



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Piattaforma web A.I.D.A.

Advanced and Innovative tool for Developing feasibility Analysis of
biomass plants

Valorizzazione energetica delle biomasse mediante
la digestione anaerobica e/o la gassificazione

M.R. Mastrullo, F. Reale, M. Sarnataro, S. Scarfogliero, D. Toto



Università degli Studi di Napoli Federico II

Report RdS/2011/262

PIATTAFORMA WEB A.I.D.A.

ADVANCED AND INNOVATIVE TOOL FOR DEVELOPING FEASIBILITY ANALYSIS OF BIOMASS PLANTS - VALORIZZAZIONE ENERGETICA DELLE BIOMASSE MEDIANTE LA DIGESTIONE ANAEROBICA E/O GASSIFICAZIONE

M. R. Mastrullo, F. Reale, M. Sarnataro, S. Scarfogliero, D. Toto (Dipartimento DETEC dell'Università Federico II di Napoli)

Settembre 2011

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto: Studi sulla produzione elettrica locale da biomasse e scarti

Responsabile Progetto: Angelo Moreno, ENEA

Si ringraziano:

- l'ing. Viviana Cigolotti e l'ing. Giuseppe Fiorenza, ENEA
- la LELIG Company di Raffaele Liguoro
- la Prof.ssa M.R. Mastrullo del DETEC dell'Università Federico II di Napoli
- l'Ing. Stefano Tersigni e la Dott.ssa Marilena A. Ciarallo dell'Istituto Nazionale di statistica (Dipartimento per le statistiche sociali e ambientali - Servizio statistiche ambientali)

Sommario

PREMESSA.....	3
CAPITOLO 1.....	6
1.1 OBIETTIVI DEL PROGETTO A.I.D.A. (2° VERSIONE).....	6
1.2 A.I.D.A. - ADVANCED AND INNOVATIVE TOOL FOR DEVELOPING FEASIBILITY ANALYSIS OF BIOMASS PLANTS	11
1.2.1 Aspetti informatici preliminari.....	11
1.2.2 Aspetti logistici	12
1.2.3 Aspetti tecnici di supporto.....	13
1.2.3.1 Ricerca Dati	13
1.2.3.2 Sessione "Amministratore"	15
1.2.3.3 Ricerca avanzata e Consorzio Comuni	16
1.2.3.4 Sottomodello per la scelta del sistema di cogenerazione	17
1.2.3.5 Layout-impianto semplificato.....	18
1.2.3.6 Documenti e materiale didattico di supporto.....	18
1.2.3.7 Ampliamento tabelle relazionali	19
1.2.3.8 Altre funzioni di supporto già presenti nella prima versione di A.I.D.A.....	19
CAPITOLO 2.....	20
2.1 RIELABORAZIONE DATABASE.....	20
2.1.1 Settore Zootecnico.....	20
2.1.2 Settore Civile.....	20
2.1.3 Settore Agroindustriale	35
2.1.4 Settore Scarti agricoli.....	36
2.1.4 Settore Colture energetiche	39
2.1.5 Settore Legno Foreste.....	40
CAPITOLO 3.....	44
3.1 RIELABORAZIONE - UTENTE "PUBBLICA AMMINISTRAZIONE"	44
3.1.1 CASO [A] → UTENTE PUBBLICA AMMINISTRAZIONE - DIGESTIONE ANAEROBICA.....	50
3.1.2 CASO [B] → UTENTE PUBBLICA AMMINISTRAZIONE - GASSIFICAZIONE	61
3.2 RIELABORAZIONE - UTENTE "IMPRENDITORE FINANZIARIO"	70

3.2.1 CASO [A] → UTENTE IMPRENDITORE FINANZIARIO - DIGESTIONE ANAEROBICA.....	71
3.2.2 CASO [B] → UTENTE IMPRENDITORE FINANZIARIO - GASSIFICAZIONE	82
3.3 RIELABORAZIONE - UTENTE "UNICO"	86
3.3.1 CASO [A] → UTENTE UNICO - DIGESTIONE ANAEROBICA.....	88
3.3.2 CASO [B] → UTENTE UNICO - GASSIFICAZIONE	90
<i>CAPITOLO 4</i>	94
4.1 STATO DELL'ARTE DELLA TECNOLOGIA	94
4.1.1 TECNOLOGIA DELLA DIGESTIONE ANAEROBICA	94
4.1.2 TECNOLOGIA DELLA GASSIFICAZIONE	94
4.2 STATO DELL'ARTE DEGLI IMPIANTI	110
4.2.1 IMPIANTI A BIOGAS.....	110
4.2.2 IMPIANTI A SYNGAS.....	111
ALLEGATI	114
Allegato [A] 1- ELEMENTI PRODUTTIVI	115
Allegato [B] 2 – COGENERATORI	121
Allegato [C] 3 – PARAMETRI	127
Allegato [D] 4 - Database Scarti Agricoli.....	129
Allegato [E] 5 - Database Legno Foreste	131
Allegato [F] 6 - Database Colture Energetiche.....	133
Allegato [G] – Format di registrazione per le aziende operanti nel settore della gassificazione ...	135
BIBLIOGRAFIA.....	136

Advanced and Innovative tool for Developing feasibility Analysis of biomass plants

Piattaforma web A.I.D.A.

*Valorizzazione energetica delle biomasse
mediante la digestione anaerobica e/o la gassificazione*

PREMESSA

Negli ultimi anni la produzione di energia alternativa (termica ed elettrica) nel settore delle biomasse si è andata via via affermando e attualmente può rappresentare un'importante fonte di reddito per gli operatori agricoli e non solo. Tuttavia, la valutazione di una filiera bio-energetica non può basarsi solo su criteri economici ma deve considerare anche gli aspetti territoriali, energetici e ambientali. Infatti, se da un lato la sostenibilità economica risulta cruciale per stimolare gli operatori del settore alla conversione energetica della disponibilità territoriale delle biomasse, dall'altro gli aspetti energetici e ambientali non possono essere trascurati anche in considerazione del fatto che la produzione di energia da fonti rinnovabili beneficia spesso di sostanziosi incentivi pubblici. Negli ultimi anni sempre crescente attenzione è stata rivolta a questi aspetti tuttavia, ad oggi, le metodologie disponibili per la valutazione energetica e ambientale sono poche e non sempre di facile impiego.

L'obiettivo del progetto è stato quello di sviluppare un modello di calcolo in grado di analizzare alcune tra le filiere bio-energetiche più diffuse nel sistema produttivo nazionale contestualizzandole dal punto di vista territoriale allo scopo di poterne eseguire un'analitica valutazione sotto i tre aspetti (economico, energetico e ambientale) che concorrono a determinarne la sostenibilità globale. La disponibilità di uno strumento in grado di confrontare analiticamente diverse filiere e/o diverse possibilità attuabili all'interno della stessa filiera produttiva può rivelarsi un utile strumento nella ricerca della soluzione ottimale.

Questo progetto si è sviluppato nel corso dei tre anni di attività all'interno di una panoramica più vasta rappresentata dal progetto CERSE, un progetto nato da un accordo di programma tra il Ministero dello Sviluppo Economico e l'ENEA.

