

# Produzione di energia elettrica e calore utilizzando il biogas

## Parte 1: analisi della composizione del biogas

Nonostante il biogas sia un combustibile rinnovabile, la sua combustione negli impianti per la generazione di energia elettrica produce numerose sostanze, alcune delle quali dannose. Le limitazioni imposte dalle normative, tuttavia, non sono sufficienti ad evitare timori e diffidenze. Per questi motivi è importante approfondire il quadro delle emissioni al camino dei motori alimentati a biogas. In questo lavoro si presentano i risultati di una campagna sperimentale nella quale sono stati misurati la composizione del biogas e le emissioni prodotte dal motore. Nel lavoro, dopo una disamina del settore, si pone l'attenzione sulla composizione del biogas. Le misure rivelano che la percentuale di metano varia tra 47 e 55%. Si evidenziano però livelli non trascurabili di H<sub>2</sub>S, sostanza che gioca un ruolo fondamentale nell'azione corrosiva delle parti metalliche del motore. Tra i COV, solo il toluene viene rilevato ma, pur essendo una sostanza nociva, le attuali evidenze scientifiche non lo indicano come una sostanza con effetti mutageni.

### PRODUCTION OF ELECTRICITY AND HEAT USING BIOGAS - PART 1: BIOGAS COMPOSITION ANALYSIS

Despite biogas renewability, its combustion in power plants generates substances which are source of concerns for people living near biogas facilities. Standards prescribe limits for some substances, but this is not enough to avoid citizens' concerns. Therefore, it is important to investigate biogas engines emissions throughout experimental measurements. This work presents the results of an experimental campaign for biogas composition and engine emissions measurement. In the work, after an examination of the sector, attention is paid to the composition of the biogas. The results reveal that the methane percentage varies from 47 and 55%. It is also measured a not negligible quantity of H<sub>2</sub>S and toluene. The first one is a substance that can cause corrosion on engines' parts, while toluene, based on the present knowledge, is a harmful substance that does not induce mutagenic effects.

### INTRODUZIONE

A partire dal 2009, l'Unione Europea ha sviluppato politiche energetiche volte alla diffusione della generazione da fonti energetiche rinnovabili (FER), alla riduzione delle emissioni di gas climalteranti e all'incremento dell'efficienza energetica [1-3].

In questo contesto, le FER giocano un ruolo chiave poiché consentono di migliorare la sicurezza degli approvvigionamenti, diminuire i costi delle materie prime energetiche, ridurre le emissioni di gas climalteranti, creare opportunità di impiego e crescita economica.

Per favorirne la diffusione, i decisori politici dell'UE hanno definito degli obiettivi comuni e dei target per ogni singolo stato membro, mentre hanno lasciato alla singola nazione la facoltà di definire i meccanismi di incentivazione e regolamentazione. Tutto questo ha consentito la proliferazione di impianti a FER dedicati alla generazione elettrica, quali eolico e solare fotovoltaico.

Nonostante l'elevato potenziale, la produzione di energia elettrica derivante da queste due fonti è fortemente influenzata dalla loro imprevedibilità ed intermittenza. Caratteristiche che, da un lato, non consentono di programmarne la produzione e, dall'altro, impongono sia di flessibilizzare gli impianti a combustibili fossili che di dotare il sistema elettrico di impianti di stoccaggio. Tutte queste problematiche non si riscontrano con le bioenergie: biomasse (esclusi i rifiuti solidi urbani), biogas (di varia natura) e bioliquidi. Esse, infatti, oltre a garantire una produzione stabile e programmabile, consentono, se necessario, una generazione combinata di energia elettrica e calore.

