



Aspetti tecnici inerenti alla caratterizzazione e al campionamento dei sottoprodotti

D. Scaglione, F. Malpei

Cremona, 1 marzo 2013



Chi produce/detiene il sottoprodotto

Chi usa/riceve il sottoprodotto

Gli enti di controllo e di autorizzazione

**Quali sono gli elementi ed aspetti tecnici necessari/
utili a ciascuno ?**



Chi produce/detiene il sottoprodotto

Chi usa/riceve il sottoprodotto

Gli enti di controllo e di autorizzazione

**Quali sono gli elementi ed aspetti tecnici necessari/
utili a ciascuno ?**



Qual è la “resa” del proprio sottoprodotto ?

Putrescibilità / Trasportabilità ?

Quale è la tecnologia di digestione più idonea ?

Possibilità di standardizzazione ?

Presenza di elementi non idonei/indesiderabili ?



Qual è la "resa" del sottoprodotto ?

Qual è la sua disponibilità temporale e la variabilità attesa delle caratteristiche ?

Componenti non idonee o indesiderabili ?

Putrescibilità/stoccaggio ?

Quanto ne posso utilizzare senza modificare assetto e stabilità del processo di digestione ?



Qual è la sua composizione ?

Presenza di elementi indesiderabili o rischi potenziali ?

Effetti sulla qualità del digestato ?

Effetti sulla qualità del biogas ?

Coerenza tra quantitativi e tipologia/potenzialità dell'impianto ?



SCHEDE SOTTOPRODOTTI IN PREPARAZIONE DI 7 CONCERTO CON LA PROVINCIA

15 sottoprodotti considerati:

siero di latte, permeato di lattosio,

liquame suino, liquame bovino, letame bovino,

pollina da ovaiole e broiler,

stocchi di mais, buccette di pomodoro, bucce di patata,

foglie e colletti di barbabietola, polpe esauste di barbabietola, melasso,

crusca, farinaccio, glicerolo.

Aspetti tecnici:

✓tenore di secco e di volatili (ST, SV/ST)

✓tenore di azoto (N %ST)

✓produttività di metano (BMP)

✓eventuale putrescibilità o presenza di materiali indesiderati

Analisi bibliografica (pubblicazioni nazionali e internazionali)

Circa 60 fonti considerate



Solidi Totali **ST** = contenuto complessivo di solidi (sostanza secca)

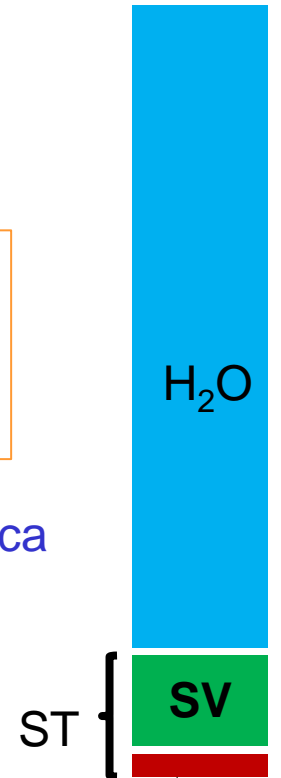
Si determinano facendo evaporare l'acqua e pesando il residuo (ST)

I sottoprodotti possono avere un **contenuto d'acqua molto variabile** a seconda della loro tipologia, dell'origine e delle modalità di stoccaggio e conservazione.

Solidi Volatili **SV/ST** = frazione dei solidi costituiti da sostanza organica

I solidi volatili si determinano facendo evaporare prima l'acqua (ST) e poi volatilizzando la sostanza organica (a temperatura di 550°C)

E' fondamentale conoscere la percentuale di solidi totali composta da sostanza organica, ovvero la frazione SV/ST : **solo la frazione organica è soggetta a biodegradazione anaerobica e può essere metanizzata**



Inerti/ceneri/sali



Il contenuto di **azoto totale** si misura come **TKN (*Total Kjeldahl Nitrogen*)** somma dell'azoto ammoniacale, o minerale, e dell'azoto organico (principalmente proteine)

indicato come % della sostanza secca (%ST)

Il contenuto di azoto di un sottoprodotto alimentato a un digestore è importante per effettuare un bilancio:

✓ **stimare la concentrazione di azoto attesa nel digestato** ($N_{in} \approx N_{out}$)

Durante il processo di digestione aumenta l'azoto in forma ammoniacale (mineralizzazione) e in fase liquida (idrolisi)

✓ Valutare rischi di inibizione (alte concentrazioni di ammoniaca libera)



COD (Chemical Oxygen Demand) misura indiretta del contenuto di sostanza organica, si effettua ossidando per via chimica il campione

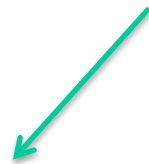
il COD rimosso è trasferito completamente al metano

$$\rightarrow 1 \text{ kgCOD}_{\text{degradato}} = 1 \text{ kg COD}_{\text{trasferito al metano}} = 0,35 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4$$

Zolfo (nutriente / aumento concentrazioni H₂S nel biogas)

Fosforo (nutriente)

Metalli e Sali disciolti



Micronutrienti/oligoelementi
per i batteri
(basse concentrazioni)



Rischio inibizione
(alte concentrazioni)

