

LA PRODUZIONE DI GAS COMBUSTIBILE DA SCARTI DI MACELLO

Lorenzo De Pascalis

Studio di ingegneria De Pascalis (Melendugno, LE)

SOMMARIO

L'industria della macellazione, nel processo di produzione della carne e dei suoi derivati, genera scarti diversi e classificati in funzione delle loro possibilità di smaltimento. La mole di tali scarti non è trascurabile e, spesso, rende appetibile il riutilizzo e la valorizzazione economica di questi sottoprodotti animali. Questo articolo fornisce informazioni preliminari sulle possibilità di produrre gas combustibile sfruttando gli scarti organici di macelli e mattatoi, analizzando le diverse possibilità offerte sia dalla digestione anaerobica e dal biogas, sia dalla pirogassificazione e dal relativo syngas in uscita dal processo. Le finalità della trattazione ineriscono le opportunità che la filiera commerciale e industriale della macellazione potrebbe trarre e i benefici energetici ed economici correlati all'interno di territori a vocazione agricola e zootecnica costituenti larga parte di molte delle regioni centro-meridionali italiane.

PREMESSA

Secondo diversi ricercatori, la quantità di scarti animali prodotti dalla filiera industriale e commerciale della macellazione potrebbe offrire buone opportunità economiche alle aziende produttrici derivanti dalla loro valorizzazione energetica all'interno di impianti per la generazione di gas combustibile. Oltre al fatto che ciò, evidentemente, avrebbe una ricaduta benefica sull'ambiente a causa del minor utilizzo per scopi energetici di combustibili fossili.

In particolare, la digestione anaerobica di materiali fermentescibili di scarto, quali gli effluvi zootecnici, i fanghi di macellazione, le carcasse di animali e gli organi interni, oltre a rappresentare una risorsa energetica rinnovabile, può contribuire al contempo alla risoluzione dei problemi ambientali legati alla loro gestione.

Al giorno d'oggi è prassi comune, soprattutto dei piccoli macelli, non selezionare le diverse tipologie di sottoprodotti e inglobarle tutte negli scarti destinati all'incenerimento. Invece, un'attenta analisi tecnico-economica, da effettuare caso per caso, potrebbe rendere evidente nella corretta gestione degli scarti un'alternativa remunerativa, oltre che maggiormente sostenibile a livello ambientale.

Anche il processo di pirogassificazione di miscele di scarti organici si dimostrerebbe in alcuni casi vantaggioso per il loro riutilizzo energetico connesso alla generazione di syngas.

Lo scopo del presente articolo è quello di analizzare le diverse possibilità allo stato dell'arte attraverso la raccolta e la descrizione dei risultati ottenuti dalle principali ricerche sperimentali portate avanti nel panorama scientifico internazionale.

LE POSSIBILITA' OFFERTE DALLA DIGESTIONE ANAEROBICA

Secondo Alfano e Gaeta (2010) [1], il settore della macellazione genera con regolarità nel corso

dell'anno una significativa quantità di scarti e sottoprodotti organici caratterizzati da un'elevata producibilità di biogas (stimata pari a circa 550-1000 Nm³/ton di solidi volatili¹) e non soggetti alle fluttuazioni stagionali di disponibilità come altri substrati fermentescibili. Ciò li rende particolarmente adatti all'impiego per la produzione di biogas (*soprattutto in codigestione*). L'esigenza di prevenire la diffusione della BSE (l'encefalopatia spongiforme bovina) e delle altre encefalopatie trasmissibili, tuttavia, ha fortemente circoscritto le opzioni tecnologiche ammesse per il trattamento di scarti di origine animale. Nello specifico, il regolamento CE 1774/2002 classifica i sottoprodotti di origine animale (SOA) nelle tre categorie richiamate in tabella 1, in funzione della pericolosità, individuando per ciascuna le tipologie di impiego e trattamento consentite. Per cui ogni analisi sulla biogassificazione di scarti da macello deve necessariamente interessare esclusivamente i sottoprodotti di categoria 3 e di parte della categoria 2 del settore della macellazione bovina e bufalina, ovicaprina e suina, individuando le potenzialità di biomassa disponibile sul territorio e idonea alla trasformazione in biogas.