Tra le bioenergie, il biogas prodotto da digestione anaerobica (DA) ha un grande potenziale poiché, oltre alle suddette caratteristiche, da un lato favorisce il recupero e la valorizzazione a fini energetici di residui agroforestali e industriali, dall'altro consente, dopo un processo di upgrading, di utilizzare un combustibile rinnovabile, il biometano, sia in applicazioni di riscaldamento domestico e/o industriale, sia nel settore dei trasporti. Quindi,

il biogas oltre a contribuire alla produzione di energia elettrica "verde" potrà giocare un ruolo chiave nella decarbonizzazione del settore dei trasporti. Come tutti i combustibili, di origine fossile o rinnovabili, anche il biogas durante la combustione produce delle sostanze, alcune delle quali dannose. Le limitazioni a tali sostanze imposte dalle normative, tuttavia, non sono sufficienti ad evitare timori e diffidenze. Infatti, alla base di questo atteggiamento, oltre alla naturale avversione alla costruzione di nuovi impianti da parte della popolazione che vive nelle vicinanze del sito di installazione, vi è una scarsa conoscenza di ciò che questi impianti realmente emettono. Spesso si paventano rischi per la salute solo sulla base del fatto che alcune sostanze pericolose non sono contemplate dalle normative, senza sapere, peraltro, quali siano le loro effettive quantità. Questo è il caso di sostanze come la formaldeide, il benzo(a)pirene o le diossine.

Per questi motivi risulta essenziale approfondire il quadro delle emissioni prodotte dalla tecnologia del biogas per la generazione di energia elettrica. Perciò è stata pianificata ed effettuata una sperimentazione su diversi impianti in esercizio, caratterizzati da una taglia che rappresenta quella media italiana ed alimentati con diete diverse. Nella sperimentazione si misurano le composizioni del biogas e le emissioni al camino sia regolamentate, cioè quelle limitate dalle normative, che non regolamentate, ossia emissioni espressamente non limitate ma che risultano comunque potenzialmente pericolose.

In questo primo lavoro, si presenta sia lo stato del settore biogas a livello mondiale, europeo ed italiano cercando di analizzare i fattori che ne hanno consentito lo sviluppo, sia i substrati comunemente utilizzati come materia prima. Quindi, si presentano le caratteristiche degli impianti più significativi ed i risultati delle misure in termini di composizione del biogas.

### IL SETTORE EUROPEO ED ITALIANO DEL BIOGAS

A livello mondiale, dal 2008 al 2017 la potenza elettrica installata (PEI)

alimentata con il biogas è cresciuta da 6699 a 16915 MW.

A livello di diffusione territoriale, l'EU allora il 71.3% del totale della PEI mondiale (12064 MW) mentre le Americhe e l'Asia ospitano rispettivamente 2989 MW (17,7%) e 1115 MW (6,6%).

La Germania, con 6157 MW, guida sia la classifica mondiale (36.4%) che quella europea (51%). Gli USA ospita l'81.3% dei 2989 MW installati sul suolo americano mentre in Asia la nazione leader è la Thailandia (475 MW) segue a ruota dalla Cina con 429 MW.

L'Italia, con 1352 MW, si colloca al secondo posto dopo la Germania nella classifica europea ed è considerata uno dei paesi più avanzati al mondo nel settore biogas. A parte i numeri relativi alla PEI, risulta interessante analizzare la materia prima utilizzata per capire se, ad oggi, questa tecnologia venga o meno impiegata per valorizzare il contenuto energetico di scarti agricoli e deiezioni animali.

A livello UE, il 70.7% degli impianti utilizza materie prime di origine agricola (colture energetiche, letame, liquami etc.). Essi costituiscono il 63.6% della PEI e producono il 72,1% dell'energia elettrica totale derivata dal biogas. Gli impianti alimentati con fanghi di depurazione sono in numero il 16% del totale europeo, rappresentano l'8.2% della PEI e contribuiscono al 5.3% della produzione elettrica. In numero, il 9.1% degli impianti utilizza biogas captato in discarica, mentre, in termini di potenza installata ed energia elettrica prodotta, rappresentano rispettivamente il 21.8% ed il 13.2%. Il 3.9% degli impianti viene invece alimentato mediante varie tipologie di rifiuti organici

(come la parte organica dei rifiuti urbani, domestici e industriali) mentre per lo 0.3% il substrato utilizzato è ignoto. Nonostante il ridotto numero, gli impianti che utilizzano rifiuti organici costituiscono il 6.2% della PEI e producono il 3.2% dell'energia elettrica totale mentre quelli alimentati con substrato "ignoto" contribuiscono alla generazione del 6.2% dell'energia pur costituendo solamente lo 0.2% della potenza installata.