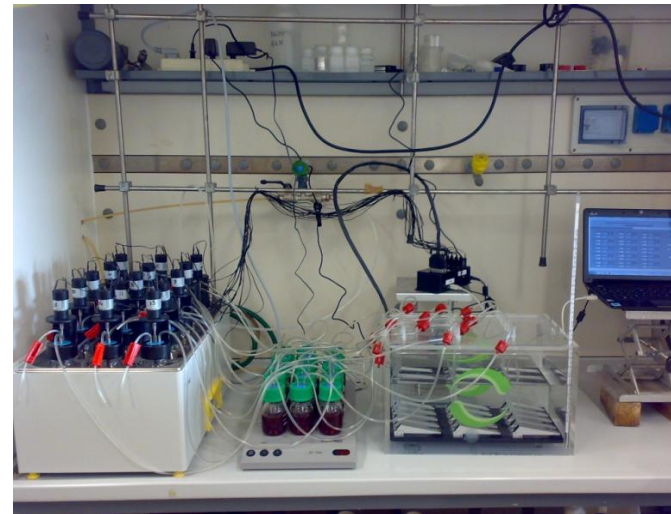


Ovvero..”quanto può rendere il sottoprodotto” ?

Produzione *reale* di biogas:

La valutazione della produzione di biogas in ***condizioni reali***, è fatta per via sperimentale.

BMP (*Biochemical Methane Potential*, Potenziale Biochimico di Metanizzazione):
produzione di metano che si osserverebbe per un tempo di degradazione infinito.

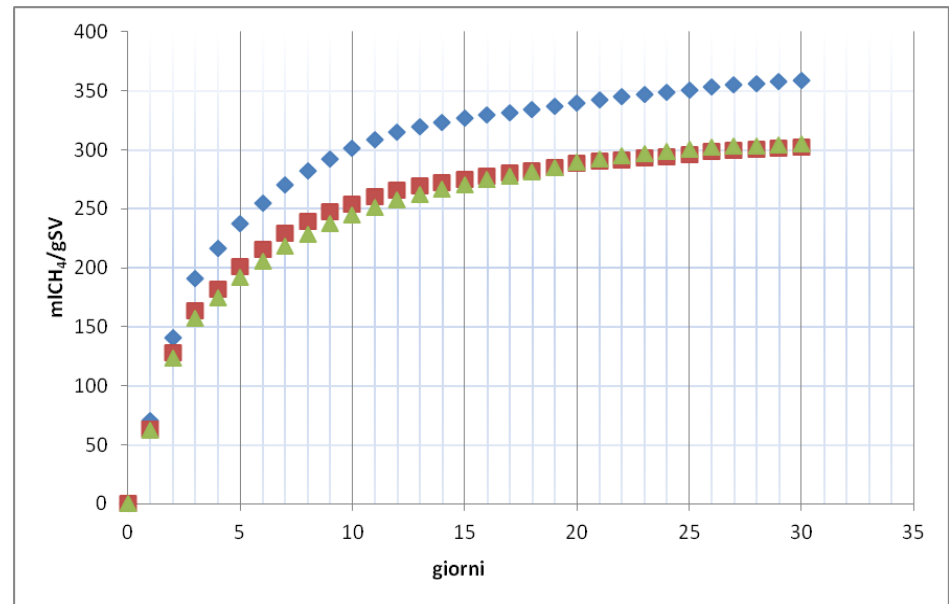




- **Condizioni di digestione ottimali e controllate**
- **Valutazione della massima resa e rapidità di produzione**
- **Indicazioni su possibili inibizioni**

Volume dei gas funzione di pressione e temperatura

(necessario conoscere condizioni e normalizzare a condizioni standard)



Unita di misura: volume per unità di massa (SV)

$$\frac{L_{CH_4}}{kg_{SV}} \times \frac{kg_{SV}}{kg_{ST}} \times \frac{kg_{ST}}{kg_{tq}} = \frac{L_{CH_4}}{kg_{tq}}$$

Possibili altre stime (es. conoscendo contenuto di fibre, grassi e proteine) ma indicative e solo per alcuni substrati



La **putrescibilità** di alcuni sottoprodotti è un fattore importante (necessaria **conservazione e stoccaggio adeguati**): possibile la perdita di sostanza organica rapidamente biodegradabile, eccessiva idrolisi/produzione di acidi e sviluppo di odori molesti.

Fattori chiave: Temperatura (estate), pH, sostanza organica già disciolta

Possibile presenza di **materiali estranei o indesiderati**:
solidi inerti o non degradabili (terra, sabbia, legno, noccioli, semi, ..)

- **accumuli dentro il digestore** (relativa riduzione del volume utile e necessità svuotamenti periodi)
- **abrasioni delle opere elettromeccaniche** (pompe, pale, coclee ecc.)

Costi di manutenzione straordinaria !