I risultati conseguiti nel corso del primo anno di attività si sono concretizzati nella realizzazione dell'Atlante Italiano delle Biomasse [Sito www.enea.it – Sezione *Ricerca Di Sistema Elettrico*], una mappatura del potenziale delle biomasse fermentescibili e lignocellulosiche sull'intero territorio nazionale italiano, con dettaglio provinciale, supportato da una piattaforma web-gis [www.atlantebiomasse.enea.it]; questo strumento rappresenta il supporto principale che ha concesso lo sviluppo, nel corso del tempo, di un modello di calcolo accurato e flessibile in grado di eseguire una valutazione di fattibilità per la valorizzazione energetica delle biomasse, in termini sia tecnico-economici che energetici-ambientali. Si è passati da un modello preliminare realizzato mediante un software proprietario FileMaker [Report RSE/2009/185] ad una prima versione più evoluta realizzata mediante una piattaforma web dedicata (A.I.D.A., Analisi di Impianti di Digestione Anaerobica) [Report RDS/2010/177] seguita poi da una nuova versione rivisitata, ampliata sia dal punto di vista informatico che tecnico come sarà mostrato nei prossimi capitoli (A.I.D.A. Advanced and Innovative tool for Developing feasibility Analysis of biomass plants)

La prima versione di A.I.D.A., realizzata lo scorso anno, consente di analizzare i potenziali produttivi solo di alcuni dei settori relativi al campo delle biomasse fermentescibili, in particolare il settore zootecnico bovino/bufalino, il settore zootecnico suino e il settore civile degli scarti organici prodotti mediante la raccolta differenziata. Il punto di maggior forza dello strumento, che lo differenzia da altri studi di settore, è la possibilità di offrire un riferimento territoriale della disponibilità delle biomasse con un dettaglio comunale e di proporre inoltre un dimensionamento di massima per un impianto di valorizzazione energetica mediante l'utilizzo della tecnologia della Digestione Anaerobica oltre che di alcuni parametri economici per la valutazione della fattibilità e della convenienza dell'investimento. I risultati relativi sono riportati nell'attività di ricerca Rds/2010/177 dal titolo "Sviluppo di un modello di calcolo per la valorizzazione energetica delle biomasse prodotte dalle diverse filiere Waste to Energy. Parte 1 - Descrizione della Piattaforma web A.I.D.A".

Quanto detto rappresenta la base di supporto per il progetto proposto con la terza annualità, oggetto di studio del presente report.

NOTA: si ricorda al lettore che il link ufficiale del servizio web AIDA sarà disponibile solo dopo il passaggio definitivo sul portale ENEA. La comunicazione del link avverrà tramite il sito ufficiale www.enea.it

Capitolo 1

1.1 OBIETTIVI DEL PROGETTO A.I.D.A. (2° VERSIONE)

Il progetto si pone una serie di obiettivi che possiamo considerare appartenenti a tre macrogruppi:

A. Completamento di funzioni di supporto per il modello.

B. Potenziamento della piattaforma web A.I.D.A.

C. Implementazione del modello di Gassificazione come un sistema integrato e complementare al modello della Digestione Anaerobica già realizzato.

Obiettivo [A] → Il modello di calcolo A.I.D.A, già nella sua prima versione, è stato dotato della predisposizione di una serie di funzioni di supporto che nel corso del secondo anno di attività sono state sviluppate e potenziate:

- Elaborazione "Ricerca Dati" (Info Substrati, Info Motori, Info costi)
- Sessione "Amministratore": Format per maschere inserimento dati
- "Ricerca avanzata" e "Consorzio Comuni"
- Sottomodello per la scelta del sistema di cogenerazione
- Layout-impianto semplificato
- Documenti e materiale didattico di supporto
- Ampliamento sezione Databases
- Ampliamento tabella "Caratterizzazione substrati"

Obiettivo [B] → Consiste nell'aggiornare i pacchetti contenenti i modelli delle singole fasi dell'intera catena energetica, secondo le indicazioni già previste nel capitolo degli "Sviluppi futuri" scritto a conclusione del report dello scorso anno [1]; di seguito saranno esposti i punti salienti affrontati poi in dettaglio nei capitoli successivi.

- Passo 0 – "Scelta tipologia utente". Il modello prevede tre tipologie di percorsi decisionali in funzione della tipologia di utenza, ossia "Pubblica Amministrazione",

“Imprenditore Finanziario” e “Utente Unico”; la prima versione del modello consente l’analisi esclusivamente alla prima tipologia di utenza. La nuova versione della piattaforma web completa tale sezione e sviluppa i due restanti percorsi decisionali secondo le esigenze delle specifiche tipologie di utenza sopracitate.

- Passo 1 – “Potenzialità Biomasse”. La prima versione di A.I.D.A. è dotata di un database parziale, come già esplicitato prima, per cui questa fase ha richiesto un lungo e impegnativo lavoro per il caricamento dei database delle restanti categorie di biomasse (Tabella 1) censite dall’Atlante italiano.

TIPOLOGIA SETTORE	SUBSTRATO
Zootecnico	Reflui bovini/bufalini
	Reflui suini
Civile	FORSU
	Reflui Civili
Agroindustriale	Scarti Macellazione
	Altri Scarti Agroindustriali
Scarti agricoli	Paglie
	Potature
	Lolla Riso
	Gusci rutta
	Vinaccia
	Sansa
Colture energetiche	Arundo
	Miscanto
	Panico
	Cardo
	Sorgo
Legno Foreste	Boschi latifoglie
	Boschi Conifere

Arboricoltura

Tabella 1 – Settori delle biomasse fermentescibili e lignocellulosiche analizzati dall'Atlante delle Biomasse

Questi appena citati sono i database ereditati dall'Atlante italiano delle biomasse (fatta eccezione per la specifica rielaborazione del il settore zootecnico e dei reflui civili di cui si è ampiamente discusso nel report dello scorso anno [1]).

- Passo 2: "Tecnologia di digestione anaerobica". In questa fase la nuova versione del modello di calcolo subisce un cambiamento radicale. Il sistema propone una scelta tra le due tecnologie di trasformazione prese in considerazione: la Digestione Anaerobica e la Gassificazione; tale scelta sarà funzione della caratterizzazione delle matrici individuate dalla fase precedente di elaborazione. A tale scopo, nella nuova versione il passo 2 viene rinominato con "Approccio Impiantistico".
- Passo 3: "Produzione di Biogas/Syngas". Anche questa sessione ha subito una rielaborazione sostanziale in virtù dell'introduzione della fase di Gassificazione. In definitiva il passo 3 prevede una doppia elaborazione in base alla scelta della tecnologia di trasformazione della biomassa. Nel caso della Digestione Anaerobica il passo elabora la "Produzione di Biogas" secondo quanto già previsto dalla prima versione del modello A.I.D.A.; nel caso della Gassificazione, il sistema calcola la "Produzione di Syngas" mediante la nuova procedura indicata nei paragrafi dedicati all'approccio tecnologico in questione sviluppato per le tre tipologie di utenza (vedi paragrafi 3.1.2 – 3.2.2 – 3.3.2)
- Passo 4: "Analisi Energetica". In questa fase la nuova versione di A.I.D.A. propone un aggiornamento del database motori. L' ampliamento della gamma dei modelli sia in termini di taglia-impianto sia in termini di differenti case costruttrici e l'inserimento di cogeneratori non convenzionali come le celle a combustibile dà la possibilità di fornire soluzioni reali che prestano attenzione agli aspetti energetici di un processo produttivo; in particolare, la ricerca di utilizzatori energetici a maggiore efficienza e il risparmio energetico come possibili vie per ridurre la dipendenza dai Paesi arabi principali fornitori di combustibili fossili. A seguito di ciò, la **sostenibilità energetica** di un processo produttivo è diventata un fattore sempre più importante e complementare rispetto a quella economica.
- Passo 5: "Aspetti economici"

La piattaforma web è stata concepita come strumento adattabile alle esigenze di diverse fasce di utenza e per questi sono stati costruiti degli scenari economici ad hoc.

Il pubblico settore può trovare un supporto negli studi di prefattibilità utili nelle fasi di pianificazione di interventi sul territorio destinati alla risoluzione del problema energetico e di gestione dei rifiuti, grazie alle immediate stime economiche.

L'utente tipo può stimare in termini economici lo status della sua azienda cui corrispondono i cosiddetti costi del "non fare" in termini di spese di gestione e manutenzione, di consumi energetici e smaltimento reflui; e su questo misurare un investimento per la valorizzazione energetica dello scarto aziendale che crei reddito

Per L'investitore finanziario AIDA si arricchisce nell'analisi economica di una sezione dedicata all'analisi finanziaria dove è stato introdotto il calcolo dei principali indici finanziari per valutare la convenienza economica dell'investimento.

- Passo 6: "Aspetti ambientali"

Le metodologie per l'analisi ambientale e in particolare degli aspetti legati alle emissioni di gas ad effetto serra sono di recente introduzione; la maggior parte di esse sono state sviluppate a seguito o in concomitanza degli accordi di Kyoto nel 1997. La valutazione energetica-ambientale di una filiera si presenta difficoltosa, il problema principale non è tanto dovuto alla mancanza di idonei strumenti per l'analisi, quanto piuttosto alla grande variabilità di risultati che si possono ottenere dal loro impiego. Il bilancio delle emissioni in AIDA di GHG in particolare CO2 prevede il calcolo delle emissioni legate al processo produttivo. Tali emissioni, prodotte nel corso della filiera, sono legate all'utilizzo di combustibili e alla produzione/consumo dei fattori produttivi.

