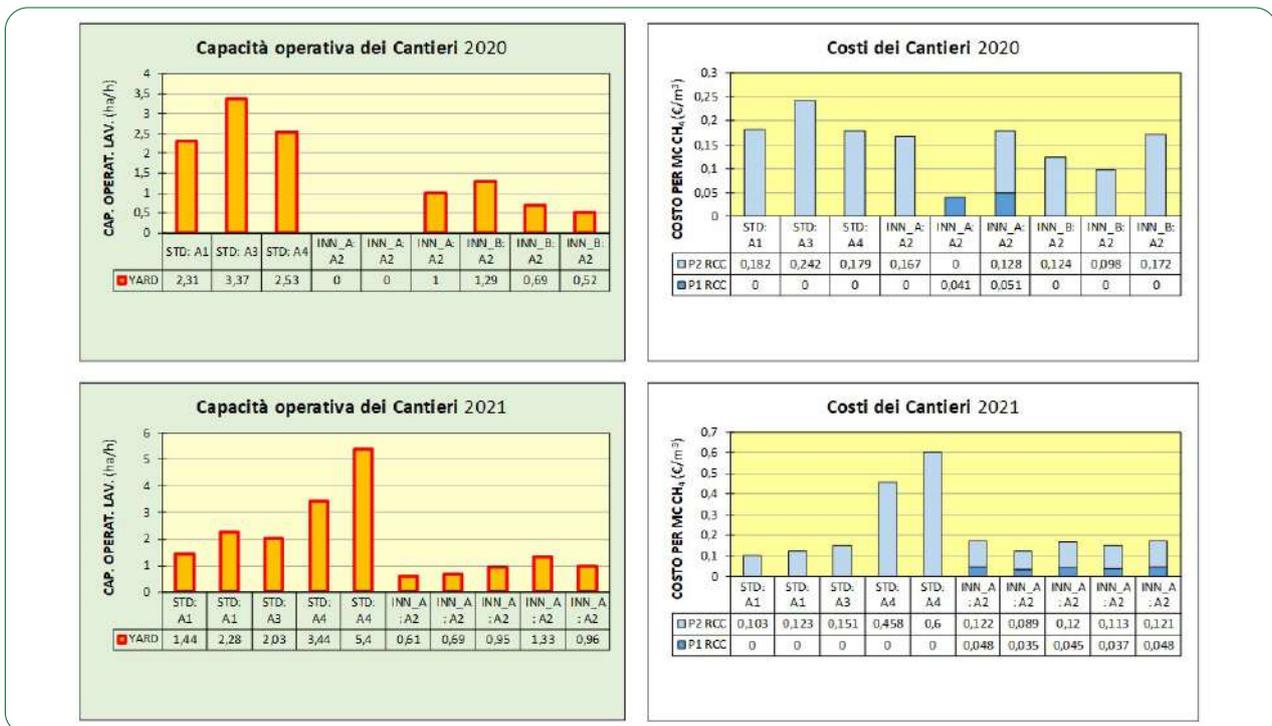


Figura 2: Fase di raccolta dei cantieri provati nelle annate 2020 (in alto) e 2021 (in basso): a sinistra si riporta la capacità operativa di lavoro; a destra vengono riportati i costi a metro cubo di metano (rif. to contoterzisti)

Parametro Parameter	Unità di misura Unit	Media 2020 2020 average	Media 2021 2021 average	Min	Max
Sostanza secca / Dry Matter	% tq	32,7	30,5	22,4	44,8
Ceneri / Ash	%SS	8,4	9,5	6,6	11,8
Emicellulosa / Hemicellulose	%SS	27,3	28,3	21,9	34,9
Cellulosa / Cellulose	%SS	37,7	36,1	32,8	39,7
Lignina / Lignin	%SS	6,1	6,1	4,8	10,2
Proteine / Protein	%SS	5,8	6,4	2,8	8,1
Lipidi / Lipids	%SS	1,3	0,9	0,4	1,9
Zuccheri / Sugars	%SS	7,0	6,4	2,5	12,5
Amido / Starch	%SS	3,4	3,5	0,8	6,5

Tabella 2: Valori medi, minimi e massimi dei principali componenti per i residui di mais alla raccolta (anni 2020 e 2021)

Table 2: Medium, minimum and maximum values of principal components of maize residues (year 2020 and 2021)

• cantiere INN\_B: la capacità di lavoro è la più bassa in assoluto ( $Co = 0,5-0,6$  ha/h), così come, peraltro, le perdite di residuo lasciato in campo  $pCP = 10-15\%$ . Il costo specifico si colloca nel range  $CTCH_4 = 0,100-0,170$  €/Nm<sup>3</sup>.