✓ Stagionalità (insilamento ove possibile)

✓ Possibilità di digestione come **mono substrato** o **consigliata codigestione?**

✓ Digestione come **mono substrato**: necessità diluizioni, rischio inibizioni, alti valori di S, ammoniaca o acidi grassi, carenza alcalinità e nutrienti

✓ Possibili **pretrattamenti per aumentare la resa?** Meccanici, termici, alcalini, biologici (enzimi, funghi).. **Attenzione ai costi (energia e reagenti)**
*obiettivo **rimuovere il contenuto di lignina, ridurre la struttura cristallina della cellulosa, incrementare la porosità dei materiali e la superficie disponibile all'attacco dei microrganismi***



SOTTOPRODOTTO

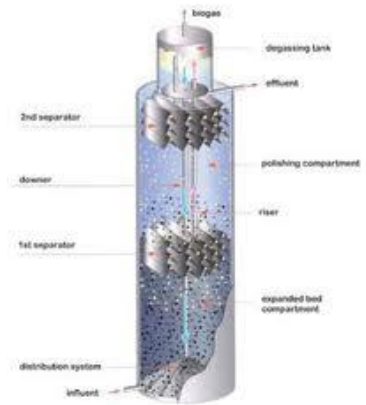
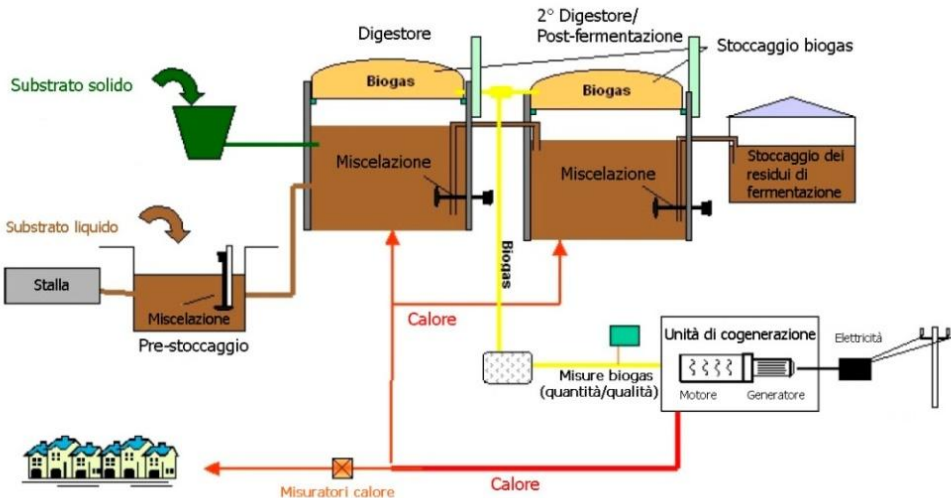
Codigestione in impianti esistenti di tipo agro-zootecnico

Digestione ad-hoc in impianti dedicati (es. intra-aziendali)