Obiettivo [C] → Nell'ambito del terzo obiettivo del tema di ricerca verrà analizzata la possibilità di trattare le biomasse lignocellulosiche mediante sistemi di gassificazione per la produzione di syngas opportunamente utilizzato in motori per la produzione di energia elettrica e calore. Anche per la filiera lignocellulosica si procederà alla modellizzazione della varie sessioni così come descritte per le biomasse fermentescibili.

Molte sono le tecnologie già disponibili e mature, sia sul fronte della rinnovabili sia sul fronte Sostenibilità di filiere agro-energetiche dell'impiego delle biomasse per la generazione diretta o indiretta di bioenergia a livello centralizzato o distribuito nel territorio; le caratteristiche salienti delle tecnologie che attualmente rivestono la maggior importanza anche sotto il profilo commerciale sono riassunte in Tabella 2. Inoltre, è indispensabile sottolineare come in tutto il mondo siano in atto innumerevoli studi e progetti mirati a sperimentare nuove soluzioni tecnologiche, migliorare l'efficienza dei processi, ridurre i costi di investimento e i costi di gestione, ottimizzare le filiere eliminando sprechi energetici e/o migliorandone i punti critici.

Tale straordinaria vivacità che caratterizza ogni branca del settore energetico certamente contribuirà – in pochi anni - ad ampliare l'offerta di soluzioni convenientemente praticabili e a rendere sempre più efficienti, affidabili e meno costose le tecnologie attualmente già diffuse.

Fonte [2]

FONTE	TECNOLOGIE FILIERA (x)	GENERAZIONE		IMPIANTI	DESTINAZ. PRINCIPALE	DIFF	TIPO (§)	IMPIANTI	DESTINAZ. PRINCIPALE
		MICRO	MACRO						
		DIFF	TIPO (§)						
BIOMASSE RESIDUALI UMIDE	BH	+	FUEL	Digestori	Vettore energetico				
	BG	+++	EE+ET FUEL	Imp. fermentaz. + motori	Rete elettrica Reti gas				
BIOMASSE LIGNO CELLULOSICHE	COM B	+++	ET ET+EE	Gen. termici domestici Gen. termici consortili	Autoconsumo Rete elettrica, reti TLR	++ +	EE + ET	Centrali termo elettriche	Rete elettrica
	GAS; PI	++	EE	Gassificatori Pirolizзаторi	Autoconsumo, rete elettrica	+	EE, ET Fuel	Gassificatori Pirolizзаторi	Rete elettrica Trasporti

Tabella 2 - Principali tecnologie e filiere, forme di energia prodotte e impianti utilizzati sia nella micro-generazione (distribuita), sia nella macro-generazione (centralizzata)

Nota: (§) EE = Energia Elettrica; ET = Energia Termica; FUEL = Biocarburante (x) BG = Biogas; BH = Bioidrogeno; COMB = Combustione; GAS = Gassificazione; PI = Pirolisi

Il risultato che si intende raggiungere consiste in uno strumento complesso ma flessibile che potrà essere utilizzato, nel settore della valorizzazione energetica delle biomasse, da:

- Operatori nel comparto agricolo e agro-industriale, per effettuare studi di fattibilità tecnica e di convenienza economica;

- Ministeri, Regioni e Pubbliche Amministrazioni, per la definizione di programmi nazionali nel settore delle biomasse, contribuendo così a colmare alcune delle carenze che ancora si riscontrano per quanto riguarda la strategia complessiva di intervento nel settore, e la definizione di priorità e risorse finanziarie per il medio termine da parte della PA centrale e delle Regioni.

1.2 A.I.D.A. - ADVANCED AND INNOVATIVE TOOL FOR DEVELOPING FEASIBILITY ANALYSIS OF BIOMASS PLANTS

Di seguito saranno brevemente descritti gli aspetti principali legati alle modifiche apportate al servizio web nel corso del lavoro.

1.2.1 Aspetti informatici preliminari

In via preliminare sono stati necessari alcuni interventi tecnico-informatici sul Servizio web A.I.D.A.:

- Configurazione nuovo spazio web di prova "sandbox" per effettuare test sul software di tipo prestazionale e qualitativo, nonché per effettuare e valutare gli effetti delle modifiche in real-time.
- Creazione di una versione "clone" della piattaforma A.I.D.A. su server aziendale, pubblicata su spazio web in configurazione di prova per effettuare test di connessione da postazioni esterne ed effettuare analisi sul software di tipo prestazionale e qualitativo simulando un utilizzo comune da parte di utenti esterni.
- Spostamento e compattazione database su server aziendale più potente per garantire maggiori prestazioni durante l'elaborazione.
- Sistemazione e correzione di alcuni calcoli e funzioni interne del software, effettuate sulla base di errori noti rilevati durante le prove di simulazione.
- Sistemazione del codice sorgente della sezione pubblica amministrazione (passo 1) - Ordinamento di alcune funzioni interne e correzioni interfacce JavaScript.

- Analisi computazionale delle infrastrutture da realizzare. Fase I - Calcolabilità e complessità delle operazioni da eseguire per la II annualità.

1.2.2 Aspetti logistici

Per quanto riguarda le rielaborazioni eseguite per le varie fasi del modello di calcolo, si preferisce, allo scopo di dare maggiore chiarezza ai passaggi logici realizzati, descrivere le programmazioni distinguendo i tre percorsi decisionali impostati per le tre differenti tipologie di utenza secondo cui:



- Pubblica Amministrazione: si pone l'obiettivo di valutare la disponibilità in termini quantitativi della biomassa sul proprio territorio di competenza e, in relazione alla caratterizzazione chimico-fisica della stessa, decidere poi la tecnologia di valorizzazione più idonea allo scopo di definire le potenzialità in termini energetici e gli output economici e ambientali.



- Imprenditore Finanziario: ha lo scopo di ricercare una soluzione pratica e conveniente in cui investire. Il dato di input non è governato da una caratterizzazione territoriale, bensì dalla scelta della taglia di impianto. L'obiettivo in questa fase è individuare la quantità necessaria di biomassa per alimentare un impianto di taglia nota (la logica da seguire per la tecnologia di Digestione Anaerobica è differente da quella della Gassificazione);



- Utente Unico: con tale definizione s'intende designare sia un imprenditore del settore agricolo che del settore industriale e la logica di programmazione prevede lo sviluppo di uno Studio di Fattibilità ad hoc in relazione alle proprie esigenze aziendali in termini di spese di gestione e manutenzione, di consumi energetici e altre spese varie. Realizzare un impianto che converta uno scarto in energia potrebbe significare per l'impresa sia una mancata spesa per lo smaltimento che un'utile integrazione al reddito data dalla vendita dell'energia prodotta, ammortizzando così le spese necessarie alla conduzione dell'attività. A tale scopo è previsto un format di registrazione in cui l'utente fornisce i propri dati di input su cui saranno eseguite le elaborazioni energetiche, economiche e ambientali.

1.2.3 Aspetti tecnici di supporto

Il sistema è stato dotato di una serie di funzioni di supporto utili per guidare l'utente tipo nello specifico percorso decisionale. Si ritiene opportuno presentare una breve descrizione di tali aspetti, rimandando al sito stesso per ulteriori approfondimenti.

1.2.3.1 Ricerca Dati



Si tratta di una sessione che ha lo scopo di fornire una serie di indicazioni utili all'utente per la comprensione dei dati di input utilizzati dal modello di calcolo:

1. Info Substrati – sessione descrittiva delle caratteristiche fisico-chimiche delle varie tipologie di substrati trattati.

Info substrati

Seleziona...

Effettuare una selezione dal menù a tendina.