Attualmente, la principale destinazione degli scarti è la conversione in farine animali, anche se una parte consistente è indirizzata alla produzione di saponi e fertilizzanti, mentre la valorizzazione energetica è poco diffusa a causa sia della gestione, sia dei costi aggiuntivi del pretrattamento obbligatorio che garantisce il rispetto dei requisiti igienico-sanitari imposti dal citato regolamento CE 1774/2002, senza contare che il digestato prodotto dagli impianti che trattano scarti di macellazione è molto ricco in azoto e questo costituisce un ulteriore aspetto da valutare ai sensi della direttiva nitrati (Direttiva 91/676/CE).

¹ Quota di materia decomponibile rispetto al totale introdotto nel digestore dell'impianto.

Tab. 1 - Classificazione degli scarti di macellazione secondo il regolamento CE 1774/2002

Cat.	Descrizione	Destinazione e smaltimento
1	Materiale a rischio BSE, carcasse di animali da compagnia o da circo, animali cui sono state somministrate sostanze vietate	Destinati all’incenerimento con recupero energetico e/o smaltiti in discarica
2	Stallatico del bestiame in attesa di essere macellato, compreso il contenuto del tubo digerente, fanghi della macellazione, prodotti di origine animale contenenti farmaci o non conformi ai requisiti veterinari per l’importazione	Spandimento su suolo agricolo o avvio al compostaggio
3	Parti organiche non idonee al consumo umano, prive di segni di malattie trasmissibili all’uomo o agli animali e che provengono da carcasse giudicate idonee al consumo umano	Raccolta di solidi e liquidi; destinati alle industrie dei mangimi, dei fertilizzanti, dei saponi o all’incenerimento

Le possibilità offerte dalla digestione anaerobica si scontrano, tuttavia, con la constatazione che gli scarti da macello sono generalmente considerati *substrati difficili*, dato il loro alto contenuto di proteine e lipidi (Banks e Wang (1999) [2]). La digestione delle proteine rilascia ammoniaca, che, secondo Angelidaki e Ahring (1992) [3] e Hansen *et al.* (1996) [4], inibisce l’attività dei microorganismi anaerobici già a concentrazioni comprese tra 0,1 e 1,1 kg/Nm³. Oltre a ciò, i lipidi mostrano una forte tendenza a produrre schiume e generare acidi grassi a catena lunga che rallentano il processo a causa del maggior tempo necessario per la loro digestione (Angelidaki e Ahring (1995) [5]). Per questo motivo, occorre che i substrati contenenti alte quantità di lipidi siano dosati accuratamente per non consentire l’accumulo di acidi grassi a catena lunga all’interno del digestore. A causa di tali considerazioni, è generalmente consigliabile mescolare gli scarti di macello con altre tipologie di materiale (quali letami e acqua) al fine di ottimizzare il substrato.

Uno studio condotto da Hejnfelt e Angelidaki (2009) [6] [7] ha consentito di determinare la producibilità in termini di metano di alcune tipologie di scarti di maiale macellato a differenti concentrazioni nel substrato. Il processo di pretrattamento consisteva nella macerazione fino ad ottenere particelle del diametro approssimativo minore di 3-4 mm e nella successiva omogeneizzazione.