Come a livello EU, anche in Italia si conferma la predominanza di impianti alimentati con substrato di origine agricola (80.7%) mentre vi è un'inversione di posizione tra gli impianti che utilizzano il biogas di discarica (11.6%) e quelli in cui il biogas viene prodotto da fanghi di depurazione (4.8%). Anche in Italia, per il 2.9% degli impianti il substrato è ignoto.

Sia a livello di generazione che di PEI, il 73.7% degli impianti italiani utilizza substrato di origine agricola mentre il 19.2% ed il 4.4% sfruttano rispettivamente fanghi di depurazione e biogas captato in discariche. Il 2.7% della potenza installata e della generazione invece derivano da substrato "ignoto" [4].

Come precedentemente accennato, la diffusione delle FER e del biogas è stata favorita da una serie di politiche europee caratterizzate da regole ed obiettivi vincolanti. Nel caso dell'Italia, la spinta maggiore al settore biogas è stata impressa con il D.M. 18 dicembre 2008 [5]. Esso consentiva ai produttori di scegliere tra la "tariffa onnicomprensiva" ed i "Certificati Verdi" se la potenza elettrica nominale dell'impianto era compresa tra 1 e 999 kW e l'impianto entrava in esercizio in data successiva al 31/12/2007. La tariffa

**FIGURA 1 - Tipologia e quantità di substrato inserito in ogni singolo impianto**



Parametri	Valore
Configurazione	V70°
Numero di cilindri	20
Alesaggio (mm)	135
Corsa (mm)	170
Cilindrata del singolo cilindro (litri)	2.433
Velocità media del pistone (m s <sup>-1</sup> )	8.5
Velocità di rotazione (giri min <sup>-1</sup> )	1500
Rapporto volumetrico di compressione	12.5
Potenza elettrica (kW)	999
Potenza termica (kW)	2459
Rendimento elettrico (%)	40.58
Portata di biogas (Nm <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	547
Portata di gas esausti (kg h <sup>-1</sup> )	5312
Temperatura dei gas esausti (°C)	457

**TABELLA 1 - Specifiche tecniche del motore a combustione interna**

onnicomprensiva è un incentivo monetario riconosciuto per un periodo di 15 anni, durante i quali rimane fissa e si concretizza nella corresponsione di un beneficio monetario per ogni kWh netto di energia elettrica immesso in rete. Nel caso di impianti a biogas (esclusi gas di discarica e gas residuati dai processi di depurazione), la quota corrisposta era pari a 280 €/MWh.

**TABELLA 2 - Normative secondo le quali viene eseguita l'analisi del biogas**

Parametri	Normativa
Temperatura, Umidità	UNI 10169:2001
Potere Calorifico Inferiore (PCI)	UNI EN ISO 6976:2008
CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub>	EPA 3C 1996
Idrogeno	ASTM D1945 2014
Ammoniaca	M.U. 632:84
Cloro totale, Fluoro e Zolfo	PO/GEN/036R0
Composti inorganici del fluoro e del cloro, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	DM 25/08/2020 GU no. 223 23/09/2020 All. 2
Solfuro di idrogeno	M.U. 634:84
Polveri, SiO <sub>x</sub>	UNI EN 132841:2003 + Unichem 723/86 + APHA ed. 21 2005, 3111 D
Nebbie d'olio	UNI EN 132841:2003 + M.U. 759:87
Polisilossani	UNI EN 13649:2002
Composizione del Gas (idrocarburi)	UNI EN 15984:2011
COV	EPA TO15 1999

Questo generoso incentivo ha fatto sì che, nel periodo 2008-2012, gli impianti alimentati a biogas crescessero da 107 a 1548 unità, che la PEI aumentasse da 55 MW a 1342.7 MW e che l'energia elettrica prodotta crescesse da 1000 a 4620 GWh all'anno.

Questa crescita ha consentito, da un lato, all'Italia di raggiungere nel 2012 i target di PEI da biogas fissati per il 2020 e, dall'altro, di standardizzare gli impianti. Infatti, per massimizzare il ritorno economico, la taglia prevalentemente installata era di 999 kW elettrici mentre la dieta si basava su substrati derivanti da colture energetiche.