Impianti ad alto carico per sottoprodotti liquidi

-UASB
-IC

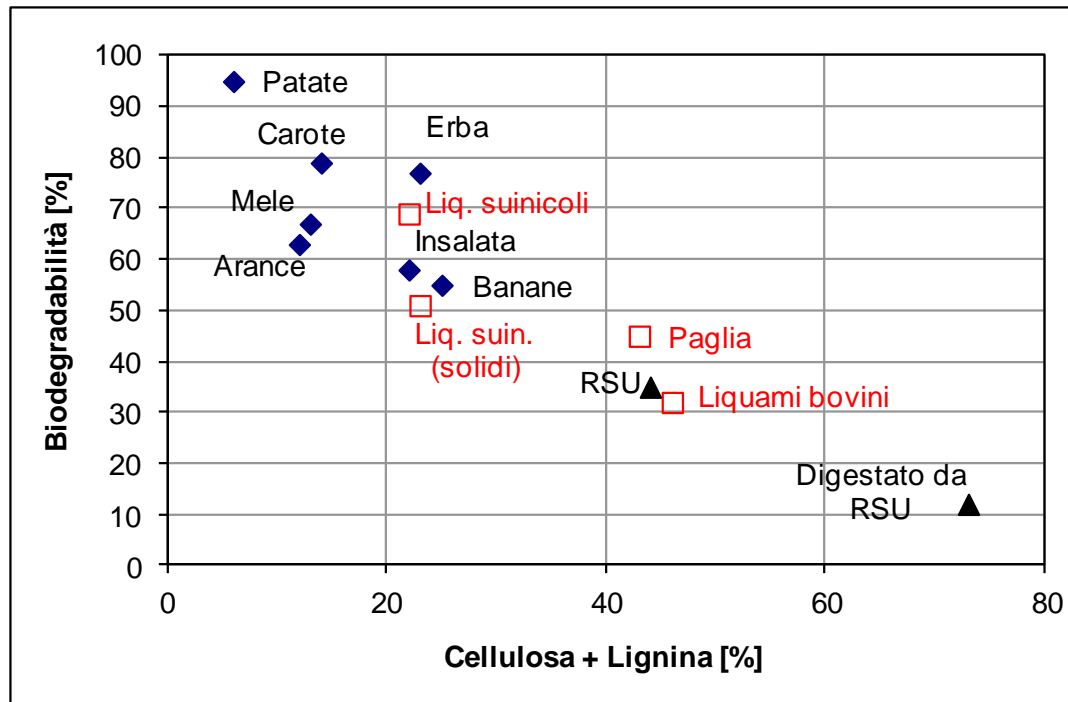




SOTTOPRODOTTI: degradabilità

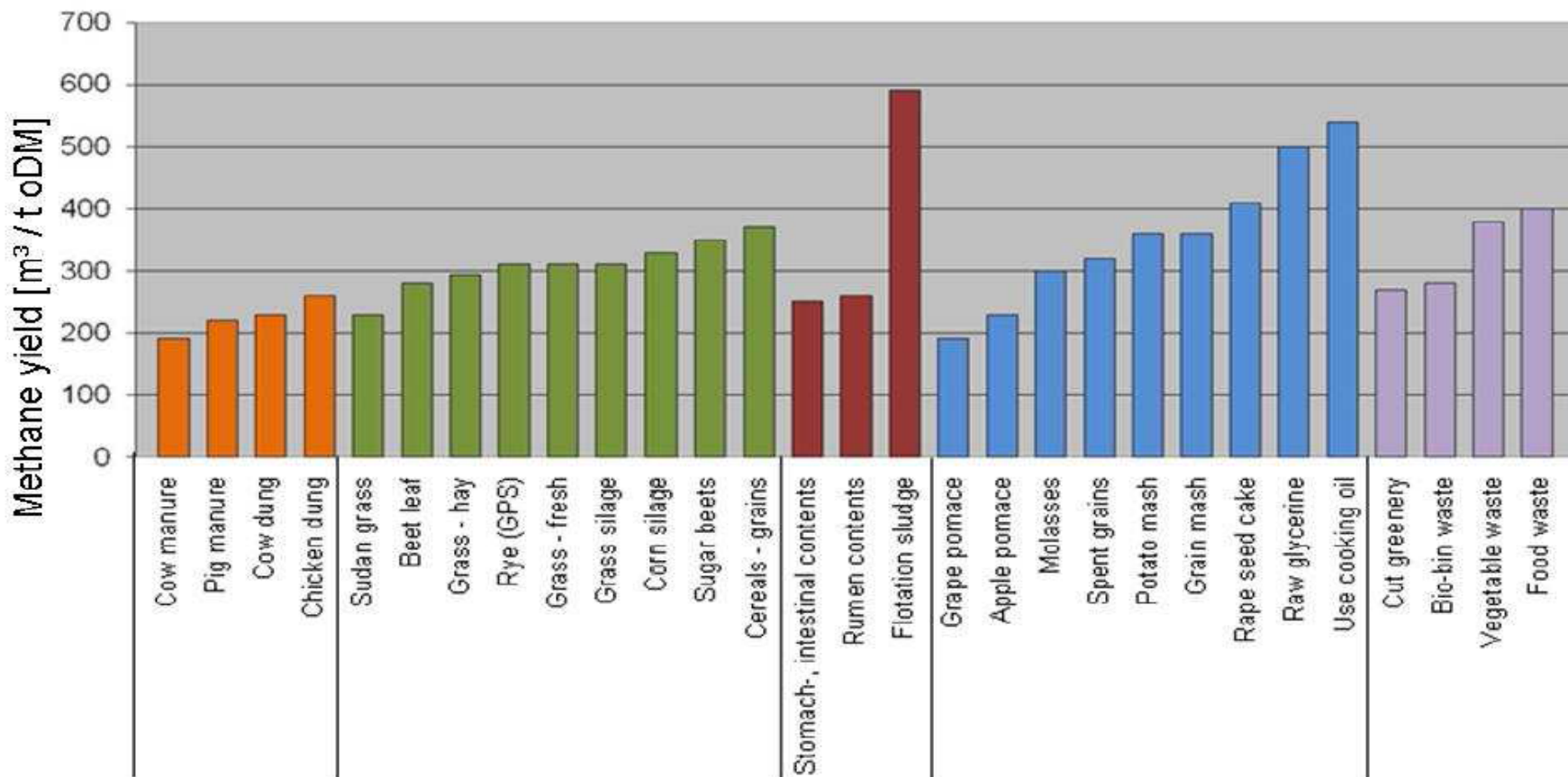
Degradabilità delle matrici di interesse:

- Sostanze ben degradabili: proteine, grassi, amido, zuccheri, fibre digeribili
- Sostanze lentamente degradabili: cellulosa, emicellulosa
- Non degradabile: lignina





Valori di riferimento per BMP ($\text{Nm}^3\text{CH}_4/\text{tSV}$) Al Saedi et al., (2008)





Residuo liquido del latte che si separa dalla cagliata durante il processo di caseificazione. Il siero rappresenta l'85-95% in volume del latte utilizzato

In lombardia **produzione 3.322.000 t** (fonte CLAL, 2009). **Nella provincia di Cremona 680.000 t all'anno** (stime Politecnico da dati ARPA 2009)

Indicatori tecnici		
parametro	valore	unità di misura
tenore di secco - ST	5 - 7	%tq
tenore di volatili SV	87-91	%ST
produttività di metano - BMP	375-500	L CH4/kgSV
produttività di metano sul prodotto tal quale	23-31	L CH4/kgtq
tenore di azoto N	1,7 -1,9	%ST
putrescibilità (tendenza ad acidificare rapidamente)		xx
possibile presenza materiali estranei (terra, ecc.)		0

Se in impianto solo siero consigliato reattore ad alto carico (UASB, IC, AnMBR, ecc.) e necessaria aggiunta alcalinità e micronutrienti.

Se in codigestione, limite superiore da valutare caso per caso (indicativamente 20% su ST in funzione del carico)

Il permeato di lattosio o siero deproteinato è un sottoprodotto ricavato dall'ultrafiltrazione (UF) del siero di latte (recupero proteine).

Indicatori tecnici		
parametro	valore	unità di misura
tenore di secco - ST	2,0-5,0	%tq
tenore di volatili SV	89 - 91	%ST
produttività di metano - BMP	350 - 400	L CH ₄ /kgSV
produttività di metano sul prodotto tal quale	14-18	L CH ₄ /kgtq
tenore di azoto N	0,5 - 1	%ST
putrescibilità (tendenza ad acidificare rapidamente)		xx
possibile presenza materiali estranei (terra, ecc.)		0

Considerazioni simili a siero su codigestione

Minor contenuto di calcio e di azoto (associati a proteine), rispetto a siero di latte.