Si seleziona dal menù a tendina uno dei substrati di cui si vuole conoscere la caratterizzazione, ad esempio uno dei capi del settore zootecnico bovino:

Info substrati

Bovino 0 - 12 mesi

SUBSTRATO	VAL.
Tipo Substrato	Bovino 0-12 mesi
Matrice di origine	ZOOTECNICO BOVINO
Produzione letame	0,48 t/anno
Produzione liquame	3,87 m ³ /anno
% Solidi totali letame	18 %
% Solidi totali liquame	8,5 %
% Solidi volatili letame	75 %
% Solidi volatili liquame	76,5 %
Resa biogas letame	tSV m ³ /kgSV
Resa biogas liquame	tSV m ³ /kgSV
Rapporto C/N letame	30
Rapporto C/N liquame	25
Densità letame	0,65 t/m ³
Densità liquame	1,05 t/m ³
% CH₄	65 %
Azoto totale	5 %

Questo sistema offre la possibilità di rendere visibile all'utente l'intera gamma di substrati messa a disposizione, fornendo per ciascuno di essi le informazioni relative alla loro caratterizzazione chimico fisica, utile per fare un'analisi critica del dato.

2. Info Cogeneratori – database motori, con relative indicazioni prestazionali.

Info cogeneratori

Seleziona cogeneratore...

Effettuare una selezione dal menù a tendina.

Anche questa sessione nasce con lo scopo di fornire all'utente la possibilità di valutare la gamma di motori messa a disposizione con le relative caratteristiche prestazionali. Il tasto "Vai" consente di visualizzare una schermata tipo (Figura 1) seguita poi da un comando per ritornare alla **Home page** e continuare la simulazione in opera:

CARATTERISTICA MOTORE	VAL.
Tipo	MCI
Marca	JENBACHER
Modello	320
Potenza elettrica	1060 KW
Rendimento elettrico	39 %
Potenza termica	1274 KW
Rendimento termico	46,9 %
Rendimento di cogenerazione	85,9 %

Vai alla home page

Figura 1 – Scheda caratteristiche motore

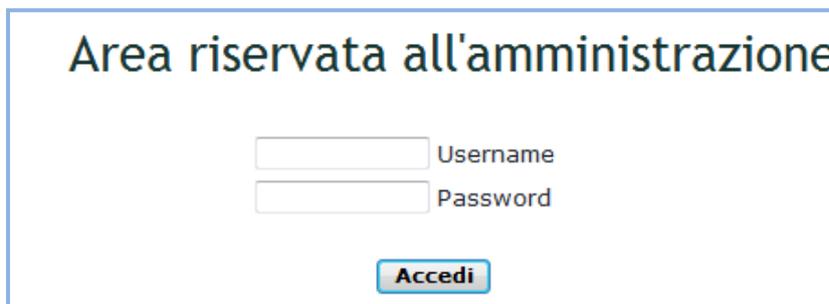
3. Info Costi – elenco delle costanti utili alle elaborazioni economiche dello studio.

Questa è una delle sessioni già elaborata con i risultati dello scorso anno, per cui in questa fase dell'attività è stata fatta una semplice revisione dei dati e un aggiornamento in virtù delle nuove elaborazioni nel settore della gassificazione (per ulteriori approfondimenti si rimanda alla consultazione del sito web).

1.2.3.2 Sessione "Amministratore"

La sessione "Amministratore" nasce per definire un soggetto che sia responsabile della gestione dei dati di default impostati nel Modello di calcolo. Alcuni di questi potrebbero essere soggetti ad aggiornamenti e modifiche, per cui si è ritenuto necessario implementare una serie di "maschere di inserimento dati" in relazione a ciascuna tipologia di informazione (Substrati, Database Motori, Voci di costo, Costanti...) che permettono l'accesso e le modifiche delle costanti del modello di calcolo e dei dati archiviati nel database AIDA. La figura dell'amministratore è una garanzia per tutelare l'attendibilità dei dati.

La gestione di questa sessione del sito è affidata al soggetto in questione mediante l'utilizzo di un Username e una Password di accesso.



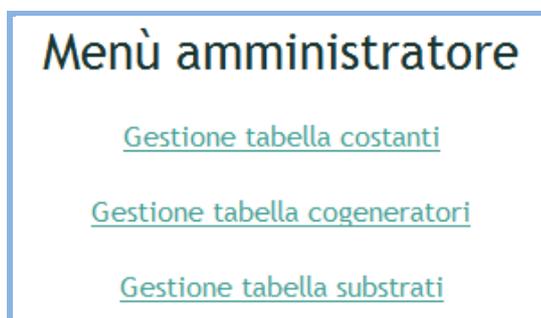
Area riservata all'amministrazione

Username

Password

[Accedi](#)

L'Amministratore potrà intervenire su ciascuna delle seguenti sessioni:



Menù amministratore

[Gestione tabella costanti](#)

[Gestione tabella cogeneratori](#)

[Gestione tabella substrati](#)

Lo scopo è quello di garantire una maggiore flessibilità al sistema e la possibilità di potenziare il servizio in maniera semplice e immediata.

[1.2.3.3 Ricerca avanzata e Consorzio Comuni](#)

Il modello di calcolo è in grado di definire la disponibilità della biomassa per un determinato territorio preso in esame, spingendosi, per alcuni settori, fino ad un dettaglio comunale (per il dettaglio di informazione per i vari settori presi in esame si consulti il capitolo relativo alla "Rielaborazione del Database"). Le sessioni definite come "Ricerca avanzata" e "Consorzio Comuni" sono state realizzate allo scopo di offrire all'utente tipo la possibilità di fare un'indagine più spinta, mirata alle esigenze specifiche di un investimento. Come sappiamo la fattibilità tecnica ed economica di un investimento nel settore della valorizzazione energetica delle biomasse è legata ad una serie di fattori, tra cui la dimensione dell'impianto. Non sempre risulta conveniente per un'azienda di piccole dimensioni valorizzare il proprio scarto, se questo risulta essere insufficiente per lo scopo energetico. In questi casi l'utente, mediante

la sessione *Ricerca Avanzata* potrebbe filtrare il database limitando l'indagine solo ad aziende di una certa soglia minima dimensionale che ritiene opportuna, oppure, mediante la sessione *Consorzio Comuni* potrebbe pensare di valutare la potenzialità di altri comuni limitrofi costituendo così un consorzio.

1.2.3.4 Sottomodello per la scelta del sistema di cogenerazione

È noto che la scelta del sistema di cogenerazione è dettata dal giusto compromesso tra gli aspetti tecnici, gestionali ed ambientali e che nella pratica professionale si è soliti prediligere più componenti di ugual taglia che rendano l'impianto modulare. A tale scopo si è deciso di dotare il sistema di un sottomodello che guidasse l'utente nella scelta del sistema più appropriato allo scopo di ottimizzarne il funzionamento. In sostanza viene fornita un'indicazione sul numero di moduli necessari in relazione alla disponibilità di biogas da valorizzare, dopo aver scelto opportunamente la tipologia di motore e la taglia. In relazione all'approssimazione scelta per il numero di moduli (per eccesso o per difetto) il sistema fornisce indicazioni sull'eventuale regolazione dei moduli, al fine di non penalizzare le prestazioni del motore stesso, ciò accade qualora la scelta conduca ad un funzionamento del motore a carico parziale; analogamente fornisce indicazioni sulla necessità di "bruciare in torcia" il surplus di biogas eventualmente inutilizzato (per ovvie questioni di sicurezza), qualora la scelta dei moduli conduca ad una potenza installata inferiore rispetto alle disponibilità.

