

L'alga Spirulina come opportunità di integrazione del reddito degli impianti biogas

Il contesto del biogas

In Piemonte esistono oltre 200 impianti biogas che vengono alimentati con matrici organiche di origine agricola (reflui zootecnici, sottoprodotti agricoli, colture energetiche, ecc).

La potenza installata risulta essere di circa 130 MWe e gli impianti operano ogni anno mediamente per 8.000 h, producendo di conseguenza circa 1.000 GWh di energia elettrica e circa 1.100 GWh di energia termica potenzialmente utilizzabili.

Mentre la totalità dell'energia elettrica prodotta, al netto degli autoconsumi di impianto, viene ceduta alla rete elettrica e valorizzata come preziosa risorsa rinnovabile, solo una minima parte del calore viene valorizzato; infatti, una minima parte (circa il 15% del totale prodotto) viene utilizzato per il riscaldamento dei digestori ed una quota bassa (solo alcuni impianti), per alimentare utenze termiche poste nelle vicinanze.

La mancata valorizzazione dell'energia termica degli impianti rappresenta una debolezza del sistema, rendendolo più vulnerabile alle evoluzioni dei sistemi di incentivazione ed agli andamenti di mercato dell'energia. Un percorso di progressiva valorizzazione del calore

rappresenta, quindi, un passaggio strategico per il CMA.

Figura 0-1 - Gli impianti biogas in Italia e Piemonte (Fonte GSE 2021)

Regione	0-300 kW	300-600 kW	> 600 kW	TOTALE MW
LOMBARDIA	44,57	36,36	292,07	373,00
VENETO	17,34	15,40	133,09	165,83
EMILIA ROMAGNA	11,10	8,46	122,75	142,31
PIEMONTE	18,69	7,12	105,32	131,13
FRIULI VENEZIA GIULIA	6,15	3,23	43,02	52,40
TOSCANA	1,71	1,20	25,50	28,41
LAZIO	2,66	3,70	18,58	24,95
MARCHE	1,50		14,35	15,85
CAMPANIA	5,53	1,62	8,32	15,47
SARDEGNA	0,75		13,35	14,10
TRENTINO ALTO ADIGE	3,13	0,92	6,77	10,83
UMBRIA	0,98	1,47	8,10	10,55
ABRUZZO	0,21	0,52	9,71	10,44
PUGLIA	2,40	1,18	5,72	9,31
CALABRIA	0,96	1,03	6,26	8,25
BASILICATA	1,28	1,13	2,03	4,43
SICILIA	1,05	0,60	1,03	2,68
MOLISE			1,86	1,86
LIGURIA	0,46			0,46
VALLE D'AOSTA	0,10			0,10
TOTALE	120,57	83,94	817,84	1.022,34

Il Progetto PowerFood

Il progetto, finanziato dalla Regione Piemonte nell'ambito della Misura 16.1 del PSR 2014-2022 vede come partner l'Università di Torino, l'Università di Milano e alcune aziende agricole associate CMA e punta a dimostrare la fattibilità della valorizzazione del calore e del digestato per produzioni innovative di carattere food-feed ed in specifica proteina algale e proteina da insetto.

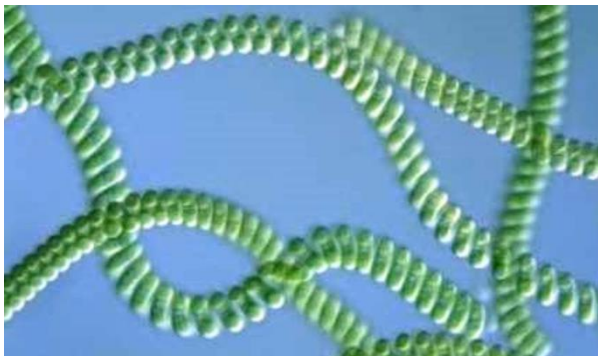
Relativamente alla filiera algale il progetto ha riguardato la realizzazione di un impianto per la

produzione di alghe proteiche a fini alimentari che sfrutta l'energia solare come fonte primaria per lo sviluppo della biomassa ed i sottoprodotti derivanti dall'impianto a biogas (digestato, CO₂ e calore) come integrazione impiantistica. Si prevede la produzione di Spirulina (*Arthrospira platensis*). Il progetto si sviluppa con una duplice finalità:

- verificare la producibilità di alghe proteiche a basso impatto tramite l'utilizzo di vasche
- verificare la possibilità di sviluppo di sinergie tra impianti a biogas e impianti di produzione di alghe proteiche

La Spirulina

Con il nome Spirulina si definisce un gruppo di alghe blu-verdi, procariotiche, caratterizzate da tricomi cilindrici pluricellulari a forma di spirale. Le specie più note e più utilizzate per la produzione di biomassa sono *A. platensis* e *A. maxima*. Il suo habitat naturale è costituito da acque alcaline e saline (pH ottimale tra 8.5 e 11), elevate temperature ed elevata irradiazione solare.



Questo habitat molto selettivo la rende facilmente coltivabile anche in sistemi all'aperto senza rischi di contaminazione da parte di altre specie di microalghe o di altri microorganismi. Più del 30% della produzione di biomassa microalgale attualmente sul mercato è costituita da Spirulina; la maggior parte della biomassa prodotta è utilizzata, sotto forma di polvere, tavolette, fiocchi e compresse, come integratore alimentare e promossa come "superfood". A causa degli effetti benefici sulla salute umana riconosciuti a Spirulina, ha un elevato interesse come potenziale ingrediente di alimenti funzionali. Il

suo successo è dovuto alla composizione chimica, in particolare all'elevatissimo tenore in proteine e acidi grassi essenziali:

- **Proteine:** la concentrazione è intorno al 60% sul peso secco ma può raggiungere il 70% quando Spirulina è allevata in presenza di concentrazioni ottimali di azoto. Anche il profilo amminoacidico è ottimale per la nutrizione umana e animale, caratterizzato da elevate concentrazioni di aminoacidi essenziali.
- **Lipidi:** la concentrazione in lipidi è generalmente più bassa di quella delle microalghe eucariotiche e varia tra 7 e 11% sul secco. Tuttavia, Spirulina contiene elevate concentrazioni di γ -linolenico (al quale è riconosciuto un effetto preventivo delle patologie cardiovascolari e colesterolemia), linoleico e palmitico, nonché interessanti concentrazioni di acidi grassi polinsaturi (PUFAs) come EPA e DHA.
- **Carboidrati:** tra il 20 e il 25% sul secco.
- **Altri componenti:** Spirulina è ricca di altri componenti di elevato valore nutraceutico e farmaceutico. Ha un elevato tenore in potassio, calcio, magnesio, selenio, zinco. Inoltre, è un'ottima fonte di vitamine, in particolare quelle del gruppo B. Contiene elevate concentrazioni di pigmenti carotenoidi, che sono precursori della provitamina A e hanno molteplici proprietà terapeutiche/nutraceutiche (antiossidanti, anticancerogene e immunostimolanti, protettive della retina), in particolare astaxantina, zeaxantina e β -carotene e in quantità minori cantaxantina e luteina. Spirulina è anche molto ricca di clorofilla (6-20 mg/g di biomassa secca), che possiede proprietà antimutageniche, antiossidanti, antinfiammatorie e antimicrobiche.

L'allevamento

Attualmente i sistemi aperti sono i più utilizzati per produrre a basso costo microalghe molto competitive (spirulina), mentre i reattori chiusi vengono utilizzati per produrre alghe più delicate, meno competitive e per prodotti ad elevato valore (es. principi attivi nutraceutici).

Sistemi aperti

I sistemi di coltivazione aperti (open ponds) in vasche sono i metodi più semplici per coltivare microalghe su larga scala. Sono costituiti da bacini (scavati o prodotti con apposite strutture plastiche) possibilmente coperti da una serra per evitare contaminazioni esterne. I vantaggi dei sistemi aperti sono i bassi costi, la facilità di manutenzione, l'elevato utilizzo della luce, i buoni tassi di scambio dei gas, la facilità di funzionamento e la scalabilità. Tuttavia, questi sistemi sono anche caratterizzati da un alto rischio di contaminazione e da elevate perdite per evaporazione. L'unica specie che può essere coltivata commercialmente "food grade" in questi sistemi aperti è spirulina, poiché il mezzo di coltura è altamente selettivo e specifico (pH 9-10 grazie all'aggiunta di bicarbonato). La produttività varia da 5 a 50 g di peso secco (DCW) m² al giorno.