Fusto della pianta del mais residuati dallo spannocchiamento.

Le caratteristiche chimiche variano in funzione di tempo e delle modalità di raccolta della granella, nonché del tempo intercorso tra raccolta della granella e degli stocchi.

Indicatori tecnici		
parametro	valore	unità di misura
tenore di secco - ST	80 - 90	%tq
tenore di volatili SV	83 - 93	%ST
produttività di metano - BMP	150 - 246	L CH4/kgSV
produttività di metano sul prodotto tal quale	115 - 190	L CH4/kgtq
tenore di azoto N	0,8 - 1,2	%ST
putrescibilità (tendenza ad acidificare rapidamente)	0	
possibile presenza materiali estranei (terra, ecc.)	xx	

Umidità variabile. Valori inferiori di secco per gli stocchi insilati.

Possibile presenza di terra

Possibili pretrattamenti per aumentare la resa.



Substrato ideale per la digestione anaerobica (sia monosubstrato che in codigestione)

La **variabilità** delle caratteristiche in termini qualitativi e quantitativi è dovuta a **età degli animali, dieta, modalità di stabulazione e gestione delle deiezioni, tempo medio di stoccaggio del refluo** prima dell'invio a digestione.

Indicatori tecnici		
parametro	valore	unità di misura
tenore di secco - ST	2 - 6	%tq
tenore di volatili SV	60 - 77	%ST
produttività di metano - BMP	220 - 390	L CH4/kgSV
produttività di metano sul prodotto tal quale	4 - 13	L CH4/kgtq
tenore di azoto - TKN	6 - 10	%ST

- Resa più elevata in caso di sistemi di raccolta vacuum system (refluo fresco) e suini all'ingrasso, inferiore per reflui di scrofe.
- Buoni valori di alcalinità. Ottimo in codigestione con altri sottoprodotti.



Effluente zootecnico caratterizzato da un contenuto di sostanza secca e sostanza organica alquanto variabile in **funzione delle diverse tipologie di allevamento e modalità di stabulazione**

Indicatori tecnici		
parametro	valore	unità di misura
tenore di secco - ST	6 - 12	%tq
tenore di volatili SV	64 - 83	%ST
produttività di metano - BMP	150 - 290	L CH ₄ /kgSV
produttività di metano sul prodotto tal quale	10 - 30	L CH ₄ /kgtq
tenore di azoto N	3 - 7	%ST

Rese maggiori per liquami più freschi, sono quindi consigliabili sistemi di rimozione con raschiatori o a ricircolo.
Ottimo sia come monosubstrato che in codigestione



Il letame bovino è la **frazione di deiezioni “palabile”** ovvero ricca di paglia o altro materiale di lettiera

Indicatori tecnici		
parametro	valore	unità di misura
tenore di secco - ST	20 - 30	%tq
tenore di volatili SV	60 - 80	%ST
produttività di metano - BMP	140 - 200	L CH4/kgSV
produttività di metano sul prodotto tal quale	26 - 47	L CH4/kgtq
tenore di azoto N	2 - 4	%ST

Sulle caratteristiche del letame influiscono le modalità di produzione materiale di composizione della lettiera e frequenza di asportazione dalla stalla.

Valori inferiori di resa sono riconducibili a letami meno freschi o con materiale di lettiera ricco di lignina (es. segatura)



Deiezioni avicole: le due principali tipologie di allevamento sono i **polli broiler e le galline ovaiole**

Composizione variabile in funzione delle caratteristiche dell'allevamento (tipo di animale, alimentazione) e delle caratteristiche della lettiera.

Indicatori tecnici		
parametro	valore	unità di misura
tenore di secco - ST	50 - 80	%tq
tenore di volatili SV	58 - 88	%ST
produttività di metano - BMP	220 - 390	L CH4/kgSV
produttività di metano sul prodotto tal quale	90 - 160	L CH4/kgtq
tenore di azoto N	4 - 12	%ST

Sconsigliato come unico substrato. Valori inferiori di secco per pollina da ovaiole.

Alimentabile in codigestione (fino al 30% rispetto ai solidi in ingresso).

Alta concentrazione di **azoto, zolfo e calcio** (per pollina da ovaiole).

Rischio di accumulo di inerti nel digestore e abrasione delle parti meccaniche (sabbia).

Buccette e semi provenienti dall'industria di trasformazione del pomodoro
(circa 3-4% in peso rispetto alla materia prima)
disponibilità limitata nel tempo (3-4 mesi all'anno)



Indicatori tecnici		
parametro	valore	unità di misura
tenore di secco - ST	31-32	%tq
tenore di volatili SV	97-98	%ST
produttività di metano - BMP	190-220	L CH ₄ /kgSV
produttività di metano sul prodotto tal quale	55-64	L CH ₄ /kgtq
tenore di azoto N	3.1	%ST

Consigliato in codigestione. Possibili rese anche inferiori del 50%.

Resa variabile in funzione dei tempi di stoccaggio e dei quantitativi di polpa residua presente.



Scarti provenienti dall'industria della patata (bucce e strati sottostanti).