Potenza installabile: **1.912,16 kW**

Seleziona tipo... ▼ Seleziona cogeneratore... ▼ **Calcola valori**

Numero	Modello	Tipo	Potenza cad.	Potenza installata
2,91	CPL mod.	MCI	656	1912,163

*Si rende necessaria un'opportuna approssimazione ad un numero intero di moduli;
 ciò comporta un funzionamento del motore ad un regime di carico differente:*

Approssimazione per eccesso Approssimazione per difetto

Numero moduli: **3** Numero moduli: **2**
 Potenza installata: **1.968,00 kW** Potenza installata: **1.312,00 kW**

Calcola le condizioni di funzionamento del motore

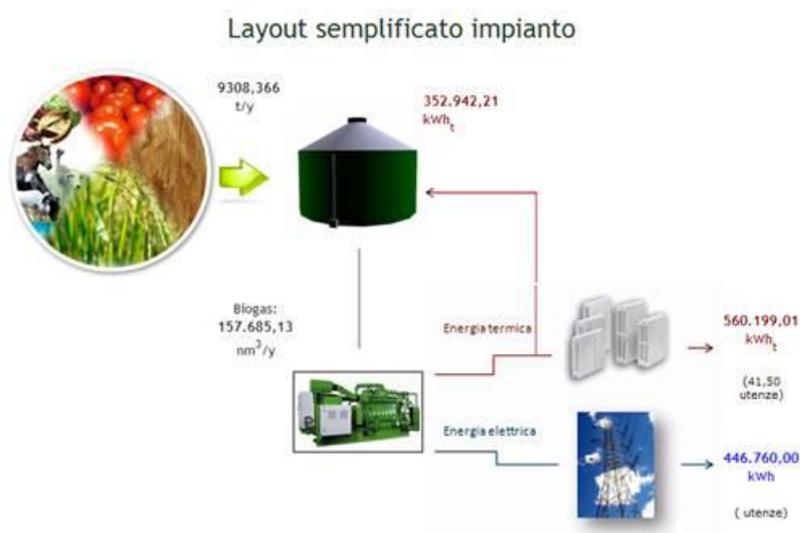
In base alla scelta opportuna eseguita dall'utente tipo, il sistema mostra un warning a video che informa sulla modalità di funzionamento del motore e prosegue poi con l'elaborazione dei risultati energetici, come mostrato nell'immagine sotto riportata.

Il motore lavora a carico parziale con il **97,16%** del carico. Si rende necessaria un'opportuna regolazione del motore in funzione della disponibilità di combustibile.

Potenza installata	1.968,00	kW
Portata oraria biogas	5,82	Nm ³ /h
Produzione energia elettrica	14.653.728,00	kWh
Autoconsumo elettrico	732.686,40	kWh
Surplus elettrico	13.921.041,60	kWh
Produzione energia termica	22.991.193,93	kWh _t
Autoconsumo termico	16.482.704,42	kWh _t
Surplus termico	6.508.489,51	kWh _t
UtENZE elettriche servite (Pot. = 3 kW cad.)	450,26	
UtENZE termiche servite (Sup. = 90 m ² cad.)	482,11	

1.2.3.5 Layout-impianto semplificato

Nel layout semplificato di impianto è stato schematizzato il bilancio energetico proposto al passaggio 4- ANALISI ENERGETICA al fine di sintetizzare gli output principali di energia elettrica e termica direttamente fruibile dalle utenze.



1.2.3.6 Documenti e materiale didattico di supporto

Il Servizio AIDA presenta, sulla destra della pagina web, un elenco con una serie di documentazioni suddivise per gruppi, tra cui si distinguono:

- Pubblicazioni ENEA inerenti il progetto stesso (e non solo);
- Articoli inerenti la tecnologia di Digestione Anaerobica e la Gassificazione
- Materiale vario di supporto per approfondimento della tematica legata alla filiera bio-energetica
- Etc...

1.2.3.7 Ampliamento tabelle relazionali

Diversamente da quanto avviene per lo studio di fattibilità condotto per impianti a biogas tramite un modello decisionale impostato e l'interrogazione di un database, lo studio di fattibilità implementato per la gassificazione si fonda esclusivamente sull'interrogazione di un web database. E' stato dunque necessario ampliare il contenuto per l'inserimento dei substrati lignocellulosici e incrementare il numero di tabelle relazionali che costituivano la prima versione di AIDA.

Per la gassificazione è stata necessaria l'introduzione di una tabella denominata "costanti di gassificazione" utile per le elaborazioni numeriche e una seconda tabella denominata "aziende di gassificazione" in cui sono memorizzate le specifiche tecnologie dei gassificatori. A questa tabella avrà accesso l'amministratore del servizio web tramite interfacce di inserimento dati per l'aggiornamento in continuo dei dati e per l'aggiunta di nuove aziende.

Per questa operazione è stato concepito un format di registrazione, allegato al presente report [Allegato A], messo a disposizione delle aziende che vogliono registrarsi alla piattaforma web AIDA.

Tale format è stato pensato e strutturato per interagire con la tabella in modo univoco, ed evitare danneggiamenti a sistema nel tempo.

1.2.3.8 Altre funzioni di supporto già presenti nella prima versione di A.I.D.A.

Di seguito sarà fornito esclusivamente un elenco sterile che rimanda per ulteriori approfondimenti al Report relativo alla prima versione del Servizio web [1].

- 1) Visualizzazione mappa comune
- 2) Legenda capi per classi
- 3) Dettagli consistenza zootecnica → produzioni deiezioni solide e liquide per tipologia di capi e per classi di capi.

Capitolo 2

2.1 RIELABORAZIONE DATABASE

Una delle principali attività svolte in questa sede di studio consiste nell'acquisizione dei database relativi al censimento delle varie categorie di biomasse trattate nell'Atlante.

Di seguito saranno riportate alcune considerazioni in merito all'utilizzo dei database forniti dell'Atlante delle Biomasse da parte del sistema AIDA.

2.1.1 Settore Zootecnico

Di tale settore sono state prese in considerazione le due categorie:

- Reflui bovini/bufalini
- Reflui suini

Le elaborazioni eseguite dal modello di calcolo AIDA per il settore in questione, così come per il settore civile della frazione organica derivante da raccolta differenziata (FORSU) sono state già ampiamente descritte nel report realizzato per la prima versione di AIDA, per cui si rimanda al testo per ulteriori approfondimenti [1]

Osservazione: in questa nuova versione di AIDA è stata necessaria una rivisitazione della gestione dei dati aziendali del settore, che per motivi di privacy non sono resi noti all'utente. D'altra parte il servizio offre la possibilità di consultare anche il "microdato", mediante la figura dell'amministratore del servizio web, con le dovute precauzioni (vedi paragrafo 1.2.3.2)

2.1.2 Settore Civile

FORSU: anche per il settore relativo alla frazione organica derivante da raccolta differenziata si rimanda, per maggiori approfondimenti, al report realizzato per la prima versione di AIDA.

È doveroso sottolineare che l'indagine di questo settore è stata eseguita secondo il censimento fornito da Rapporto Rifiuti 2007 [3]. Si è consapevoli che si tratta di informazioni ormai

datate e che ad oggi i livelli di raccolta differenziata sono notevolmente aumentati in diversi comuni italiani. Quest'orientamento positivo registra notevoli cambiamenti proprio sulla consistenza della produzione della FORSU, essendo questa una delle categorie merceologiche di maggior peso (circa il 30% dei Rifiuti Solidi Urbani). La politica di sensibilizzazione sul tema dei rifiuti urbani in genere e sulla gestione dei rifiuti presso le discariche sono argomenti ancora oggi molto caldi che spingono verso la ricerca di nuovi sistemi di gestione come quello proposto dalla "Waste to Energy", tema centrale del modello di calcolo oggetto di questo studio.

Reflui Civili: la matrice "*Fanghi prodotti dagli impianti di depurazione delle acque reflue urbane*" non rientra tra le categorie prese in considerazione dallo studio dell'Atlante delle Biomasse; per tale motivo non è georeferenziata sulla mappa Web-GIS (www.atlantebiomasse.enea.it). In questa sede di studio è stato ritenuto opportuno indagare anche sul settore della produzione di fango da reflui civili, poiché questa risulta un ottimo potenziale in termini di recupero energetico da rifiuti.