La figura 1 riporta la produzione di metano alle varie concentrazioni e temperature di incubazione. La produzione si avvia dopo un periodo iniziale di 3-5 giorni (ad eccezione di quella del grasso, che si avvia dopo 20 giorni) e si mantiene per 30-35 giorni. Per la maggior parte dei substrati, una concentrazione del 5% in peso con un contenuto di substrato già digerito (che funge da inoculo del processo) del 60% ha prodotto i risultati migliori, con una produzione di metano tra i 230 e i 620 l/kg di solidi volatili. Invece, per i campioni di carne e ossa la concentrazione che ottimizza la produzione di metano si attesta al 10% con 580 l/kg di solidi volatili. Il fatto di avere le maggiori producibilità al 5% (massimo 10%) in peso di substrato conferma la necessità di miscelare gli scarti di macello con altri

materiali al fine di ridurre ulteriormente gli effetti inibitori della digestione prodotti.

I risultati, inoltre, mostrano come i trattamenti iniziali di riscaldamento del substrato a 70 °C e addizione di NaOH non hanno effetti significativi sulla produzione. Ciò è imputabile alla elevata biodegradabilità dei materiali utilizzati, anche se altri studi hanno condotto a risultati differenti. Ad esempio quello di Edström *et al.* (2003) [8] ha dimostrato come la pastorizzazione a 70 °C consentiva un incremento di produzione di biogas da 760 a 1140 l/kg di solidi volatili.

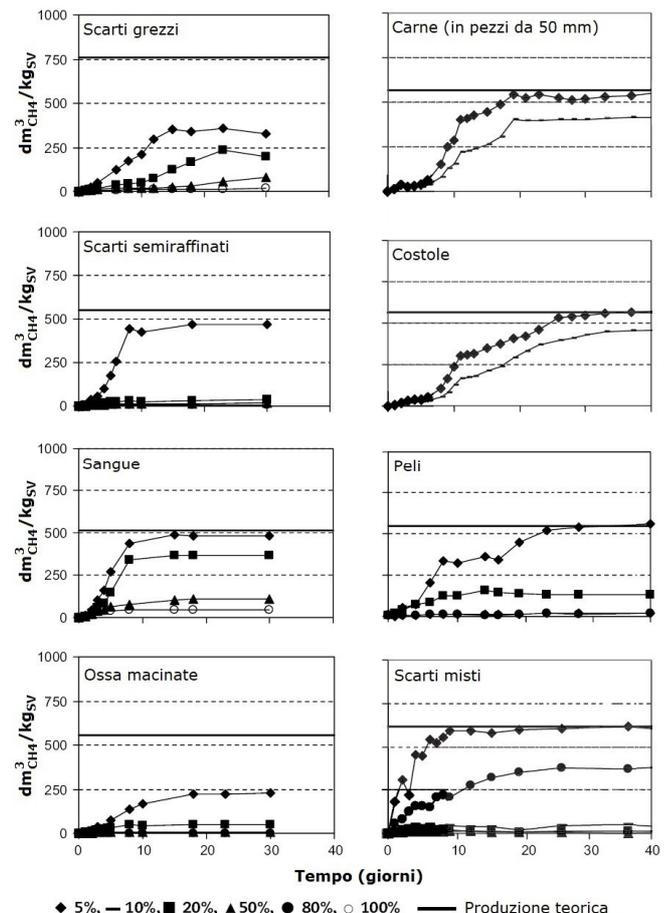


Fig. 1 - Produzioni cumulate di metano da scarti di maiale nello studio di Hejnfelt e Angelidaki (2009) [6]

Uno studio condotto da Palatsi *et al.* (2011) [9] amplia l’analisi a materiali diversi da quelli dei soli maiali. I ricercatori, anche ritenendo tali materiali dei

buoni substrati, constatano come essi siano difficilmente degradabili a causa della presenza di elevate quantità di proteine e lipidi.

I campioni utilizzati risultano: carne e grasso di bestiame, carne e grasso di maiale, organi interni (polmoni, fegato e reni), stomaco e intestini di maiale, contenuto ruminale, sangue e acqua di lavaggio dei macelli. I materiali sono caratterizzati a livello chimico-fisico e successivamente miscelati insieme a formare le miscele M1 (scarti al 44% + acqua + inoculo) e M2 (scarti all’11% + acqua + inoculo). I risultati ottenuti, confermando lo studio di Hejnfelt e Angelidaki (2009) [6], stimano che la produzione giornaliera di metano venga incrementata quando la miscela di scarti di macello risulta maggiormente diluita. Tale aspetto benefico si riscontra anche sulla produzione complessiva.

