

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI "FEDERICO II"



**Corso di Laurea Specialistica
in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio
SINTESI DELLA TESI DI LAUREA**

**RECUPERO ENERGETICO DA SOTTOPRODOTTI AGRICOLI:
MONITORAGGIO E GESTIONE DI UN IMPIANTO SPERIMENTALE IN
SCALA AZIENDALE PER LA PRODUZIONE DI BIOGAS DA
DIGESTIONE ANAEROBICA A SECCO DI PAGLIA DI RISO**

**RELATORE
CH.MO. PROF. ING.
FRANCESCO PIROZZI**

**CANDIDATO
ALFONSO BOVA
324/246**

**CORRELATORE
CH.MO. DOTT.
GILBERTO GARUTI**

Anno Accademico 2011/2012

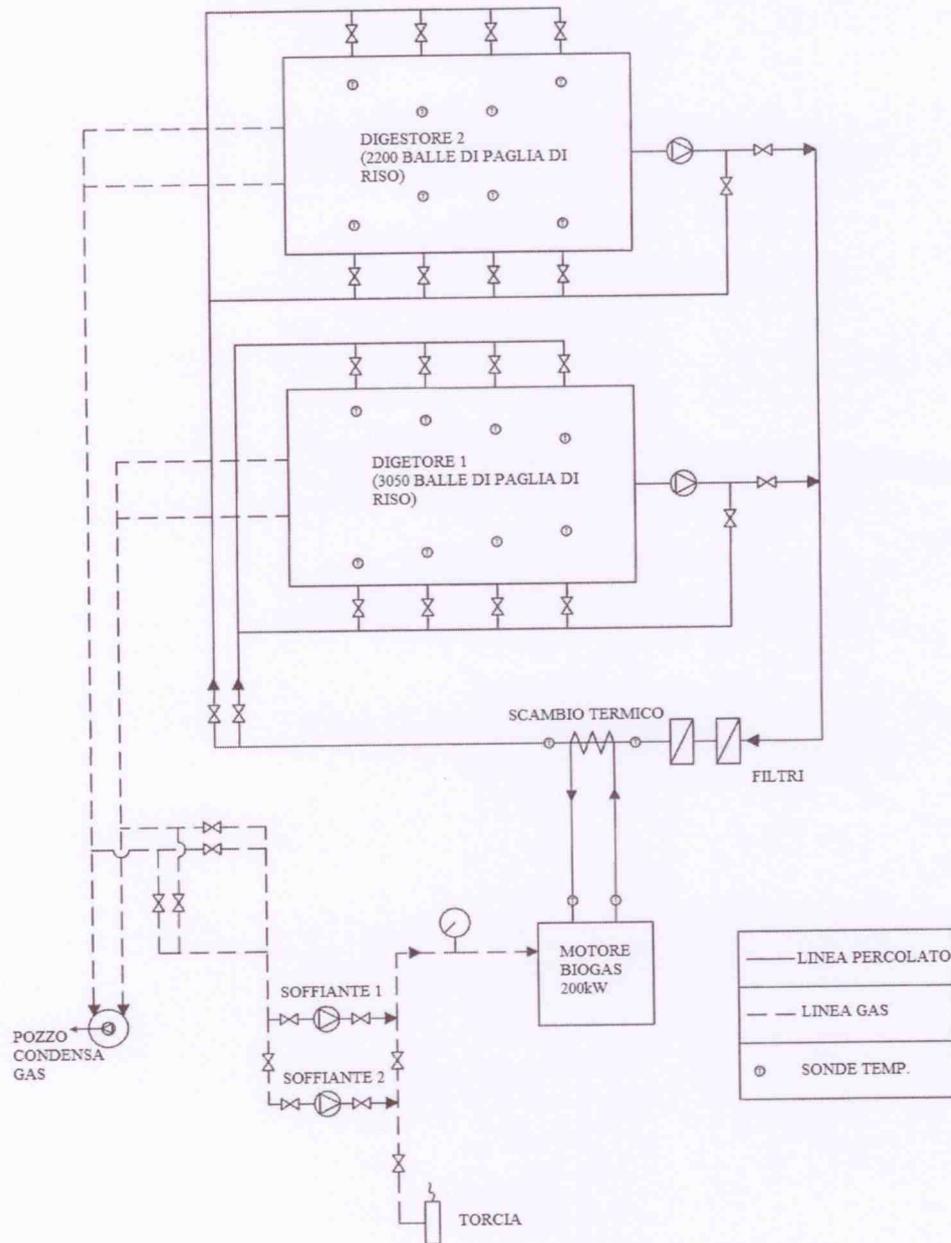
L'impianto oggetto della sperimentazione di questa tesi è situato nei pressi di una vecchia azienda agricola in località Cascina Darsena nel comune di Giussago (PV). Coerentemente col principio di valorizzazione del territorio locale le biomasse utilizzate sono di provenienza del comune di Giussago, l'intervento dunque è strettamente legato al territorio. Il comune di Giussago, infatti, con una superficie di circa 2500 ettari, ha vocazione prettamente agricola. Considerando conservativamente una quantità di paglia raccolta pari a circa 4 ton/ettaro e stimati in circa 500 gli ettari utilizzabili coltivati a riso nel comprensorio comunale, la capacità prevedibile dell'impianto è pari a 2.200 ton di paglia.