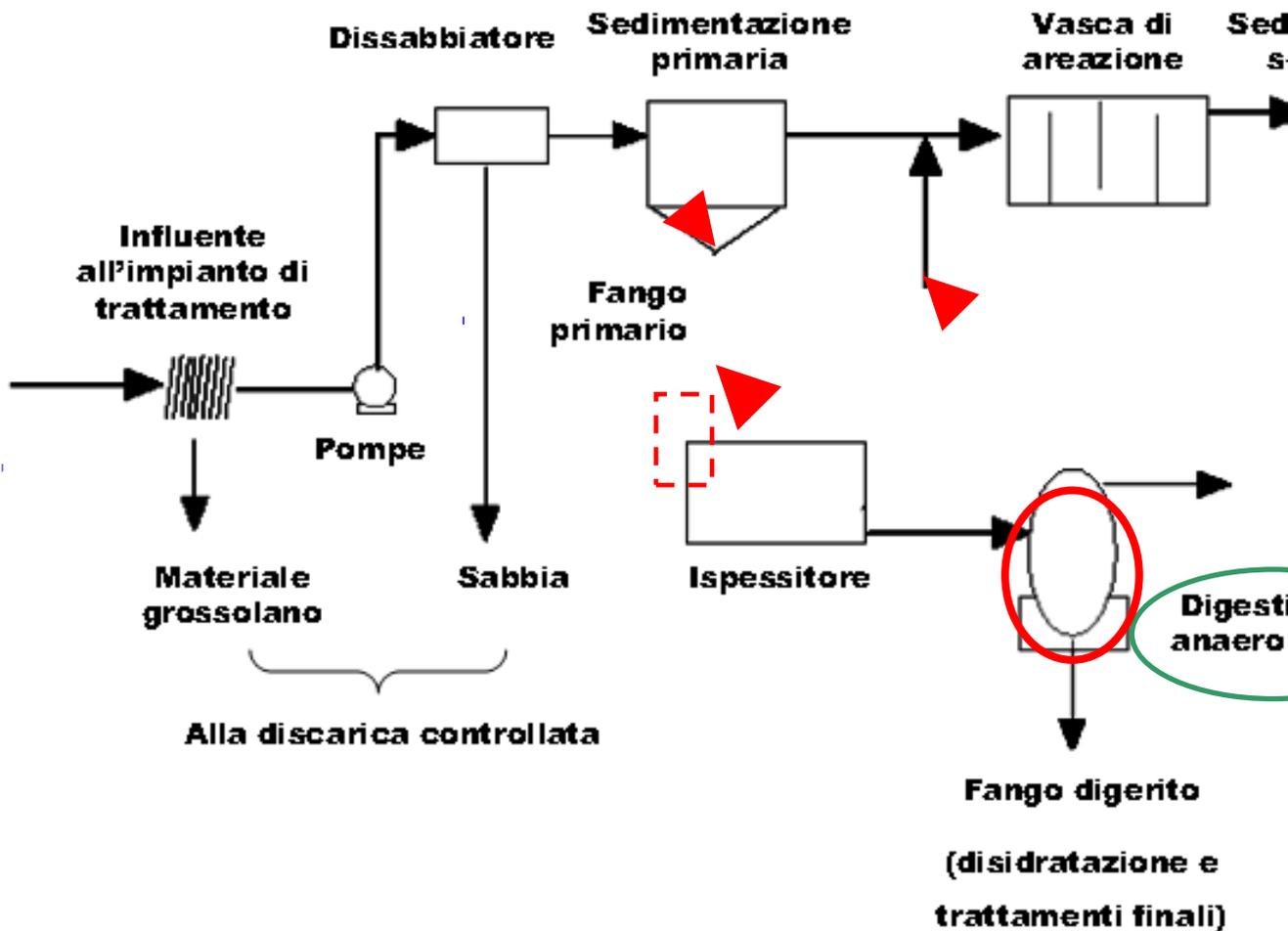
Per tutte le altre categorie oggetto di questo studio è stata messa appunto una metodologia appropriata che consenta di ricavare la producibilità di biogas i cui passi essenziali seguiti sono:

- 1) Analisi delle fonti e banche dati;
- 2) Definizione dei parametri di calcolo;
- 3) Valutazione delle quantità di biomassa avviabile a D.A.;
- 4) Valutazione del potenziale biogas;
- 5) Organizzazione database.

Allo scopo di rendere chiara la metodologia di indagine si ritiene opportuno fornire una descrizione dei suddetti passi per il settore dei *Fanghi Reflui Civili*; mentre per tutte le altre categorie si rimanda alle pubblicazioni inerenti lo studio dell'Atlante delle biomasse.

Per maggiore chiarezza è doveroso fare una considerazione preliminare su cosa s'intende per "fanghi", fornendo dapprima uno schema tipo che mostri sinteticamente i processi di trattamento di un impianto di depurazione delle acque reflue:

Trattamento Acque



Trattamento fanghi

Figura 2 - Schema a blocchi tipico di un impianto di depurazione di acque reflue urbane

Vengono denominati comunemente “fanghi” [4] i residui delle operazioni di rimozione dei solidi che si susseguono in un processo di trattamento delle acque reflue. Spesso tale termine viene accompagnato da un aggettivo che identifica il tipo di processo da cui il fango stesso ha origine, per cui si parla di fanghi primari, fanghi attivi di supero o di fanghi secondari; i fanghi grossolani, le sabbie e le schiume non vengono in genere compresi nel termine “fanghi”. Quelli che destano maggiore interesse ai fini di un recupero energetico mediante la digestione anaerobica sono i fanghi primari, provenienti dalla sedimentazione dei liquami di fognatura, ed i fanghi biologici di supero, provenienti dal trattamento dei fanghi attivati. Per tale matrice è possibile prevedere oltre al recupero di energia mediante processi di digestione

anaerobica, anche un recupero di materia del materiale di scarto del processo mediante il compostaggio. In ogni caso, al di là di questa visione di "recupero/riutilizzo", bisogna considerare che i fanghi sono in gran parte costituiti da sostanze nocive che necessitano comunque di pretrattamenti prima dello smaltimento finale. La sostanza organica presente nei fanghi è soggetta a fenomeni di degradazione biologica responsabili di una serie di effetti indesiderati che si manifestano proprio nella fase dello smaltimento finale. Ed è proprio grazie alla loro matrice organica e al significativo contenuto di nutrienti, che i fanghi sono stati considerati "storicamente" una risorsa; in questo contesto si inserisce infatti la possibilità di riutilizzare tale fango mediante un processo di digestione anaerobica col doppio vantaggio di ridurre quindi le problematiche relative alla qualità per lo smaltimento finale e soprattutto di recuperare energia mediante la produzione di biogas. Grazie all'importanza del recupero energetico e della possibilità di individuare alternative di riutilizzo per i fanghi stabilizzati, la digestione anaerobica rappresenta il processo più largamente impiegato per la stabilizzazione dei fanghi di depurazione.

Un particolare aspetto della valorizzazione energetica dei fanghi riguarda inoltre la co-digestione con frazioni organiche da raccolta differenziata.

Per co-digestione anaerobica si intende il processo attraverso cui flussi di sostanza organica di diversa provenienza vengono convogliati all'interno del medesimo digestore. Le prime applicazioni della co-digestione risalgono agli anni '20 anche se è a partire dagli anni '80 che il processo ha avuto nuovo impulso, con l'avviamento in Danimarca di impianti per il trattamento di reflui zootecnici e dell'industria alimentare. I principali vantaggi associati alla co-digestione sono legati alla maggiore stabilità del processo, alla creazione di condizioni ambientali più favorevoli per i microrganismi, alla diluizione di eventuali composti tossici. Un corretto bilanciamento del rapporto carbonio:azoto è essenziale per l'ottimizzazione della co-digestione; valori troppo alti di questo parametro causano deficienze di ossigeno mentre valori troppo bassi possono provocare inibizione da ammoniacale.

I casi di co-digestione più frequentemente riportati in letteratura riguardano frazione organica dei rifiuti solidi urbani, fanghi di depurazione, letame e reflui industriali. In particolare, è stato dimostrato proprio come la co-digestione della frazione organica di rifiuti solidi con il fango di depurazione consenta di equilibrare in maniera efficace le caratteristiche dei due substrati

di partenza, determinando un incremento di efficienza significativo per il processo complessivo. Infatti, le principali peculiarità della FORSU (alto rapporto C:N, basso contenuto di micro e macro nutrienti, alta concentrazione di sostanza biodegradabile e di sostanza secca) si combinano perfettamente con le caratteristiche dei fanghi di supero [5] hanno osservato un aumento della produzione di biogas superiore al 100% in un impianto pilota, passando dalla digestione di solo fango alla co-digestione con FORSU. In particolare, l'incremento di carico volumetrico (da 1.7 a 3.9 kg_{VS} m⁻³ d⁻¹) applicato ha consentito di quintuplicare il tasso di produzione specifico di biogas da 0.55 a 2.5 m³ m⁻³ d⁻¹. In considerazione dello stato di sotto-utilizzo di molti digestori anaerobici presso impianti di depurazione, la co-digestione può rappresentare una valida alternativa allo smaltimento della FORSU, consentendo di ottimizzare i costi di gestione ed ammortizzare in tempi più rapidi i costi di impianto associati alla costruzione del digestore

Un ulteriore aspetto, legato sempre al recupero energetico di tale matrice, interessa la frazione in uscita da un impianto di depurazione delle acque reflue civili. Inoltre, il contenuto di batteri e di virus e la concentrazione di metalli pesanti e di inquinanti organici presenti nel fango prodotto dagli impianti di depurazione, limitano fortemente o addirittura impediscono l'uso di questo come fertilizzante [6]. Sono questi problemi attuali di grande importanza e complessità, considerando le ristrettezze imposte dalla Direttiva Europea 91/17/EEC sul trattamento delle acque di scarico urbano.