### Qualità dei residui di mais

Nei primi due anni di prove (2020 e 2021), i residui nelle quattro aziende del Gruppo Operativo sono stati raccolti da fine agosto a metà settembre per il mais in coltura principale e a metà ottobre per i secondi raccolti. I residui di mais sono stati campionati sia alla raccolta, come materiali freschi, che a seguito di insilamento durato qualche mese, e caratterizzati dal punto di vista qualitativo.

Per entrambe le annate si è trattato di materiali piuttosto variegati (Tabella 2), con il tenore di sostanza secca che è variato ampiamente, in funzione sia dello stato di maturazione delle piante che del tempo intercorso tra la raccolta del prodotto principale (pastone integrale o di granella) e quella dei residui lasciati sul campo; in generale tale intervallo è risultato piuttosto ridotto e non ha consentito essiccazione significativa dei residui. Anche il tenore di ceneri ha evidenziato una forbice di valori piuttosto ampia, coi valori tendenzialmente più alti riscontrati nei campioni provenienti dal cantiere di raccolta col trinciastocchi andanatore (INN\_A), che evidentemente ha incrementato la contaminazione con terra, ma anche per un campo raccolto col sistema Standard (STD) probabilmente perché irrigato a scorrimento e, quindi, con superficie ondulata a solchetti.

Dal confronto con la composizione di altre tipologie di biomasse normalmente impiegate nelle aziende zootecniche da latte oppure in impianti di digestione anaerobica, come i trinciati di cereali autunno-vernini o di sorgo da biomassa, nei residui di mais risulta

più elevata la componente lignocellulosica (cellulosa, emicellulosa, lignina) soggetta ad una più lenta degradazione rispetto ad altre componenti; la differenza sostanziale rispetto al trinciato integrale di mais consiste invece nel contenuto di amido, che evidentemente si ritrova quasi tutto nella granella mentre risulta decisamente ridotto nei residui.

L'analisi del profilo fermentativo, condotta su campioni insilati, ha messo in evidenza una buona capacità di acidificazione, con valori di pH vicino o al di sotto del valore di 4 e presenza di acido lattico, acetico e formico ordinati per concentrazione decrescente.

Anche i valori del Potenziale Biochimico Metanigeno (BMP), ottenuti attraverso i test statici di laboratorio, sono variati in maniera ampia a seconda della qualità dei residui raccolti, con valori medi per materiali non troppo maturi e ben insilati di circa 320 normal metri cubi di metano per tonnellata di solidi volatili (ovvero

sostanza organica, la quota di sostanza secca che non resta come ceneri) e valori massimi fino a circa 350. In ogni caso il processo di insilamento, quando è ben condotto e permette un'adeguata compattazione dei residui, è in grado di incrementare in modo significativo i valori della produzione di metano.

In effetti la degradabilità della sostanza organica è risultata generalmente inferiore al 70% nei materiali freschi e incrementata di circa dieci punti percentuali negli insilati, a raggiungere valori vicini all'80%, ad eccezione dei residui delle piante più 'mature', maggiormente secchi e lignificati.

**STOCCHI MAIS:  
PRODUCIBILITÀ DA 320  
A 350 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/TONSV  
E COSTO RACCOLTA DA  
0.10 A 0.18 €/Nm<sup>3</sup>**