Per quel che concerne la tecnologia utilizzata, praticamente il 100% degli impianti italiani ed europei utilizza i motori a combustione interna (MCI).

In seguito alla revisione dei meccanismi di incentivazione [6,7] le installazioni hanno subito una brusca frenata tanto che, ad oggi, la potenza installata totale è di circa 1352 MW. In termini di taglia e di substrato invece, la tendenza è di installare potenze elettriche inferiori ai 300 kW e di utilizzare deiezioni animali e scarto agro-forestali: accorgimenti che consentono di accedere a tariffe incentivanti che garantiscono la sostenibilità dell'investimento.

### IL CASO STUDIO E LA CAMPAGNA DI MISURA

Dopo un'attenta analisi degli impianti italiani, la campagna di misura ha coinvolto diversi impianti a biogas caratterizzati da una potenza elettrica nominale di 999 kW. Taglia selezionata in quanto la più diffusa a livello italiano tra i biogas operanti con substrati di origine agricola. In questo studio però se ne considerano solo sei poiché ritenuti i più significativi sia ai fini dell'analisi del biogas prodotto che delle emissioni, oggetto dei lavori successivi.

In Figura 1 si riportano le diete dei vari impianti mentre in Tabella 1 le caratteristiche del MCI. I motori sono tutti cogenerativi poiché il calore recuperato dal circuito di lubrificazione e da quello di raffreddamento viene impiegato per mantenere in temperatura i digestori. Solo negli impianti indicati con BGP 4, 5 e 6 è presente un'unità di recupero del calore dai fumi di scarico del MCI. Il biogas prodotto non deve rispettare alcuna specifica di legge in termini di composizione o grado di purificazione.

L'analisi della composizione del biogas viene eseguita secondo normativa (si veda Tabella 2) con il supporto di un laboratorio specializzato. Le misure sono certificate con livello di significatività del 95%.

### ANALISI DELLA COMPOSIZIONE DEL BIOGAS

I valori campionati vengono prima comparati tra loro e, successivamente, confrontati con dati disponibili in letteratura.

In Tabella 3 si elencano le sostanze che compongono il biogas tra cui polisilossani, idrocarburi e composti organici volatili - COV. Si riportano solo le sostanze presenti con quantità misurabili.

La percentuale media di CH<sub>4</sub> è pari al 52% ma, al variare della dieta, essa cambia considerevolmente: 47-55%.

Analogamente, anche la percentuale di CO<sub>2</sub> varia considerevolmente al variare della dieta (41-48%), mentre la media è pari a 44%. La quantità di N<sub>2</sub> varia invece tra 0.7 e 9% mentre quella di O<sub>2</sub> tra 0.1 e 2.4%.

Il PCI risulta variabile tra 17.99 e 20.64 MJ Nm<sup>-3</sup>; aspetto che condiziona la taratura del MCI e le emissioni dello stesso. I composti dello zolfo individuati sono l'H<sub>2</sub>S e l'acido solforico, che derivano dalla degradazione di alcuni aminoacidi durante il processo di DA. In presenza di acqua, questi composti possono innescare fenomeni di corrosione delle parti metalliche del MCI o nel sistema di recupero del calore dai fumi. I valori rilevati di H<sub>2</sub>S variano considerevolmente: da 115 a 900 mgNm<sup>-3</sup>, mentre il costruttore del

MCI suggerisce valori inferiori a 250 mgNm<sup>-3</sup>. Oltre tale valore, consiglia l'installazione di un desolfatore. Ad oggi, il monitoraggio degli impianti BGP 1 e 4 non ha individuato effetti di corrosione nei MCI nonostante la soglia venga superata.

Il contenuto di NH<sub>3</sub> è sotto la soglia strumentale solo negli impianti BGP 2 e 6. La media si attesta a 8 mg Nm<sup>-3</sup> mentre il massimo è pari a 19 mg Nm<sup>-3</sup>. I valori del cloro e del fluoro totale, dei loro composti inorganici, del silicio e delle nebbie d'olio sono sempre al di sotto della soglia strumentale (per brevità questi valori non sono riportati in Tabella 3).

Anche i valori delle polveri sono sempre sotto il limite strumentale, tranne per il caso BGP1.