L'impianto, denominato *biorigeneratore*, consiste nella realizzazione di due bacini da 1.100 ton ciascuno impermeabilizzato e sigillato, racchiusi da argini contenente paglia da riso umidificata in fase di attivazione dell'impianto con chiarificato di liquame suinicolo e poi col fluido di processo prodotto durante la biodegradazione, che verrà continuamente ricircolato.

Il fluido di processo raccolto sarà inviato ad un volume polmone e riscaldato col calore recuperato dai motori prima di essere ricircolato. Il processo di digestione, infatti, è ottimizzato, ovvero procede con velocità considerevolmente maggiore, se condotto a circa 35°C. Il raggiungimento di temperature più alte non è energeticamente conveniente. La biodegradazione genera biogas, con percentuale di metano pari a circa il 50-54%, dalla cui combustione in motori endotermici si produce energia elettrica.

La piazzola per la valorizzazione energetica del biogas prodotto dall'impianto di trattamento è costituita da 1 gruppo elettrogeno con motore a combustione interna accoppiato ad un generatore sincrono. La potenza elettrica nominale installata dell'impianto risulta pari a 0,200 MW. L'energia elettrica prodotta dai motori verrà immessa nella rete di distribuzione in media tensione a 15 kV. La piazzola è dotata che di una torcia al fine di garantire la combustione del biogas captato dall'impianto anche in caso di fuori servizio dei motori.

Si riporta in Figura uno schema generale dell'impianto, nel quale si evidenzia il sistema di raccolta del biogas, il sistema di ricircolo del percolato e il motore biogas per la produzione di energia elettrica.



Al momento del caricamento della paglia di riso la concentrazione dei solidi totali TS riscontrata era del 84,3%. Il digestore è stato inizialmente inoculato con un totale di 285 tonnellate (4,9% TS) di chiarificato di liquame suinicolo e nel corso del primo anno sono stati aggiunti all'incirca 1300 tonnellate di acqua.

Il rapporto fra il peso complessivo (in tonnellate) di paglia e il liquame è 2,55-1 (paglia secca e liquame è 2.15 a 1). Con l'aggiunta di acqua e chiarificato di liquame suinicolo all'interno del bacino, la concentrazione dei solidi totali TS complessiva diventa del 46%. Tuttavia, il contenuto di umidità non è costante lungo il profilo verticale del biorigeneratore, infatti, partendo dal basso 1/3 del bacino è completamente saturo ed i 2/3 solo parzialmente. Quindi supponendo che l'umidità contenuta nei primi 2/3 del bacino dove il percolato scorre attraverso un percorso ripetuto sia pari al 30%, la concentrazione TS stimata della restante parte è del 23% e la maggior parte della produzione di gas si verifica in questa zona.