I principali sistemi aperti commercialmente utilizzati sono i raceway ponds ("stagni a canaletta", RW), i circular ponds ("stagni circolari", CP), i thin layers cascade reactors ("reattori a cascata a strati sottili", TLC). Quelli applicabili in Italia nel contesto del biogas sono ritenuti essere i seguenti.

Raceway ponds

I Raceway Ponds (RW) sono costituiti da vasche oblunghe generalmente in PVC o terra battuta ricoperta di materiale impermeabile.

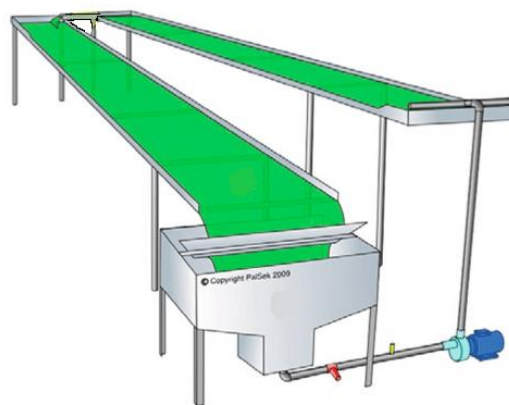


Sono generalmente costituiti da due canali in cui la coltura viene movimentata da una ruota a pale (10-12 pale, con un diametro totale di quattro volte la profondità dell'acqua, che ruota alla velocità di 10-20 rpm). La profondità dell'acqua varia da 0,2 a 0,4 m e lo scambio gassoso (rilascio di ossigeno e captazione di CO₂ per la coltura) avviene in uno specifico

pozzetto più profondo (1-1,5 m). La concentrazione di biomassa alla raccolta si aggira intorno a 1 g/l a causa dell'elevata profondità dell'acqua nel sistema. I costi di investimento per questi sistemi variano da 200 k€ a 600 k€/ha. I costi operativi sono molto contenuti.

Thin Layers Cascade Reactors

I reattori a cascata o TLC sono composti da tre sezioni principali: la superficie o loop in cui avviene la fotosintesi, il serbatoio di ritenzione in cui viene stoccata la coltura a riposo (notte) e la pompa utilizzata per far ricircolare la coltura dal serbatoio alla superficie.



Il serbatoio è progettato per immagazzinare il volume totale della coltura e fornire la CO₂ per il controllo del pH e l'apporto di carbonio. La superficie è leggermente inclinata (0,1-1,0%) così da tenere la coltura in movimento a velocità comprese tra 0,1-1,0 m/s. La profondità dell'acqua è inferiore a 1 cm, l'efficienza di miscelazione e la velocità creano un rapido ciclo luce-buio per le microalghe che determina un ottimo sfruttamento dell'energia luminosa: la produttività è una delle più elevate (fino a 55 g/m² giorno durante l'estate anche nelle zone a clima temperato). Il consumo di energia è correlato al dislivello tra il serbatoio e l'inizio del piano di coltivazione. Il costo di costruzione è almeno cinque volte superiore a quello dei RW.

Sistemi chiusi

I sistemi chiusi consentono un buon controllo dei parametri di coltivazione, ridotti rischi di contaminazione e perdite di CO₂, e quindi ed un'elevata produttività.

D'altra parte, i sistemi chiusi sono più costosi sia per i costi di investimento che operativi, dunque sono attualmente utilizzati per prodotti di alto valore (es cosmetici). La massima produttività teorica è stimata nell'intervallo di 77-96 g di sostanza secca per m² al giorno.



I principali sistemi chiusi commercialmente utilizzati sono i tubular photobioreactors (“fotobioreattori tubolari”, tPBR), i column photobioreactors (“fotobioreattori a colonna”, cPBR), e i flat panel photobioreactors (“fotobioreattori a pannello”, fpPBR).

La produzione

Come visto sopra la produzione di Spirulina può essere molto variabile e può raggiungere fino a 50 g/m² giorno, pari teoricamente a 18 kg/anno

di secco per m². Nella realtà, considerando la disponibilità di luce, calore, nutrienti si possono assumere come riferimento per gli areali del nord Italia i 5 kg/anno di secco per m² di superficie. Per i business plan CMA si è considerata una produzione di 3 kg/m² anno pari a 30 t/anno su una superficie di pond di 1 ha.