ANNO 2020 Year 2020			Cantiere / Harvest System STD		Cantiere / Harvest System INN_A		Cantiere / Harvest System INN_B	
			min-max	Media Average	min-max	Media Average	min-max	Media Average
CAPACITÀ OPERATIVA Operative Capacity	P1	ha/h	-	-	1,57-2,29	2,22	-	-
	P2		2,31-3,37	2,66	1,78-2,87	1,91	0,52-1,29	0,90
	<b>TOT</b>		<b>2,31-3,37</b>	<b>2,66</b>	<b>1,00</b>	<b>1,03</b>	<b>0,52-1,29</b>	<b>0,90</b>
RESIDUI Residues	<b>CONFERITI Harvested</b>	t/ha SS	<b>3,6-4,9</b>	<b>4,6</b>	<b>5,2-6,2</b>	<b>6,1</b>	<b>5,6-9,8</b>	<b>7,9</b>
	NON RACC. Yield losses	t/ha SS %	4,9-6,3 50,0-64,0%	<b>5,3</b> <b>53,7%</b>	3,7-5,3 37,6-50,4%	<b>3,9</b> <b>39,0%</b>	1,0-1,6 9,2-16,1%	<b>1,3</b> <b>14,3%</b>
	ST	%	30,0%-46,0%	<b>39,0%</b>	45,0%-59,0%	<b>42,3%</b>	35,0%-68,0%	<b>53,0%</b>
	<b>TOT</b>	t/ha SS	<b>9,8-9,9</b>	<b>9,9</b>	<b>10,5-9,9</b>	<b>10,0</b>	<b>9,7-10,8</b>	<b>9,2</b>
COSTI Costs	P1	€/h	-	-	172,0	166,0	-	-
	P2		510,0-732,0	578,0	339,0	363,0	121,0-297,0	207,0
	<b>TOT</b>		<b>510,0-732,0</b>	<b>578,0</b>	<b>266,0</b>	<b>272,0</b>	<b>121,0-297,0</b>	<b>207,0</b>
	P1	€/ha	-	-	75,0	75,0	-	-
	P2		217,0	217,0	190,0	190,0	230,0	230,0
	<b>TOT</b>		<b>217,0</b>	<b>217,0</b>	<b>265,0</b>	<b>265,0</b>	<b>230,0</b>	<b>230,0</b>
	P1	€/t SS	-	-	12,1	11,8	-	-
	P2		44,0-59,8	48,3	30,7	31,4	23,5-41,3	30,5
	<b>TOT</b>		<b>44,0-59,8</b>	<b>48,3</b>	<b>42,8</b>	<b>43,2</b>	<b>23,5-41,3</b>	<b>30,5</b>
	P1	€/m³ CH₄	-	-	0,051	0,049	-	-
	P2		0,179-0,242	0,198	0,128	0,133	0,098-0,172	0,130
	<b>TOT</b>		<b>0,179-0,242</b>	<b>0,198</b>	<b>0,179</b>	<b>0,182</b>	<b>0,098-0,172</b>	<b>0,130</b>

ANNO 2021 Year 2021			Cantiere / Harvest System STD		Cantiere / Harvest System INN_A	
			min-max	Media Average	min-max	Media Average
CAPACITÀ OPERATIVA Operative Capacity	P1	ha/h	-	-	1,23-2,94	1,87
	P2	ha/h	1,44-5,40	2,81	1,21-2,43	1,92
	<b>TOT</b>	ha/h	<b>1,44-5,40</b>	<b>2,81</b>	<b>0,61-1,33</b>	<b>0,95</b>
RESIDUI Residues	<b>CONFERITI Harvested</b>	t/ha SS	<b>1,4-7,7</b>	<b>4,8</b>	<b>6,1-8,8</b>	<b>6,6</b>
	NON RACC. Yield losses	t/ha SS %	3,9-12,5 34,0-69,0%	<b>6,6</b> <b>58,0%</b>	8,1-12,1 58,1-64,9%	<b>9,5</b> <b>58,9%</b>
	ST	%	34,5-49,6%	<b>44,9%</b>	45,0-59,0%	<b>51,0%</b>
	<b>TOT</b>	t/ha SS	<b>6,0-18,2</b>	<b>11,3</b>	<b>14,6-20,9</b>	<b>16,1</b>
COSTI Costs	P1	€/h	-	-	91,9-220,3	138,7
	P2		312,0-1172,0	633,0	230,4-461,9	343,6
	<b>TOT</b>		<b>312,0-1172,0</b>	<b>633,0</b>	<b>161,5-352,5</b>	<b>250,9</b>
	P1	€/ha	-	-	75,0	75,0
	P2		217,0	217,0	190,0	190,0
	<b>TOT</b>		<b>217,0</b>	<b>217,0</b>	<b>265,0</b>	<b>265,0</b>
	P1	€/t SS	-	-	8,6-12,3	10,7
	P2		28,1-156,7	74,8	21,7-31,3	28,4
	<b>TOT</b>		<b>28,1-156,7</b>	<b>74,8</b>	<b>30,3-43,7</b>	<b>39,2</b>
	P1	€/m³ CH₄	-	-	0,035-0,048	0,043
	P2		0,103-0,600	0,287	0,089-0,122	0,113
	<b>TOT</b>		<b>0,103-0,600</b>	<b>0,287</b>	<b>0,125-0,170</b>	<b>0,156</b>