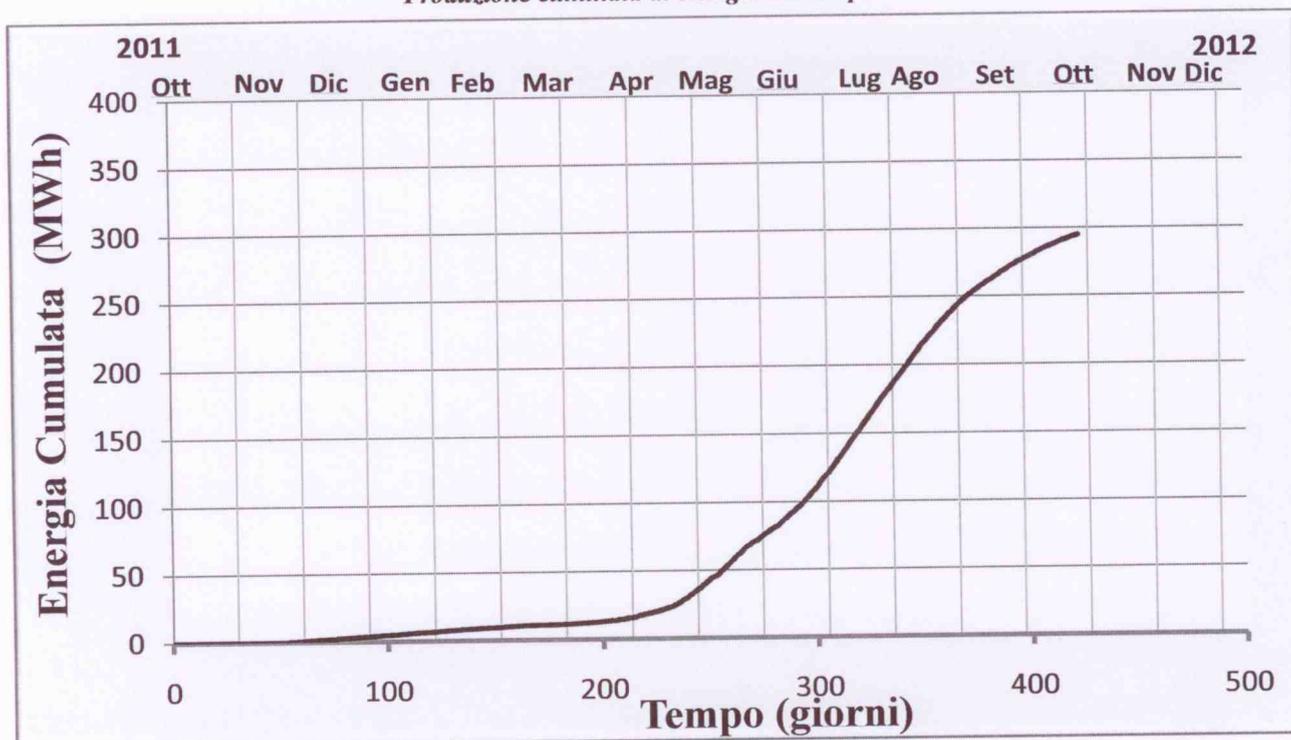
La paglia di riso poggia su uno strato di ghiaia che degrada verso uno scarico posto sul lato est di ciascun bacino. Il percolato viene collettato attraverso il sistema di scarico e ricircolato da una pompa sommersa a velocità variabile. La massima portata di progetto della pompa è di 29,5 m³/h; le portate di esercizio sono scelte in modo da rendere efficace il trasferimento del calore al percolato.

Sono stati analizzati 3 campioni di paglia di riso e 3 del digestato rispettivamente prima e dopo la digestione ed i risultati analitici sono riportati in *Tabella*.