Lo smaltimento in discarica non è consigliabile poiché comporta la sottrazione di ulteriori terreni all'agricoltura e richiede pre-trattamenti dispendiosi per lo stoccaggio dei fanghi [7]; anche un loro trattamento in impianti di compostaggio può comportare notevoli spese energetiche con un sensibile incremento dei costi di processo [8]. L'incenerimento sembra un metodo di smaltimento efficace [9]. Tuttavia non possono essere trascurati i costi di abbattimento dei sottoprodotti gassosi inquinanti fino ai loro limiti accettabili [10]. In tale contesto, la pirolisi e la gassificazione dei fanghi possono essere ritenute valide soluzioni alternative, considerando il potenziale utilizzo dei gas prodotti come combustibile [11]

Nel corso di questa trattazione saranno presi in considerazione solo alcuni di questi aspetti appena descritti in virtù dell'analisi delle fonti e banche dati messi a disposizione e della definizione dei parametri di calcolo dedotti da studi di settore forniti dalla letteratura.

Metodologia per la stima del potenziale del settore "Reflui Civili"

1) Individuazione delle fonti e analisi delle banche dati

Fonte consultata:

- ISTAT - Sistema delle Indagini sulle Acque (SIA)– anni 1999, 2005
- ISTAT - Sistema delle Indagini sulle Acque 2009(SIA) – dati relativi all'anno 2008

La prima edizione del 1999, denominata Sistema delle indagini sulle acque (Sia), è stata svolta in modalità censuaria utilizzando la tecnica del questionario cartaceo autocompilato dagli enti gestori dei servizi idrici; nell'edizione del 2005, realizzata in modalità campionaria, sono state introdotte numerose innovazioni di processo tra cui l'utilizzo di questionari elettronici e della tecnica mista CATI (Computer Assisted Telephone Interviewing) – CAPI (Computer Assisted Personal Interviewing).

La rilevazione riferita al 2008, quella a cui tale trattazione fa riferimento, è stata realizzata in modalità censuaria, utilizzando per l'acquisizione dei dati la metodologia Web-Based Survey. Si tratta di una tecnica di self-interviewing in cui è il rispondente stesso a utilizzare i mezzi informatici per effettuare l'auto intervista. In particolare, sul server dell'Istat sono state allestite pagine web da cui è stato possibile prelevare i questionari, predisposti in formato MSExcel, che sono stati inviati all'Istat una volta compilati. I dati sono stati raccolti, elaborati e trasmessi all'Istat in formato elettronico direttamente dagli enti gestori di servizi idrici, tramite un sito web riservato dell'Istat, protetto con protocollo di rete SSL (Secure Sockets Layer), che garantisce l'autenticazione e la protezione dei dati trasmessi. La rilevazione è stata preceduta da una rilevazione presso le Autorità d'ambito territoriale ottimale, (Aato) che ha avuto il fine di monitorare il continuo evolversi della gestione dei servizi idrici in Italia, in particolare del Servizio idrico integrato (Sii) e produrre una lista aggiornata di enti gestori. Questi ultimi sono stati quindi contattati nella seconda fase, allo scopo di rilevare le informazioni sugli impianti da essi gestiti.

La rilevazione è stata supportata da un'attività di call-center, che ha fornito assistenza sulle modalità di accesso al sito web e ha provveduto a sollecitare tutte le unità rispondenti fino ad avvenuta ricezione dei questionari da parte dell'Istat.

Allo scopo di aumentare il tasso di risposta, pari all'84,3%, è stato eseguito un continuo monitoraggio di tutte le fasi della rilevazione: registrazione sul sito riservato, sollecito telefonico e verifica qualitativa delle risposte.

Tipo di informazioni:

Si riporta di seguito una breve descrizione del contenuto informativo relativo all'indagine censuaria del 2008:

comune di appartenenza

codice impianto con il quale il depuratore è archiviato presso Istat;

codice Istat della provincia in cui è ubicato l'impianto;

codice Istat del comune di ubicazione dell'impianto;

la tipologia di trattamento = la variabile assume valore 1 se l'impianto effettua un trattamento primario; 2 se effettua un trattamento secondario; 3 se è presente un trattamento terziario;

stato del depuratore = la variabile assume valore 1 se l'impianto è in esercizio; 2 se l'impianto non è in esercizio; 3 se l'impianto è in costruzione;

il numero degli abitanti equivalenti = indicando con "Aes_Eff_Pubblicati" gli Abitanti Equivalenti Effettivi Serviti dall'impianto; e con "Aes_Prog_Pubblicati" gli Abitanti Equivalenti di Progetto

Gli impianti¹ sono classificati in base al tipo di trattamento effettuato che si distingue in:

Trattamento primario → Trattamento delle acque reflue che comporti la sedimentazione dei solidi sospesi mediante processi fisici e/o chimico-fisici e/o altri, a seguito dei quali prima

¹ Per la validazione dei dati elementari riportati dai gestori per il 2008, i quali non sempre fanno riferimento a misurazioni tecniche, l'Istat si è avvalso dei dati già a disposizione dell'Istituto, riferiti al 1999, al 2005 e al 2007, nonché dei dati raccolti dal Ministero dell'Ambiente per il 2007 e dei dati comunicati dalle Arpa-Appa per il 2007.

dello scarico il BOD₅ delle acque in trattamento sia ridotto almeno del 20 per cento ed i solidi sospesi totali almeno del 50 per cento.

Trattamento secondario → Trattamento delle acque reflue mediante un processo che in genere comporta il trattamento biologico con sedimentazione secondaria, o mediante altro processo. Il trattamento si distingue in processo a biomassa sospesa o a biomassa adesa. E' necessaria la presenza di biodischi, letti percolatori e vasche di aerazione nelle unità che costituiscono la linea acque dell'impianto.

Trattamento più avanzato → Trattamento più avanzato rispetto ai precedenti (esempio denitrificazione), in genere denominato trattamento terziario, che si applica a valle del trattamento primario e del secondario.

Vasche Imhoff → Vasche settiche che consentono la chiarificazione dei reflui domestici provenienti da insediamenti civili di ridotte dimensioni. Sono proporzionate e costruite in modo tale che il tempo di detenzione del refluo sversato sia di circa 4-6 ore; il fango sedimentato è sottoposto a sedimentazione anaerobica

La potenzialità di un impianto indica la sua capacità depurativa che si esprime in numero di Abitanti Equivalenti (A.E.). La classificazione degli impianti in base alla loro potenzialità è la seguente:

- a bassa potenzialità : fino a circa 5.000 A.E.
- a potenzialità medio-bassa: da 5.000 a 50.000 A.E.
- a potenzialità medio-alta: da 50.000 a 100.000
- ad alta potenzialità : oltre 100.000 A.E.

Secondo i dati ISTAT, risultano censiti 17.778 impianti a servizio di 78.502.352 abitanti equivalenti, di cui più del 60% degli AES sono serviti da soli 254 impianti la cui classe dimensionale è superiore a 50.000 AES, ossia appena l'1,4% del totale degli impianti e di contro invece, il 70% degli impianti appartengono alla classe dimensionale minima che conta meno di 1.000 AES, e sono a servizio di poco più del 3% degli AES totali.

Di seguito si riporta una classifica in relazione a tagli dimensionali opportunamente scelti allo scopo di dedurre delle considerazioni in relazione al contesto del recupero energetico dello scarto.