L'analisi dei polisilossani e dei COV rivela che, nella quasi totalità dei casi, tali sostanze non raggiungono la soglia strumentale. Aspetto incoraggiante anche se, l'unico COV sempre rilevato è il toluene; sostanza nociva che non induce effetti mutageni secondo le attuali evidenze scientifiche.

Si confrontano ora i valori campionati con quanto disponibile in letteratura. A conoscenza degli autori, il lavoro di Rasi [8] è uno dei rari studi che presenta dati misurati su impianti reali anziché valori derivati da digestori pilota, simulazioni numeriche o elaborazioni statistiche.

I dati raccolti da Rasi si riferiscono a 5 impianti in esercizio nel 2007-2008 in Finlandia e Germania. Di essi non si conosce la potenza elettrica di targa ma solo la natura del substrato. Rasi rileva percentuali di CH<sub>4</sub> molto maggiori rispetto al presente lavoro, che mediamente si attestano al 58% contro il 52% ottenuto dagli autori. Inoltre, Rasi rileva picchi del 70% contro il 55% degli autori, valore che in Rasi corrisponde al minimo misurato.

Nonostante sia complesso legare la composizione del biogas al substrato utilizzato, è interessante notare che gli impianti che presentano percentuali

elevate di CH<sub>4</sub> utilizzano colture energetiche, deiezioni animali, ma anche fanghi di depurazione, rifiuti urbani/industriali. Substrati che, a livello teorico, garantiscono rese maggiori in termini di produzione di CH<sub>4</sub>. Mentre, i rimanenti due impianti, che utilizzano solo colture energetiche e liquami, presentano percentuali comparabili con quelle degli autori. Quindi, è possibile concludere che gli impianti analizzati presentano percentuali di metano in linea con quanto precedentemente rilevato a livello UE in impianti in esercizio.

L'analisi dell'H<sub>2</sub>S rivela valori simili tra i due studi: in Rasi, 3-1000 ppm mentre nel caso in esame si ottengono valori tra 87 e 707 ppm.

Diversa è la situazione per l'ammoniaca; Rasi rileva valori tra 0.5 e 2 ppm mentre gli autori tra 0 e 25 ppm.

I composti alogenati si trovano raramente nel biogas prodotto da DA di substrati agricoli e deiezioni animali. Infatti, anche in [8], come nella presente sperimentazione, queste sostanze sono presenti per valori inferiori alla soglia strumentale.

Se si focalizza l'attenzione sui composti del silicio invece, si osserva che i più comuni sono i polisilossani, sostanze non dannose per la salute umana. Tuttavia, durante il processo di combustione, la loro presenza può produrre ossido di silicio; composto che si accumula nelle parti del motore quali valvole e pistoni. L'accumulo può causare guasti alle valvole e, quindi, causare interventi di manutenzione che producono sia costi imprevisti che perdite di produzione. La tematica dei guasti è stata indagata dagli scriventi ma, nonostante la presenza di queste sostanze non si sono registrati malfunzionamenti sia in BGP 4 che in BGP 5.

Tra i COV, il benzene ed il toluene sono i composti più pericolosi per la salute umana. Il benzene viene rilevato dagli autori in tracce e sempre con

**TABELLA 3 - Principali sostanze rilevate nel biogas**

Parametri	BGP 1	BGP 2	BGP 3	BGP 4	BGP 5	BGP 6
CH <sub>4</sub> (% vol.)	53	53	51	53	55	47
CO <sub>2</sub> (% vol.)	44	44	48	45	44	41
N <sub>2</sub> (% vol.)	1.9	1.9	0.7	1.7	1.1	9
O <sub>2</sub> (% vol.)	0.4	0.4	0.1	0.4	0.1	2.4
H (% vol.)	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
PCI (MJ Nm <sup>-3</sup> )	19.88	19.67	19.92	20.64	19.67	17.99
NH <sub>3</sub> (mg Nm <sup>-3</sup> )	11	<0.5	2.9	19	17	<0.5
Zolfo totale (mg Nm <sup>-3</sup> )	856	165	110	531	132	118
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (mg Nm <sup>-3</sup> )	24	24	6.5	4.7	11	0.9
H <sub>2</sub> S (mg Nm <sup>-3</sup> )	900	165	115	561	135	123
Polveri (mg Nm <sup>-3</sup> )	0.5	<0.4	<0.3	<0.4	<0.3	<0.4
Polisilossani (mg Nm <sup>-3</sup> )						
Octametilciclotetrasilossano	<0.5	<0.5	<0.5	0.8	<0.5	<0.5
Decametilciclopentasilossano	<0.5	<0.5	<0.5	1.1	0.7	<0.5
COV (mg Nm <sup>-3</sup> )						
Benzene	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Toluene	1.5	1.4	0.4	0.5	0.9	0.2