Tabella 1: Cantieri in prova nel 2020 e 2021: prestazioni meccaniche, caratteristiche residui e costi di raccolta (rif.to contoterzisti)

Nota: nel cantiere INN\_A, le prestazioni meccaniche ed economiche si riferiscono allo svolgimento dei 2 passaggi in sequenza.

Table 1: Harvesting systems tested on 2020 and 2021: performances, characteristics of residues and costs (ref. subcontractors)

Note: for INN\_A harvesting system, mechanical and economical performances refer to 2 passages in sequence.

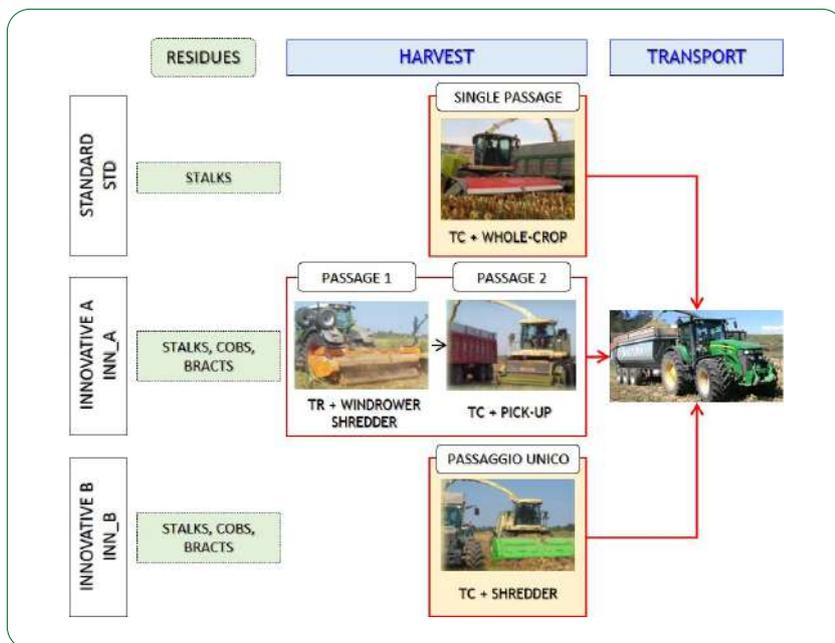


Figure 1: Collecting system used in experimental trials in 2020 and 2021 (Source: Fiala M.)

- Innovative 2-pass (INN\_A): (P1) tractor (TR) with windrower-shredder and (P2) TC with "pick-up" header;
- Innovative single pass (INN\_B): TC with specific "shredder" header

### First indications of site operations and costs

In 2020, the trials covered 29 ha, divided into 13 ha (STD), 11 ha (INN\_A) and 5 ha (INN\_B), while in 2021 the trial area was 25 ha (13 and 12 ha for STD and INN\_A, respectively).

Table 1 summarises mechanical and economic performances of the three solutions with reference to the main energy parameters of the harvested residues. Since the harvesting phase of the STD was carried out by subcontractors while machines of the farms-fleet were used for the INN\_A and INN\_B systems, harvesting costs were standardised by referring to the rates of local subcontractors for all solutions in order to compare

## BIOMASSES AND BY-PRODUCTS: POSSIBLE HARVESTING SYSTEM FOR MAIZE RESIDUES

AFTER TWO YEARS OF FIELD TRIALS, THE FIRST INDICATIONS ON OPERATIVITY AND COSTS OF THE SOLUTIONS TESTED IN FIELD BY "MAIS100%" OPERATIVE GROUP.

The ongoing change in geo-political and economic scenarios is pushing countries even more towards the increase of Renewable Energy Sources. In the agriculture, the production of biomethane from Anaerobic Digestion (AD) can give an important contribution to reducing the fossil fuels import and reducing the environmental impact of both transport and industrial sectors.