LE EFFETTIVE PRODUCIBILITA’ DI BIOGAS

Uno studio italiano condotto da Soldano *et al.* (2011) [10] riporta i risultati di una prova sperimentale per la verifica della produzione di biogas da due matrici di scarto del macello bovino: sangue bovino pastorizzato e contenuto del rumine. La prova è stata condotta presso i laboratori del C.R.P.A. (Centro Ricerche Produzioni Animali) con digestori anaerobici completamente miscelati, termostatati e riscaldati a 39 °C, alimentati in continuo. Il test consente di valutare le rese effettivamente ottenibili in impianti in scala reale.

Il test è di tipo dinamico, sulla base di quanto esposto nella Norma UNI EN ISO 11734:2004 [11] e nell’Opuscolo C.R.P.A. 6.23 – n. 5/2011 [12], e consente di mettere a punto e verificare:

- i principali dati di base del progetto di un impianto di biogas (tempo di ritenzione idraulico, carico organico volumetrico, temperature di processo);
- le caratteristiche e la qualità del biogas prodotto e del digestato;
- l’ottimizzazione delle modalità di carico del substrato, le strategie di gestione e controllo, l’avviamento, i fattori di stress/inibizione, la scelta del tipo di reattori;
- l’effetto di pretrattamenti fisici, chimici, microbiologici sui substrati;
- l’effetto che modifiche improvvisate delle

condizioni di esercizio (temperatura, carico, miscelazione, ecc.) hanno sulla microbiologia.

Sono state testate due matrici di scarto provenienti da un macello bovino: il contenuto ruminale e il sangue bovino pastorizzato. Dato l’elevato grado di fermentescibilità, si è ritenuto opportuno trattarle in codigestione con altro substrato: il liquame bovino proveniente da un allevamento di bovini da latte. Questa tipologia di effluente zootecnico è quella più comunemente impiegata in codigestione con biomasse vegetali negli impianti aziendali, in quanto essendo ricco di micronutrienti favorisce il giusto equilibrio del processo di digestione anaerobica.

In tabella 2 sono riportate le rese in biogas e in metano delle miscele. Inoltre, è stato calcolato l’effetto del liquame bovino nella miscela, in questo modo è stato ottenuto il valore di resa in biogas delle singole matrici oggetto della prova.

Nella miscela 2 alimentata con contenuto ruminale, i valori di resa in biogas e metano sono in linea con quelli che si trovano in bibliografia. Non sono rese elevate in quanto è presente nella matrice una quota di fibra difficilmente degradabile. Nella miscela 3, nella quale è stato trattato del sangue bovino pastorizzato in codigestione con il liquame, le rese ottenute nell’intero periodo sono state piuttosto basse rispetto a quelle che normalmente si riscontrano; ciò è dovuto alla concentrazione molto elevata di ammoniaca, che ha un effetto inibente sul processo di fermentazione e ha contribuito in questo caso all’ottenimento di una resa in biogas inferiore alle aspettative.

In conclusione, il test di digestione anaerobica condotto da Soldano *et al.* (2011) [10] non ha mostrato evidenti problemi di processo e ha prodotto dei buoni valori di resa di biogas. La potenzialità delle miscele analizzate in termini di produzione di biogas è elevata per il buon contenuto di grassi e proteine, ma nella pratica in scala reale l’utilizzo di quantità significative in digestione anaerobica si presenta delicata a causa della loro elevata dotazione di sostanza organica di tipo complesso (grassi e proteine) e di azoto, che richiede una flora microbica specifica e un attento controllo di processo. L’esatta conoscenza delle singole matrici animali e la definizione di rapporti corretti di miscelazione con altre biomasse è essenziale per l’avvio in scala reale.