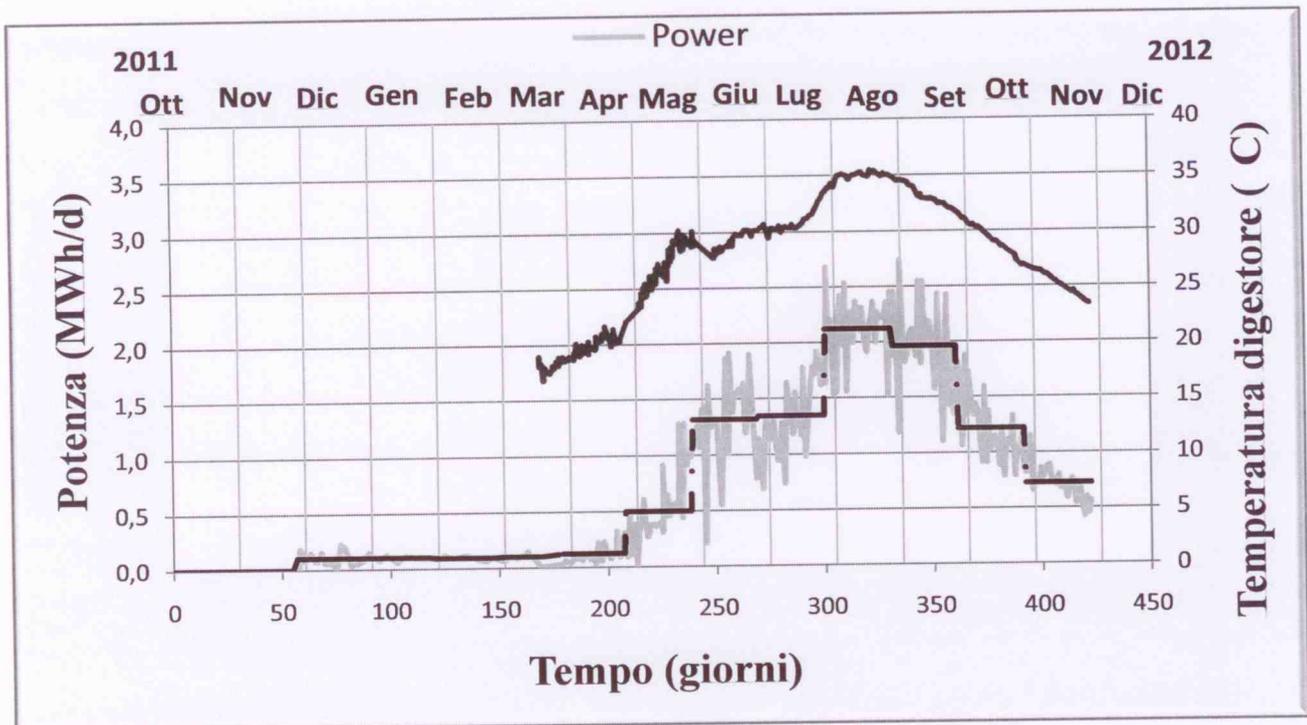
<i>Analisi</i>	<i>Paglia di riso</i>	<i>Digestato</i>
TS [%]	84.3 ± 6	20.9 ± 5
VS [%TS]	87.8 ± 3.2	75.2 ± 0.3
TOC [%TS]	42.8 ± 0.4	41.7 ± 0.2
Humic + Fulvic Acid [%TS]	10.9 ± 0.1	17.9 ± 1.0
TKN [g/kg]	5.0 ± 0.3	3.7 ± 0.3
TAN [g/kg]	0.055 ± 0.001	0.076 ± 0.01
Arsenic [mg/kgTS]	0.21 ± 0.01	0.36 ± 0.02
Cobalt [mg/kgTS]	0.23 ± 0.03	0.22 ± 0.06
Cadmium [mg/kgTS]	0.12 ± 0.02	1.71 ± 0.01
Chromium [mg/kgTS]	6.1 ± 0.3	13.8 ± 0.1
Chromium VI [mg/kgTS]	0.03	0.05
Mercury [mg/kgTS]	0.43 ± 0.02	0.68 ± 0.06
Lead [mg/kgTS]	3.2 ± 0.1	3.9 ± 0.1
Nickel [mg/kgTS]	4.4 ± 0.6	8.9 ± 0.1
Copper [mg/kgTS]	18.3 ± 1.2	15.8 ± 1.4