Circa il 13-14% in peso della materia prima produzione irregolare, ma distribuita in 10 mesi all'anno



Indicatori tecnici		
parametro	valore	unità di misura
tenore di secco - ST	17 - 30	%tq
tenore di volatili SV	91 - 97	%ST
produttività di metano - BMP	260-380	L CH ₄ /kgSV
produttività di metano sul prodotto tal quale	40-60	L CH ₄ /kgtq
tenore di azoto N	3.8	%ST

Consigliato in codigestione.
Verificare l'assenza di terra.



Sottoprodotto dell'industria zaccarifera. Prodotto di scarto della scollatura della barbabietola ovvero eliminazione mediante taglio della parte superiore del corpo radicale (colletto) con inserite le foglie.

Indicatori tecnici		
parametro	valore	unità di misura
tenore di secco - ST	12-25	%tq
tenore di volatili SV	68-80	%ST
produttività di metano - BMP	250-330	L CH ₄ /kgSV
produttività di metano sul prodotto tal quale	35-42	L CH ₄ /kgtq
tenore di azoto N	0,5 - 2	%ST

Elevata presenza di inerti e terra. Rese variabili (maggiore o minor contenuto di colli)

Produzione da settembre a febbraio e **insilate per essere utilizzate durante tutto l'anno oppure alimentate fresche**

Sottoprodotti dell'industria saccarifera. Dopo l'estrazione per diffusione del saccarosio dalle polpe fresche tagliate in fettucce, l'eccesso di acqua viene rimosso mediante pressatura.

Indicatori tecnici		
parametro	valore	unità di misura
tenore di secco - ST	21-30	%tq
tenore di volatili SV	94-95	%ST
produttività di metano - BMP	310-470	L CH ₄ /kgSV
produttività di metano sul prodotto tal quale	75-110	L CH ₄ /kgtq
tenore di azoto N	1 - 2	%ST

Produzione da settembre a febbraio e insilate oppure alimentate fresche
Consigliato in codigestione con reflui zootecnici o substrati con alto potere
tamponante per compensare acidità



Il melasso è un prodotto della lavorazione della **barbabietola da zucchero (o canna da zucchero)**.

E' composto da **zucchero residuo** non più cristallizzabile nei processi ordinari di zuccherificio e da **tutte le sostanze non zuccherine presenti nel sugo**.

Si presenta come un fluido viscoso, denso, di colore bruno rossiccio.

Indicatori tecnici		
parametro	valore	unità di misura
tenore di secco - ST	75 - 85	%tq
tenore di volatili SV	78 - 95	%ST
produttività di metano - BMP	300 - 360	L CH ₄ /kgSV
produttività di metano sul prodotto tal quale	200 - 220	L CH ₄ /kgtq
tenore di azoto N	1 - 2	%ST

Il melasso può essere parzialmente o totalmente de zuccherato tramite estrazione totale o parziale dei mono- o disaccaridi con processi chimici e fisici.

Elevata variabilità (origine e processi differenti) e possibili diluizioni o miscele con CPB che ne aumentano il contenuto di azoto e zolfo (aumento produzioni H₂S)



Sottoprodotto della **lavorazione dei cereali**.

Per il frumento corrisponde alle squamette del tegumento e corrisponde a **circa il 10% in peso dei cereali trattati**

Indicatori tecnici		
parametro	valore	unità di misura
tenore di secco - ST	87 - 90	%tq
tenore di volatili SV	93 - 96	%ST
produttività di metano - BMP	290 - 380	L CH4/kgSV
produttività di metano sul prodotto tal quale	240 - 310	L CH4/kgtq
tenore di azoto N	2,6 - 3,0	%ST

Ottimo in codigestione.

Necessario porre **attenzione al rischio di sofisticazioni con loppe di cereali, lolle di riso, gusci di arachide, segatura di legno o sabbia**



Il farinaccio, è un **sottoprodotto dell'industria molitoria corrispondente a circa il 2-3% della granella trattata ed è composto da farine di qualità inferiore.**

Indicatori tecnici		
parametro	valore	unità di misura
tenore di secco - ST	86 - 89	%tq
tenore di volatili SV	95 - 97	%ST
produttività di metano - BMP	320 - 390	L CH4/kgSV
produttività di metano sul prodotto tal quale	270 - 330	L CH4/kgtq
tenore di azoto N	2,5 - 3,0	%ST

Ottimo in codigestione. Le caratteristiche possono variare a seconda che si tratti di farinaccio di frumento tenero, frumento duro o altri cereali

Il **glicerolo vegetale** è un composto organico (triolo) ottenuto dalla **lavorazione del biodiesel**.
 In commercio anche glicerolo di origine animale.
 E' un sottoprodotto che non contiene azoto nella forma pura (azoto presente nelle impurezze).