Tab. 2 - Rese medie delle matrici nello studio di Soldano *et al.* (2011) [10]

Miscela	Matrice	Biogas [m ³ /ton _{sv}]	Metano [m ³ /ton _{sv}]	Metano nel biogas
1. Liquame bovino	-	306,8	175,2	57,1%
2. Liquame bovino + contenuto ruminale	Miscela	383,7	220,7	57,5%
	Contenuto ruminale	460,5	266,1	57,8%
3. Liquame bovino + sangue bovino	Miscela	352,6	232,4	65,9%
	Sangue bovino	430,6	329,8	76,6%

Per ciò che riguarda, poi, i quantitativi di scarti disponibili, secondo Vismara *et al.* (2011) [13], la produzione di carne per l’alimentazione umana comporta la parallela generazione di una quantità di rifiuti e sottoprodotti che possono rappresentare sino al 40-50% del peso vivo dell’animale di partenza, considerando la resa al macello e la quota di grassi, di ossa e altre parti che vengono separate dal corpo durante le fasi del processo produttivo. Uno studio condotto da Colonna *et al.* (2009) [14] indica, invece, come i fattori di produzione dei sottoprodotti di origine animale siano inferiori a quelli indicati da Vismara *et al.* (2011) [13]. In riferimento alla tabella 3, per ciascuna tipologia di scarto e di animale sono considerate percentuali di produzione riferite al peso vivo dell’animale.

forte potere odorigeno e all’alto apporto di azoto.

LE POSSIBILITA’ OFFERTE DALLA PIROGASSIFICAZIONE

Nella sua configurazione di base, un pirogassificatore (o, semplicemente, gassificatore) consiste di due componenti separati. In una prima camera, un letto di combustibile è portato alla temperatura di ignizione in carenza (o assenza) di ossigeno e produce una miscela gassosa (detta syngas) composta principalmente di monossido di azoto e idrogeno. Questa viene successivamente inviata all’interno di motore a combustione interna, dove viene bruciata in eccesso di ossigeno.

Uno studio condotto da Dickinson (2006) [15] ha

Tab. 3 - Fattori di produzione degli scarti nell’industria della macellazione, secondo lo studio di Colonna *et al.* (2009) [14]

Matrice e peso	Bovini			Suini	Ovicapri
	Vitelli	Vitelloni	Vacche		
Peso medio [kg/capo]	100	400	500	160	24,5
Contenuto ruminale	1,60%	4,95%	6,44%	-	-
Sangue	2,40%	1,58%	2,13%	2,85%	5,50%
Carnici, frattaglie, grasso	1,44%	1,21%	1,61%	3,07%	8,30%
Budella, stomaco	-	-	-	6,25%	6,80%
Setole, unghie	-	-	-	0,71%	-
Apparato riproduttore, vescica	-	-	-	-	1,00%
Totale	5,44%	7,74%	10,18%	12,88	21,60%

Dal punto di vista autorizzativo, la produzione di biogas da scarti di macellazione è permessa in impianti dotati di un’unità di pastorizzazione e igienizzazione (regolamento CE 1774/2002, come modificato dal regolamento CE 208/2006) e previo parere dell’ufficio veterinario provinciale.

Pertanto gli scarti devono essere dapprima triturati (fino a 12 mm), quindi sottoposti a pastorizzazione a 70 °C per almeno un’ora ed infine mescolati con gli altri substrati per la digestione anaerobica.

L’obbligo della pastorizzazione è quindi un aspetto normativo che ostacola l’impiego di questa tipologia di biomassa, in quanto implica l’individuazione di impianti dotati di unità di pastorizzazione. La fase di igienizzazione genera inoltre un aggravio nel bilancio economico del processo di digestione.