Zinc [mg/kgTS]	54.3 ± 1.6	124 ± 0.6
Sodium [mg/kgTS]	712 ± 11	1,345 ± 2
Iron [mg/kgTS]	320 ± 24	1,123 ± 14
Calcium [mg/kgTS]	6,669 ± 17	17,205 ± 20
Phosphorus [mg/kgTS]	1,082 ± 118	2,913 ± 133
Potassium [mg/kgTS]	9,676 ± 23	24,893 ± 267
Magnesium [mg/kgTS]	1,572 ± 12	4,276 ± 31

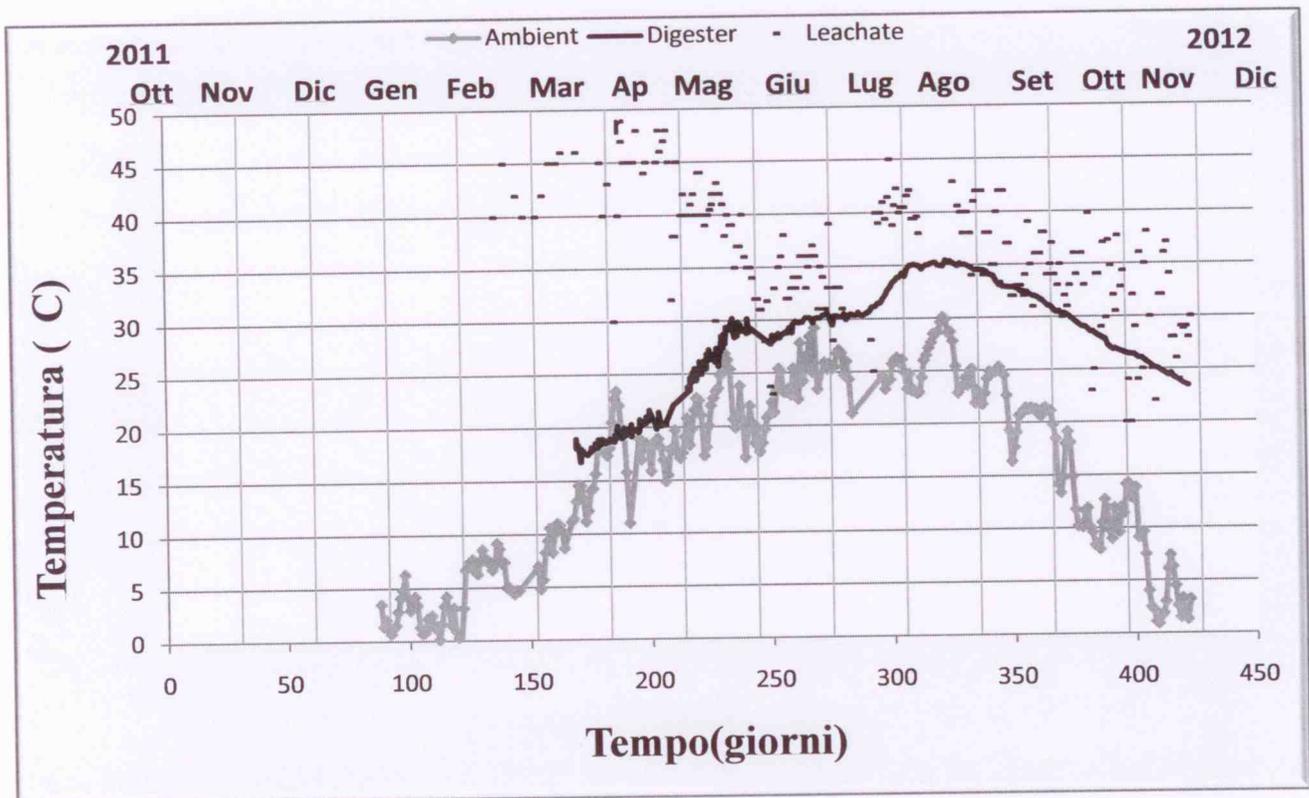
Produzione cumulata di energia nel tempo