This objective is most attractive if, as the current regulations require, AD is fed mainly from residual biomasses. Among these, maize residues from wet grain (mash) can be advantageous both in terms of availability and potential. In addition, with a view to supply chain integration, they can contribute to the creation of further added value for the crop.

The recovery of these residues, whose average yield in the Po Valley areas is 6-10 t/ha of dry matter (DM), can be implemented with solutions, based on one or more passages (after the grain harvest) of specific machines or those already used on other crops and adapted to the purpose.

In this context, the "Maize100%" Operating Group (financed by the RDP of the Lombardy Region) has been testing some harvesting system at four cereal-livestock farms in the Po Valley since 2020 (Figure 1):

- Standard single-pass (STD): forage harvester (TC) with "whole-crop" header;

them.

The operational working capacities ( $C_o$ ; ha/h) found in the tests of the first two-year can be improved: in fact, the elimination of downtimes strictly connected to the experimental conditions leads to an increase in  $C_o$  (10-25% for the STD solution; 35-40% for the INN\_A solution; 40-55% for the INN\_B solution), giving, for the same surface area worked, a benefit on the associated costs.

The costs per cubic metre of methane are referred to the methanogenic potential of maize residues at the time of ensiling. For the purposes of the better energy balance, this cost must be expressed with reference to the desilted biomass, thus considering the variations in quality parameters that occur during storage in the trench. The expression of costs with reference to the volume of  $CH_4$  is particularly significant as it takes into account both the quantitative (mass of residues harvested) and qualitative ( $CH_4$  yield of residues) performances.

For the STD method, residue losses (pCP; %) can be contained by adopting a few measures (adapting working height and speed, harvesting on plots that are not excessively sunny and with the opposite direction of travel to that of the grain harvester, increasing the number of rows of the harvester header). For the two remaining systems,

losses depend largely on the working height, which, however, must not be too low, otherwise the harvested residue will be polluted with soil and stones.

Working capacity ( $C_o$ ; ha/h) and specific cost ( $CTCH^4$ ; €/Nm<sup>3</sup>) of the collection phase of each solution are summarised in Figure 2. Transfer costs are not shown, however, as the different operating conditions recorded in each trial (type and size of fleets, road surfaces, transport distances) make comparison impossible. It should be noted, however, that the transfer cost has

**CORN STOCKS:  
PRODUCIBILITY FROM 320  
TO 350Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/TONVS  
AND HARVEST COST FROM  
0.10 TO 0.18 €/Nm<sup>3</sup>**

a rather high incidence on the final recovery cost, exceeding, in cases of incorrect sizing, 50% of the total cost.

In summary, a comparison of the values between the two years of testing shows that:

- STD solution: working capacity is more stable in the first year (2.3-2.5 ha/h), much less in 2021 (1.4-5.4 ha/h). Not considering maximum values, there is a very good  $Co = 2.5-3.4$  ha/h, but with high amounts of unharvested residues  $pCP = 35-60\%$ . The specific cost is very variable, taking out the maximum values it is in the range  $CTCH_4 = 0.120-0.180 \text{ €/Nm}^3$ ;

- INN\_A solution: the working capacity is also quite variable, but - compared to STD - always lower ( $Co = 0.7-1.3$  ha/h) and with comparable losses  $pCP = 38-58\%$ . The specific cost is in the range  $CTCH_4 = 0.120-0.180 \text{ €/Nm}^3$ ;

- INN\_B solution: the working capacity is the lowest ever ( $Co = 0.5-0.6$  ha/h), as are the losses of residue left in the field  $pCP = 10-15\%$ . The specific cost is in the range  $CTCH_4 = 0.100-0.170 \text{ €/Nm}^3$ .

### Maize residue quality

In the first two year of trials (2020-2021), residues on the four farms of the Operational Group were collected from late August to mid-September for maize as a first crop and mid-October for second crop. The maize residues were sampled both at harvest, as fresh material, and after ensiling for a few months, and characterised in terms of quality.

For both 2020 and 2021, the material was quite varied (Table 2), with the dry matter content varying widely, depending both on the state of maturity of the crops and on the time elapsed between the harvest of the main product (whole or grain mash) and that of the residues left in the field. This interval was always very short and did not allow significant drying of the residues. The ash content also showed a rather wide range of values, with

the highest values found in samples coming from the yard harvested with the windrower shredder (INN\_A), which evidently increased contamination with soil, but also for one field harvested with the Standard system (STD) probably because it was irrigated by flow-through and, therefore, had an undulating furrowed surface.