valori al di sotto del limite strumentale. Tuttavia, è importante notare che Rasi rilevava 0,7-1,3 mg Nm<sup>-3</sup>. Differente la situazione relativa al toluene. In [8], la concentrazione variava tra 0.2 e 0.7 mg Nm<sup>-3</sup> mentre in questo studio raggiunge anche 1.5 mg Nm<sup>-3</sup>. Pertanto, a differenza del benzene, il toluene viene rilevato e la sua concentrazione in tre casi supera il range precedentemente pubblicato. Purtroppo, in base alle conoscenze degli autori, risulta molto complesso legare il contenuto di toluene alla dieta dell'impianto dati i molteplici fattori coinvolti.

### CONCLUSIONI

In questo lavoro, si analizza inizialmente il trend delle installazioni di impianti a biogas. Poi, l'attenzione viene posta sulla composizione del biogas prodotto in impianti in esercizio. Questo primo set di analisi è parte di uno studio più ampio e volto, mediante misure sul campo, ad estendere le conoscenze in materia di qualità del biogas ed emissioni al camino di MCI con esso alimentati. L'analisi della composizione del biogas rivela che la percentuale di metano varia tra 47 e 55%.

Valori in linea con la letteratura disponibile. Si evidenziano però livelli non trascurabili di H<sub>2</sub>S, sostanza che gioca un ruolo fondamentale nell'azione corrosiva delle parti metalliche del MCI.

Composti quali COV, polisilossani e idrocarburi sono sempre al di sotto delle soglie strumentali. Solo il toluene viene rilevato ma, pur essendo una sostanza nociva, le attuali evidenze scientifiche non lo indicano come una sostanza con effetti mutageni.

### BIBLIOGRAFIA

1. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. Official Journal of the European Union 2009;5:2009.
2. A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. 2014.
3. EU Roadmap 2050. 2010.
4. TA Luft. 25-29 2002.
5. ECONOMICO MDS. DECRETO 18 dicembre 2008. Incentivazione della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, ai sensi dell'articolo 2, comma 150, della legge 24 dicembre 2007, n. 244. 2008.
6. Decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28. Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE. 2011.
7. Decreto 23 giugno 2016 Incentivazione dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili diverse dal fotovoltaico. 2016.
8. Rasi S. Biogas Composition and Upgrading to Biomethane. 2009. <https://doi.org/978-951-39-3607-5>.



## D'ALESSANDRO

## TERMOMECCANICA

EN 303-5  
(CLASSE 3/CLASSE 5)

made in Italy



[caldaiedalessandro.it](http://caldaiedalessandro.it)



**CALDAIE AD ACQUA CALDA**  
*HOT WATER BOILERS*  
(da 20 kW a 5000 kW)



**GENERATORI DI VAPORE**  
*STEAM GENERATORS*  
(da 60 kW a 5000 kW 6-27 bar)



**GENERATORI DI ARIA CALDA**  
*WARM AIR GENERATORS*  
(da 40 kW a 500 kW)



**TERMOSTUFE e TERMOCAMINI**  
*THERMO STOVES and FIREPLACES*  
(da 12 a 30 kW - da 24 a 33 kW)

**D'ALESSANDRO TERMOMECCANICA S.r.l.** C.da Cerreto, 55 - 66010 Miglianico (CH)  
Tel. +39 0871 950329 Fax +39 0871 950687 [www.caldaiedalessandro.it](http://www.caldaiedalessandro.it) [info@caldaiedalessandro.it](mailto:info@caldaiedalessandro.it)