I parametri produttivi

I parametri produttivi di Spirulina coltivata in serra riscaldata utilizzando cascami termici da biogas per la superficie di riferimento di 1 ha di superficie di pond sono assunti nella tabella 1. Risulta necessaria la disponibilità di una potenza termica di picco di circa 250 kWt .

I costi

I principali costi operativi di produzione sono connessi nell'ordine, al personale, all'energia elettrica, al bicarbonato per la correzione del pH, ai concimi e quindi alle analisi e consulenze ed altro ancora. Il costo industriale di produzione può scendere al di sotto dei 15 €/kg di secco, mentre gli oneri finanziari si assestano sui 5 €/kg. Il costo complessivo di produzione

Tabella 1 - Parametri produttivi assunti nel Business Plan CMA per ad 1 ha di produzione in Raceway in serra (calore da biogas)

PARAMETRI	UM	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Tot
Giorni mese		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Temperatura media Tm	°C	2,3	4,1	8,7	12,9	17,3	21,8	23,9	23,2	18,9	13,7	7,9	3,0	
Evaporazione E mm	mm	8	19	58	104	162	229	263	251	185	114	50	12	1.454
Temperatura interna Tserra	°C	9,30	11,10	15,70	19,90	24,30	28,80	30,90	30,20	25,90	20,70	14,90	10,00	
Evaporazione max E mm serra	mm	57	75	126	180	243	313	348	336	267	191	116	64	2.316
Evaporazione mese	mc/mq	0,06	0,08	0,13	0,18	0,24	0,31	0,35	0,34	0,27	0,19	0,12	0,06	2,32
Volume evaporato	mc	570	750	1.260	1.800	2.430	3.130	3.480	3.360	2.670	1.910	1.160	640	23.160
Altre perdite acqua	mc	57	75	126	180	243	313	348	336	267	191	116	64	2.316
Volume perso mese	mc	600	800	1.400	2.000	2.700	3.400	3.800	3.700	2.900	2.100	1.300	700	25.400
Volume perso giorno	mc	19	29	45	67	87	113	123	119	97	68	43	23	
Calore mantenimento	kW/mq	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	
Energia mantenimento	kWh	163.400	150.500	117.400	87.100	55.400	23.000	7.900	13.000	43.900	81.400	123.100	158.400	1.024.500
Potenza mantenimento	kW	230	210	160	120	80	30	10	20	60	110	170	220	117
Energia reintegro	kWh	14.000	18.600	32.600	46.500	62.800	79.100	88.400	86.000	67.400	48.800	30.200	16.300	590.700
Potenza reintegro	kW	19	28	44	65	84	110	119	116	94	66	42	22	67
Energia termica	kWh	177.400	169.100	150.000	133.600	118.200	102.100	96.300	99.000	111.300	130.200	153.300	174.700	1.615.200
Potenza termica necessaria	kW	250	240	200	180	160	140	130	140	150	180	210	240	180
Produzione secco	g/mq d	0,0	4,0	6,5	8,8	11,3	13,7	14,9	14,5	12,1	9,3	6,1	0,0	
Produzione secco	g/mq mese	0	112	202	265	349	412	461	449	364	287	182	0	3.084
Produzione mese	kg	0	1.100	2.000	2.600	3.500	4.100	4.600	4.500	3.600	2.900	1.800	0	30.700
Bicarbonato di sodio	kg	0	3.900	7.000	9.100	12.300	14.400	16.100	15.800	12.600	10.200	6.300	0	107.700
Nitrato di Potassio	kg	0	1.000	1.700	2.300	3.000	3.600	4.000	3.900	3.100	2.500	1.600	0	26.700
Fosfato di K /MAP	kg	0	100	190	240	320	380	430	420	330	270	170	0	2.850
Solfato di Mg	kg	0	28	50	65	88	103	115	113	90	73	45	0	769
Cloruro di sodio	kg	0,0	0,2	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	0,9	0,7	0,6	0,4	0,0	6,1
Ferro chelato 10%	kg	0	11	20	26	35	41	46	45	36	29	18	0	307

può, quindi, scendere agevolmente sotto i 20 €/kg per giungere al di sotto dei 15 €.