A comparison with the composition of other types of biomasses normally used on dairy farms or in anaerobic digestion plants, such as autumn-winter cereal or biomass sorghum, shows that the lignocellulosic component (cellulose, hemicellulose, lignin) is higher in maize residues and is subject to slower degradation than other components. The substantial difference with respect to whole maize silage consists instead in the starch content, which is evidently almost entirely in the grain while it is decidedly reduced in the residues.

The analysis of the fermentation profile, carried out on silage samples, highlighted a good acidification capacity, with pH values close to or below the value of 4 and the presence of lactic, acetic and formic acid ordered by decreasing concentration.

The values of the Biochemical Methanogenic Potential (BMP), obtained through static laboratory tests, also varied widely depending on the quality of the harvested residues, with average values around 320 normal cubic metres of methane per tonne of volatile solids (i.e. organic matter, the portion of dry matter that does not remain as ash) for not too mature and well ensiled material, and with maximum values up to around 350. In any case, the ensiling process, when it is well conducted and allows for proper compaction of the residues, is capable of significantly increasing methane production values. In fact, the degradability of organic matter was found to be generally below 70% in fresh material and increased by about ten percentage points in silage, to reach values close to 80%, except for the more 'mature' plant residues, which are drier and more lignified.

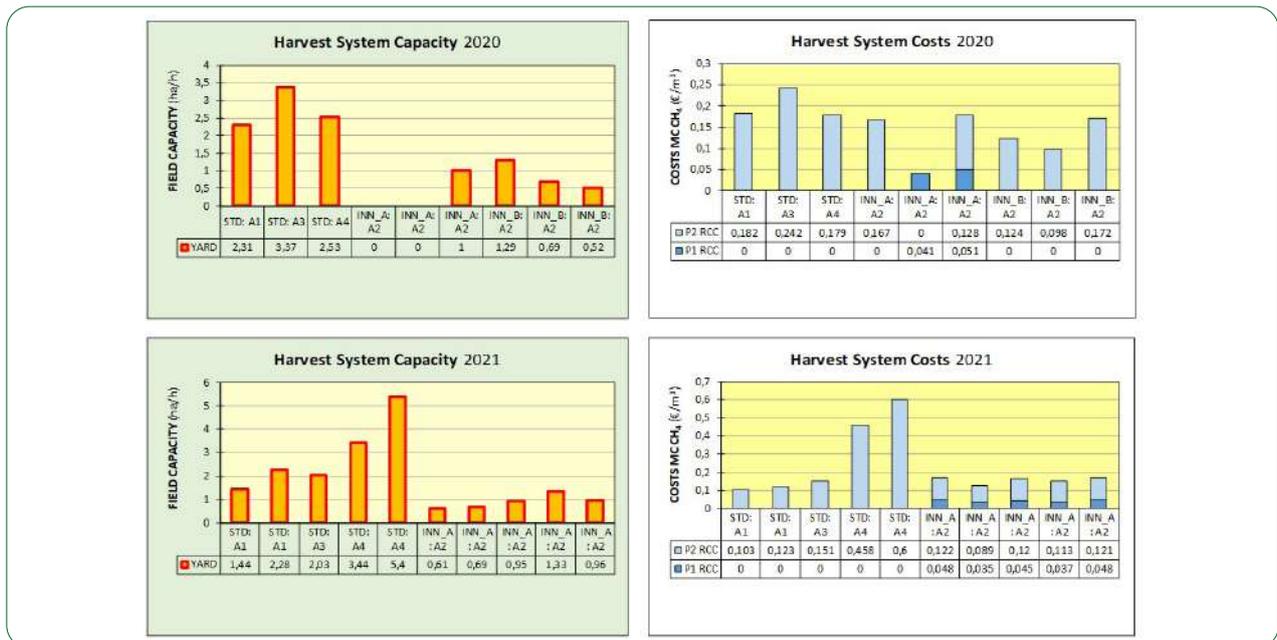


Figure 2: Harvesting phase of the systems tested in the 2020 (on top) and 2021 (on bottom): on the left the working capacity; on the right the costs per cubic metre of methane (ref. to contractors)