Durante i primi 55 giorni la percentuale di metano nel biogas era meno del 37%, minore della soglia per l'accensione del motore e quindi della produzione di energia; durante tale periodo il biogas prodotto, circa 3500 m³ CH₄, è stato inviato completamente alla torcia. Al cinquantacinquesimo giorno, il contenuto di metano nel biogas è salito al 45%, con conseguente inizio di produzione di energia associato a cicli ON/OFF del motore a causa di alti valori di depressione nelle linee di aspirazione del biogas. Come mostrato in Figura la produzione di energia cumulata (MWh) è stata relativamente costante fino al 200 giorno. Durante questa fase di latenza, la temperatura ambiente e quella del bacino/digestore era sotto i 20 ° C. Oltrepastata questa temperatura, si è registrato un aumento esponenziale della produzione di energia. Il ciclo di digestione per il secondo bacino si è concluso dopo 422 giorni con una produzione totale di energia pari a 295 MWh.



La Figura mostra chiaramente la correlazione diretta tra l'energia elettrica prodotta al giorno (Potenza) (MWh/d) con la temperatura del bacino/digestore. Le più alte temperature sono state registrate nel mese di agosto, durante il quale la temperatura è rimasta costante a 35 ° C per circa 30 giorni con conseguente produzione di potenza media mensile di 2,12 MWh/d. La massima produzione di potenza (2,74 MWh/d) si è verificata il 335 giorno (5 Settembre 2012), alla fine dei 30 giorni mesofili. Al picco di produzione di biogas al giorno, il ciclo di funzionamento del motore è stato di 18 ore e 6 ore di riposo. Pur mantenendo il motore alla potenza minima il tasso di produzione del biogas non era tale da consentire 24 ore di funzionamento dello stesso.



La temperatura di esercizio ideale per il bacino/digestore è tra 35 e 40 °C, tuttavia, questa condizione è stata raggiunta solo nel mese di agosto, quando la temperatura media giornaliera dell'ambiente è stata compresa tra 23 e 30 °C. L'apporto di calore al bacino è influenzato da una serie di fattori come il funzionamento discontinuo del motore, manutenzione dello scambiatore di calore e il volume di ricircolo del percolato.

L'impianto in scala aziendale per la produzione di biogas da digestione anaerobica a secco di paglia di riso con aggiunta di chiarificato di liquame suinicolo è stato monitorato durante il periodo di avviamento e ciclo prima digestione. Il ciclo di digestione per il biorigeneratore è stata completato dopo 422 giorni con una produzione di energia cumulativa di 295 MWh. Si è osservata una correlazione diretta tra la produzione di energia giornaliera e la temperatura digestore e la massima produzione di potenza (2,74 MWh / d) si è verificata in condizioni mesofile all'interno del digestore.

Il fattore limitante del processo globale è stata l'idrolisi del substrato trattato, cioè la paglia di riso. Il periodo di acclimatazione lenta così come la riduzione del volume della biomassa (cioè il 50%) può essere migliorata agendo su diversi fattori, come aumento dei tassi di ricircolo del percolato ($> 0,14 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{paglia-d}$), il miglioramento del sistema di scambio di calore per mantenere tutto l'anno le condizioni mesofile, aggiunta di fanghi stabilizzati a materiali ligno-cellulosici, e rapporto paglia/liquame minore.

Per migliorare la produzione di biogas e del periodo di acclimatazione il rapporto fra paglia di riso e liquame raccomandato è di almeno $1 \div 1.4$ con un conseguente rapporto di 1:3 nella zona inferiore del bacino, avendo ipotizzato un 30% di umidità nelle zone superiori. Affinché il sistema sia perfettamente sostenibile, il ciclo di digestione dovrebbe essere completato in un anno in modo che il digestore possa essere ricaricato dopo ogni raccolto registrando così un profitto dopo i primi anni. Questo può essere raggiunto con investimenti semplici e strategie discusse in precedenza per aumentare la produzione di metano e migliorare così l'efficienza complessiva del sistema.