Il mercato

Il mercato della Spirulina è, ovviamente, complesso ed articolato. Ad oggi la domanda italiana supera l'offerta ed esiste, quindi, uno spazio commerciale. I prezzi possono scendere anche al di sotto del 15 €/kg se si tratta di produzioni industriali di importazione (tipicamente cinesi) per salire agevolmente al di sopra dei 30 €/kg per produzioni tracciate europee o giungere oltre i 200 €/kg per limitate quantità di produzioni in vendita diretta al consumatore finale in piccole confezioni.

Il BP elaborato ha ipotizzato una collocazione sul mercato a 30 €/kg. A queste condizioni EBT (risultato rma delle imposte) si colloca intorno ai 7,5 €/kg di secco, pari ad oltre 200 k€/ha anno.

Ovviamente questi risultati devono essere validati nel contesto locale sia di mercato che di tecnologia produttiva e caratteristiche ambientali (temperature, esposizioni, qualità delle acque, ecc).

Le opportunità

La produzione di alga Spirulina può senza dubbio costituire una opportunità di valorizzazione del calore degli impianti biogas ed una opportunità di integrazione del reddito delle aziende coinvolte. L'avvio delle iniziative

deve essere preceduto da una attenta analisi tecnica ed economica delle condizioni locali. Un elemento di possibile successo potrebbe essere costituito dalla operatività sinergica di più poli produttivi che condividano le ultime fasi del processo (essiccazione, analisi qualità, confezionamento, commercializzazione).

Tabella 2 - Business Plan per 1 ha di pond in serra riscaldata da biogas

BILANCIO ANNO REGIME – IMPIANTO ALGHE Impianto di Spirulina in serra (Pond)

Cod	Voce	um	n	€/um	€	€/kg
A	VALORE DELLA PRODUZIONE				921.000	
	Alga secca	kg/y	30.700	30,00	921.000	30,0
B	COSTI DELLA PRODUZIONE				502.317	16,4
B5	Materie prime				206.664	6,7
	Bicarbonato di sodio	kg/y	107.700	0,7	75.390	2,5
	Nitrato di Potassio	kg/y	26.700	1,5	40.050	1,3
	Fosfato di K /MAP	kg/y	2.850	1,2	3.420	0,1
	Solfato di Mg	kg/y	769	0,4	308	0,0
	Cloruro di sodio	kg/y	6	0,3	2	0,0
	Ferro chelato 10%	kg/y	307	15	4.605	0,2
	Materiali, confezioni	kg/y	307	120	36.840	1,2
	Analisi, consulenze	€	921.000	5%	46.050	1,5
B7	Servizi				100.894	3,3
	Quota manutenzioni impianti	€	1.485.714	0,6%	8.914	0,3
	Energia elettrica	MWh	613	150	91.980	3,0
	Energia termica	MWh	1.615		-	-
B8	Godimento beni di terzi (affitto)	mq			-	-
B9	Costi per il personale	n	5,0	35.000	175.000	5,7
B12	Accantonamento rischi	Assicur	1.485.714	0,4%	5.943	0,2
B14	Oneri diversi di gestione	an	921.000	2%	13.815	0,5
	MARGINE OPERATIVO LORDO (EBITA)	MOL			418.683	13,6
B10	Ammortamenti per beni mobili e immobili				140.171	4,6
	Decommissioning				7.429	0,2
	GESTIONE CARATTERISTICA (EBIT)	A-B			271.083	8,8
C17	Interessi Passivi				43.824	1,4
	Interessi su mutuo/leasing	Lesing/Mutuo	1.259.886	6,00%	37.797	1,2
	Interessi su capitale di anticipazione	Materie prime	100.463	6,00%	6.028	0,2
	Rata		171.178		-	-
	RISULTATO ANTE IMPOSTE (EBT)	A-B-C			227.259	7,4
	Imposte sul reddito di esercizio			26%	59.087	1,9
	Imposta regionale attività produttive (IRAP)		579.032	1,9%	11.002	0,4
	Altre imposte			0,0%	1.500	0,0
	UTILE DI ESERCIZIO	A-B-C			166.672	5,4



FEASR Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale;
l'Europa investe nelle zone rurali



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI MILANO



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TORINO

Az. Agricola
Carrera S.S
Az. Agricola
Maracuja S.S.
La Gaia s.s.