Indicatori tecnici		
parametro	valore	unità di misura
tenore di secco - ST	80-90	%tq
tenore di volatili SV	90-99	%ST
produttività di metano - BMP	450 - 750	L CH4/kgSV
produttività di metano sul prodotto tal quale	400 - 600	L CH4/kgtq
tenore di azoto N	-	%ST

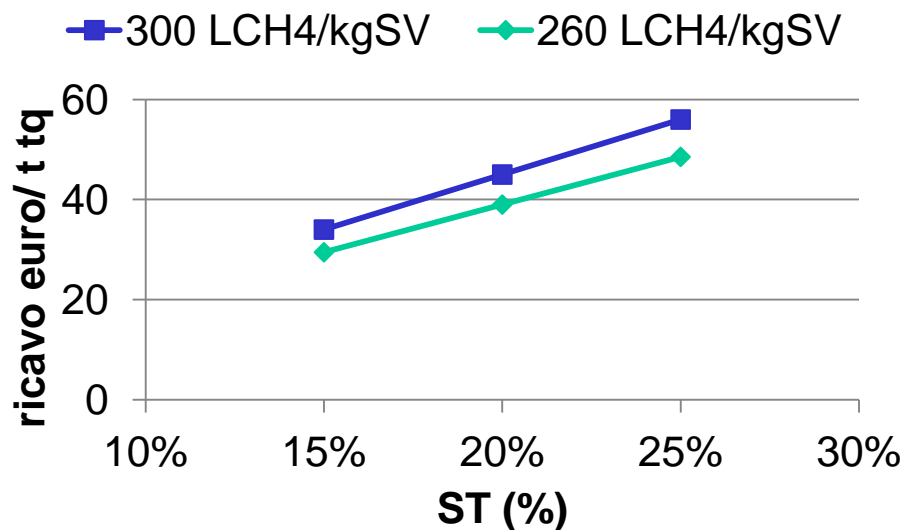
Non consigliabile in digestione anaerobica in frazioni superiori al 5-10% in peso.
Purezza variabile dal 95 al 10% e possibili concentrazioni elevate di cloruri o solfati. Glicerolo al 10% da acque di lavaggio (farmaceutico e biodiesel)



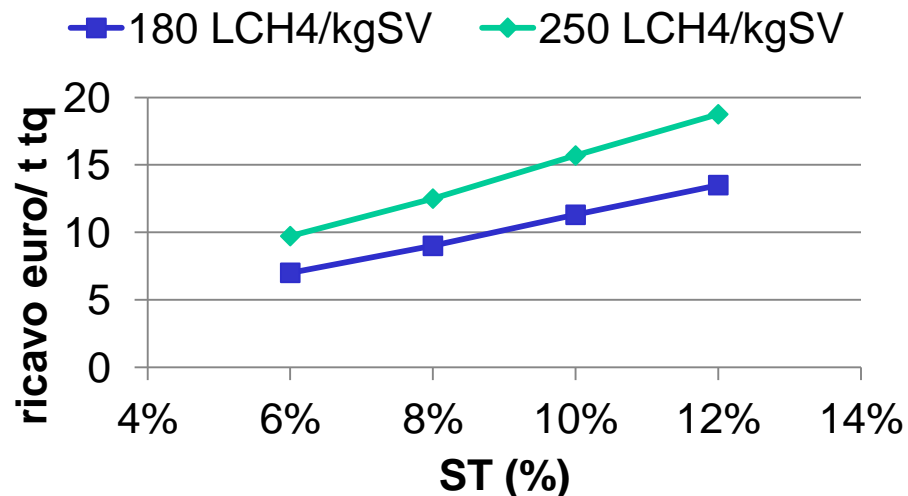
Diverse **variabili**: BMP, contenuto di umidità, frazione di volatili

Ad esempio..

Bucce di patata (90% SV/ST)



Liquame bovino (75% SV/ST)



Ipotesi: resa effettiva 90% rispetto a BMP
efficienza motore 38% - 8000 h/anno - incentivo 0,28 euro/kwh

senza considerare i volumi in gioco (costi di movimentazione, tempi di residenza)...



Il campionamento è l'operazione di prelievo di parte di una matrice, della quale si vogliono conoscere (misurare) le proprietà e deve quindi realizzarsi in modo che le **porzioni raccolte siano rappresentative della matrice stessa.**

E' una **fase estremamente complessa e delicata**, in dipendenza dei **volumi** o della **massa** della matrice da indagare, della sua **eterogeneità** e della **proprietà che si intende misurare.**

Ambiti e finalità molteplici con protocolli specifici per diversi settori
(es. UNI 10802/2004, UNI 9903/2004)



definire l'obiettivo: cosa ci interessa sapere ?

1. garantire che la matrice campionata appartenga ad una predefinita "categoria" : **accertare che si tratti del sottoprodotto indicato.**

ispezione visiva (con o senza movimentazione)

analisi chimico-fisiche di parametri "distintivi"

2. garantire che la matrice campionata abbia caratteristiche adeguate e coerenti con una certa funzione/uso: **produrre biogas**

verifica idoneo valore di BMP (resa e produzione attesa VS costo)

analisi contenuto azoto (eventualmente zolfo e micro-nutrienti)

- 3 **garantire che la matrice campionata non contenga elementi indesiderabili o estranei** che possano, in una qualsiasi fase del suo uso, comportare effetti negativi su processi, persone, ambiente

Numerosi parameetri "potenziali" – risposta non immediata..