L’applicazione della digestione anaerobica degli

esplorato la possibilità di utilizzo di scarti di macello mescolati a pellet di legno come materiale di alimento di un gassificatore. Gli scarti sottoposti a prova sono costituiti da frammenti di ossa, grasso, tessuti nervosi e intestino di bestiame. La composizione del campione di scarti realizzato comprende approssimativamente un 50% in massa di frammenti di ossa, un 30% di intestino e un 20% di grasso e tessuti nervosi. Il campione è stato poi mescolato ai pellet, secondo le seguenti composizioni in massa:

1. 20% di scarti + 80% di pellet;
2. 40% di scarti + 60% di pellet;
3. 60% di scarti + 40% di pellet.

In tabella 4 sono riportati i valori misurati di umidità e di potere calorifico dei componenti delle miscele. Come atteso, i pellet mostrano un’umidità molto

Tab. 4 - Umidità e del potere calorifico di campioni e miscele nello studio di Dickinson (2006) [15]

Parametro	Pellet	Frammenti di ossa	Grasso e tessuti nervosi	Organi interni	Miscela 1	Miscela 2	Miscela 3
Umidità [%]	6,90	7,27	28,00	19,55	8,40	9,90	10,00
Potere calorifico [kJ/kg]	19,40	25,20	29,20	32,80	21,17	23,90	24,70

scarti animali è pertanto da ritenersi fattibile soprattutto in impianti di taglia medio-grande, preferibilmente concepiti sin dalla fase di progettazione per trattare sottoprodotti animali; è, però, da gestire con grande attenzione in codigestione con altre matrici, anche in relazione al

ridotta, mentre il grasso e i tessuti nervosi scontano i valori più elevati. A dispetto della forte variazione di umidità dei diversi campioni, comunque, le miscele realizzate variano di pochi punti percentuali l’uno dall’altro. Questo a causa della presenza di pellet in quantità rilevanti in ogni caso. Anche se

con umidità rilevanti, grasso, tessuti nervosi e organi interni hanno un buon potere calorifico.

Per avviare il processo, viene bruciato il combustibile introdotto nella camera, per poi ridurre gradualmente il quantitativo di ossigeno presente.

In tabella 5 sono riassunti i risultati ottenuti. Si osserva come, all'aumentare dei quantitativi di scarti

Tab. 5 - Prestazioni dei combustibili sottoposti a prova nello studio di Dickinson (2006) [15]

Periodo di prova	Tempo effettivo [h]	Potenza termica [MW]	Energia oraria [GJ/h]
1	1,17	1,940	6,97
2	3,08	0,961	3,46
3	1,50	0,413	1,49

di macello nella miscela, la potenza termica e il calore generato si riducono sensibilmente. Ciò è imputabile in parte alla maggiore umidità dei campioni e in parte all'impianto utilizzato per i test, non ottimizzato e parzialmente adatto all'utilizzo di combustibile organico di scarto.

Anche se ulteriori studi e test devono essere necessariamente condotti, la possibilità di pirogassificare gli scarti di macello sono comunque da non trascurare, anche in considerazione del fatto che, rispetto alla biogassificazione per digestione anaerobica, i sistemi di pirogassificazione si rivelano più adatti ad essere scalati nella potenzialità e negli ingombri, consentendo di raggiungere taglie d'impianto più adatte alle piccole e medie aziende.

CONCLUSIONI

Allo stato dell'arte esistono alcune tecnologie capaci di valorizzare, tramite i processi di digestione anaerobica e pirogassificazione, gli scarti animali prodotti dalla filiera della macellazione. Tutti i risultati sperimentali mostrano, tuttavia, la necessità di integrare questi materiali con altre sostanze, tra queste, i letami bovini e alcuni scarti legnosi.

Gli impianti di bio- e piro-gassificazione sono ancora in fase sperimentale hanno bisogno di ulteriori ottimizzazioni affinché possano essere applicati su scala reale e soddisfare le necessità della filiera produttiva attuale.