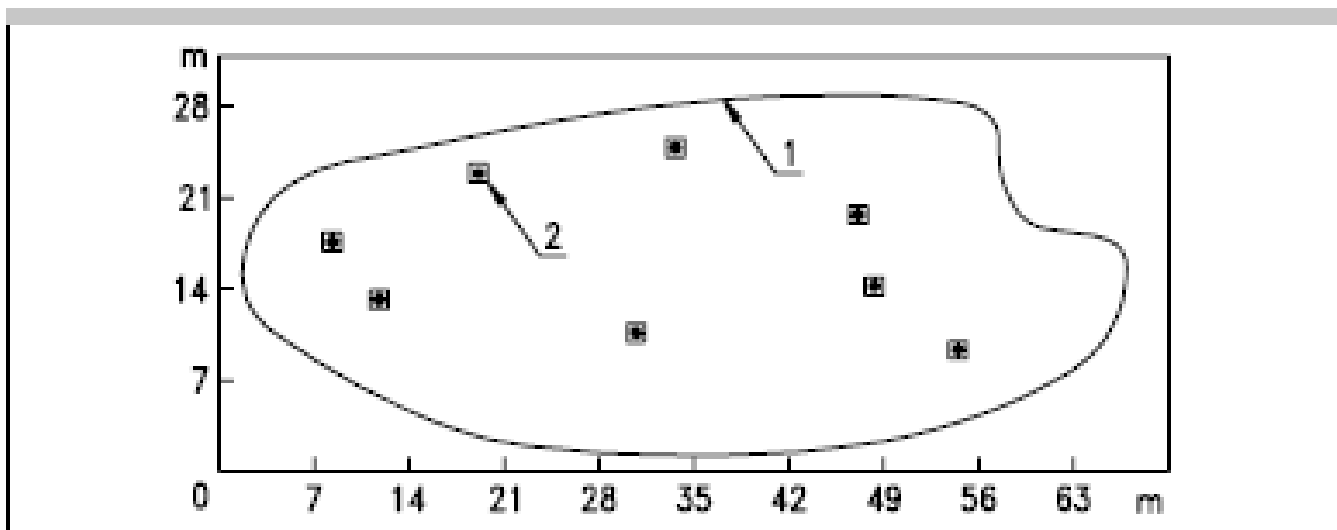


La **strategia di campionamento** stabilisce dove sia meglio campionare.

Due metodi principali (**casuale o sistematico**) ed una serie di varianti (ad esempio casuale stratificato, o sistematico casuale).

Il campionamento casuale, in mancanza di dati pregressi, offre maggiori garanzie di prelevare campioni rappresentativi.

- 1 Confine area di campionamento
- 2 Posizione selezionata del campione





✓ numero minimo di sotto-campioni da prelevare

Difficile definire: necessaria conoscenza di grandezze stimabili in modo corretto solo sperimentalmente o attraverso dati pregressi sulla giacitura e tipologia del sottoprodotto da campionare.

Es.norma UNI 9903 relativa al campionamento del CDR, il numero minimo di campioni da prelevare per materiali omogenei in cumuli o depositi è indicato in 30 e sale a 70 nel caso di materiali eterogenei.

Nota la varianza del campionamento e noti gli altri termini di varianza (legati alla preparazione/riduzione del campione ed alla misura/analisi) è possibile stimare la **precisione totale raggiungibile** dal processo di campionamento e misura, come:

$$S^2_t = S^2_s + S^2_p + S^2_m$$



✓ massa minima

Es.norma **UNI 9903** massa minima m (kg) di ciascun campione nel caso di campionamento manuale di materiali granulari, comunque **m non deve essere inferiore a 0,2 kg:**

$$m = 2,7 \cdot 10^{-5} \cdot r \cdot d^3$$

dove d è la pezzatura del materiale in mm ed r è la densità apparente (t/m^3)

Nel caso di un ammasso di materiale granulare avente pezzatura di 10 mm e densità apparente di 0,8 t/m^3 , la formula su riportata porterebbe ad un valore di massa minima poco superiore a 0,02 kg, ma, per quanto detto, andrebbe invece prelevato almeno 0,2 kg di campione.



SOTTOPRODOTTI: considerazioni conclusive

- Difficile standardizzazione ed **ampia variabilità** delle caratteristiche (chimico-fisiche, rapidità di biodegradazione, pezzatura, ecc.) soprattutto per alcuni sottoprodotti – tema **campionamento da approfondire**
- Possibile presenza di **elementi estranei e non idonei** (terra, noccioli, materiale inerte): effetti di breve/medio/lungo termine su funzionalità digestore, quali riduzione volume utile, abrasione, ecc.
- Eventuale **incremento di componenti indesiderabili** (azoto, zolfo, ...)
- Elevata putrescibilità, necessità di **idonee modalità stoccaggio** (silos, contenitori chiusi..)



SOTTOPRODOTTI: considerazioni conclusive

- **Riuso energetico di residui di** attività produttive
- **Via di collocazione/destino finale di scarti**
- **Possibile bilanciamento della composizione dell'alimento al digestore: effetto "codigestione" con incremento sinergico della produzione di biogas**
- **Rese di produzione variabili ma mediamente elevate (necessarie analisi)**
- **Ampie disponibilità** (comunque da definire e studiare, anche in ragione delle distanze di trasporto e delle alternative di recupero)



Fabbrica
della
Bioenergia

www.fabbricabioenergia.polimi.it

Home Ricerca Serv

News

- [Convegno - Digestione anaerobica di reflui biomasse](#)
- [Convegno - Bioforum](#)
- [Linea Servizi - Fatti impianto biogas a si](#)
- [Linea Ricerca - Pretrattamenti](#)
- [Linea Ricerca - Rimozione azoto dai digestati](#)

Grazie per l'attenzione

davide.scaglione@mail.polimi.it

francesca.malpei@polimi.it

info@fabbricabioenergia.it

laboratorio@fabbricabioenergia.it

Politecnico di
tivo delle attività.
categoria del

zione specifici e
gli incentivi
notevole crescita,

tolo nel comparto
onale altamente