Le opportunità offerte dallo sfruttamento energetico degli scarti da macello rendono, comunque, il percorso di sviluppo tecnologico certamente

perseguibile e dalle buone rese economiche.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Alfano V., Gaeta M. (2010), *Rifiuti organici e scarti di macellazione per il biogas*, L'Informatore Agrario, **17**, 17-22.
- [2] Banks C.J., Wang Z. (1999), *Development of a Two Phase Anaerobic Digester for the Treatment of Mixed Abattoir Wastes*, Water Science and Technology, **40**, 67-76.
- [3] Angelidaki I., Ahring B.K.(1992), *Effects of Free Long-Chain Fatty Acids on Thermophilic Anaerobic Digestion*, Applied Microbiology and Biotechnology, **37**, 808-812.
- [4] Hansen H.K., Angelidaki I., Ahring B.K.(1996), *Anaerobic Digestion of Swine Manure: Inhibition by Ammonia*, Water Research, **32(1)**, 5-12.
- [5] Angelidaki I., Ahring B.K. (1995), *Establishment and Characterization of an Anaerobic Thermophilic (55 °C) Enrichment Culture Degrading Long-Chain Fatty Acids*, Applied Environmental Microbiology, **61**, 2442-2445.
- [6] Hejnfelt A., Angelidaki I. (2009), *Anaerobic Digestion of Slaughterhouse By-Products*, Biomass and Bioenergy, **33**, 1046-1054.
- [7] Angelidaki I., Sanders W. (2004), *Assessment of the Anaerobic Biodegradability of Macropollutants*, Reviews in Environmental Science and Biotechnology, **3(2)**, 117-129.
- [8] Edström M., Nordberg Å., Thyselius L. (2003), *Anaerobic Treatment of Animal By-Products from Slaughterhouses at Laboratory and Pilot Scale*, Applied Biochemistry Biotechnology – Part A: Enzyme Engineering and Biotechnology, **109**, 127-38.
- [9] Palatsi J., Viñas M., Giuvernau M., Fernandez D., Flotats X. (2011), *Anaerobic Digestion of Slaughterhouse Waste: Main Process Limitations and Microbial Community Interactions*, Bioresource Technology, **102**, 2219-2227.
- [10] Soldano M., Fabbri C., Labartino N., Piccinni S., Rossi L. (2011), *Rese di co-digestione di sottoprodotti di origine animale in reattori pilota a ciclo continuo*, C.R.P.A., Relazione presentata a Ecomondo, 488-494, Rimini.
- [11] Norma UNI EN ISO 11734:2004, Qualità dell'acqua – Valutazione della biodegradabilità anaerobica ultima di composti organici in fanghi digeriti – Metodo per la misurazione della produzione di biogas.
- [12] Opuscolo C.R.P.A. 6.23 – n.5/2011, Biogas: i metodi di valutazione del potenziale metanigeno.
- [13] Vismara R., Canziani R., Malpei F., Piccinini S. (2011), *Biogas da agrozootecnia e agroindustria*, Dario Flaccovio Editore.
- [14] Colonna N., Alfano V., Gaeta M. (2009), *La stima del potenziale di biogas da biomassa di scarto del settore zootecnico in Italia*, ENEA, giugno.
- [15] Dickinson T.E. (2006), *An Assessment of Gasification as an Alternative Technology for the Disposal of Slaughterhouse Waste*, Final report for Investment Agriculture Foundation of British Columbia (Project LTW 001).



L'ing. **Lorenzo De Pascalis**, salentino, si occupa di ingegneria impiantistica, ambientale e della sicurezza. Ha sviluppato negli anni la sua attività professionale collaborando con enti pubblici, dipartimenti di ricerca, industria e partner privati, con lo scopo di fornire ai propri clienti servizi di progettazione, direzione dei lavori, consulenza e supporto nella gestione di progetti complessi. Opera attivamente nel campo dell'istruzione pubblica e della formazione professionale, ed è autore di numerosi articoli di ricerca, monografie e manuali pubblicati in ambito nazionale e internazionale.