Classi	Impianti		AES	
	%	n°	%	n°
AE = 0	4,85%	862	0,00%	0
1 < AE < 1.000	70,89%	12.602	3,47%	2.720.780
AE > 1.000	25,51%	4.536	96,86%	76.033.572
1.000 < AE < 10.000	18,52%	3.292	13,84%	10.865.035
10.000 < AE < 50.000	4,15%	738	21,30%	16.717.817
AE > 50.000	1,43%	254	61,40%	48.198.720
50.000 < AE < 100.000	0,79%	141	13,41%	10.525.319
AE > 100.000	0,64%	113	47,99%	37.673.400
AE > 1.000.000	0,03%	6	12,00%	9.418.057

Fonte: elaborazione dati ISTAT

Secondo la classifica ufficiale, si è soliti classificare gli impianti in base alla potenzialità, secondo la bassa, medio-bassa, medio-alta, ed alta potenzialità:

Potenzialità	Classi	Impianti		AES	
		%	n°	%	n°
Bassa	AE < 5.000	85,85%	15.263	11,48%	9.008.651
Medio-bassa	5.000 < AE < 50.000	7,70%	1.369	27,13%	21.294.982
Medio-alta	50.000 < AE < 100.000	0,79%	141	13,41%	10.525.319
Alta	AE > 100.000	0,64%	113	47,99%	37.673.400

Osservando i risultati di tali elaborazioni è possibile dedurre che ai fini del contesto di questo studio destano maggiore interesse gli impianti appartenenti alla categoria medio-alta e alta [4], in definitiva si tratta, come già detto, di appena 254 impianti (solo l'1,43% del totale numero impianti) che sono però a servizio di gran parte degli AE, ossia coprono le esigenze di più del 60% degli AE totali.

Da ciò è possibile dedurre che sarebbe sufficiente approfondire indagine quali-quantitativa di tale matrice di scarto di appena 254 impianti, allo scopo di fornire una stima nazionale di elevata attendibilità del potenziale di tale biomassa di scarto.

Ai fini di questo studio l'interesse è rivolto anche ad impianti appartenenti a classi dimensionali minori, dal momento che si tratta di uno scarto che può essere trattato in codigestione con altri substrati che concorrono a migliorare inoltre le prestazioni del processo.

Gli impianti in esercizio con trattamento primario in gran parte vasche Imhoff, (ovvero impianti in grado di garantire un parziale abbattimento dell'inquinamento organico) rappresentano il 53,2% del totale, corrispondenti ad una quota di capacità effettiva (in termini di percentuale di AES) pari al 3,3%; gli impianti con un trattamento dei reflui di tipo secondario costituiscono il 36,0% degli impianti e il 30,1% di capacità effettiva; quelli con trattamento terziario, infine, sono appena il 10,8% del totale impianti ma serve il 66,6% degli abitanti equivalenti effettivi (Tabella 3).

TIPOLOGIA DI TRATTAMENTO	Impianti	Capacità potenziale	Capacità effettiva
Primario	53,2	4,0	3,3
Secondario	36,0	30,1	30,1
Terziario	10,8	65,9	66,6
Totale	100,0	100,0	100,0

Tabella 3 - Impianti di depurazione delle acque reflue domestiche in esercizio e relativa capacità potenziale ed effettiva, per tipologia di trattamento - Anno 2008 (composizioni percentuali)

D'altra parte si tratta di un sistema informativo nel quale ci sono non poche incertezze conoscitive derivanti da:

- un sistema di informazione sulla potenzialità depurativa, basato sul concetto di abitante equivalente, non sempre adeguato a rappresentare la realtà; infatti tale concetto non esprime correttamente il carico inquinante emesso dalle industrie;
- un sistema di rilevamento delle informazioni sulle presenze industriali e sugli abitanti fluttuanti che spesso non è aggiornato;
- un sistema di informazioni carenti dal punto di vista delle caratteristiche quali-quantitative dei fanghi prodotti dalle varie fasi del processo depurativo. Quest'ultimo è un aspetto delicato ed è oggetto di studio di diversi enti che si occupano del settore rifiuti, ma ad oggi ancora non sono disponibili informazioni dettagliate sui bilanci di massa nelle varie fasi di trasformazione previste dall'impianto. Questo tipo di informazioni sono utili per poter definire il potenziale di biomassa recuperabile per scopi energetici, per cui, in questo contesto, l'indagine si limita a

stimare tale potenziale con l'ausilio di dati di produzione di fango procapite fornite da diverse fonti di letteratura, come descritto nel paragrafo successivo.

2) Definizione dei parametri di calcolo;

Per poter definire le quantità di fanghi biologici prodotti da ogni singolo impianto è necessario conoscere per ognuno di essi informazioni relative alle varie fasi di processo, correlate da dati altrettanto precisi sulle portate in gioco e sulle tipologie di ricircolo utilizzate. La maggiore criticità delle fonti consultate risiede nel fatto che per l'Italia non esiste una anagrafe completa ed esaustiva degli impianti di depurazione che contenesse questa tipologia di informazioni, quindi nonostante l'esistenza di un'ampia bibliografia disponibile [4], [12] che fornisce valori medi per le caratteristiche fisico-chimiche dei fanghi in questione e relativa producibilità di biogas, questa è risultata comunque inutilizzabile.

Le diverse banche dati consultate, anche se spesso incomplete e imprecise, forniscono solo le quantità dei fanghi prodotti a valle del sistema depurativo.

Questi, provenendo dalla linea fanghi e non dalla linea liquami sono fanghi che oltre ad aver subito processi di stabilizzazione, sono stati inoltre sottoposti a processi di disidratazione, ispessimento e pertanto caratterizzati da un basso contenuto di sostanza organica, caratteristica che li rende scarsamente utilizzabili ai fini di valorizzazione energetica mediante digestione anaerobica, ma al massimo, in taluni casi, adattabili alla valorizzazione energetica mediante la gassificazione.

In mancanza di dati migliori, l'unica strada perseguibile per ottenere una stima, seppur grossolana, di questo potenziale in termini di biomassa (tSS/anno) è stata quella di far riferimento al numero degli abitanti equivalenti (AES) serviti da ogni singolo impianto, pur essendo questo un parametro discutibile, per quanto già esposto precedentemente.

La scelta è stata comunque confortata da dati reperiti dalla ricerca bibliografica [4], [12], in cui vengono proposti valori di producibilità specifica di fango e di biogas in funzione del parametro suddetto (AES).

3) Valutazione delle quantità di biomassa avviabile a D.A.

Alla scopo di definire una stima della quantità di fango prodotto dagli impianti di depurazione delle acque reflue urbane, sono state consultate diverse fonti:

- ✓ **FONTE:** METCALF & EDDY
- Carico specifico di SS = 90-150 grSS/AES*d (con valore tipico di 120gr/AES*d);
- Produzione procapite di Biogas = 15-28 Nm³ biogas/1000AES*d
- ✓ **FONTE:** Letteratura americana - Carico specifico di SS (gr/AES*d) = 90 gr/AES*d (che diventa 110 se dotati di "dissipatori")
- ✓ **FONTE:** MALPEI (Produzione giornaliera di fango da I.D. basata sull'apporto di BOD di 60gr/AES*d), secondo cui:

TIPO IMPIANTO	FANGO SECCO [gr SS/AES*d]		UMIDITÀ (% peso)		VOLUME [l/(AES*g)]	
	[basso carico]	[alto carico]	[basso carico]	[alto carico]	[basso carico]	[alto carico]
<i>Sedimentazione primaria</i>	54		93-96		0,8	1,4
<i>Fango attivo con sedimentazione primaria:</i>	30	35	98,5-99	98,5-99	3	3,5
<i>Misto (primario + supero)</i>	84	89	96-97	96-97	2,4	2,5
<i>Letti percolatori</i>	13	20	92-94	95-97	0,2	0,5

Tabella 4 – Produzione di fango procapite per tipologia di trattamento

- ✓ **FONTE:** P.A. Lanza, S. Nicosia - Titolo: Trattamento e smaltimento di fanghi di depurazione 2006

Tipo di fango	Prod. Specif. di SS [grSS/ab*d]	Umidità [%]
Fanghi Primari	54	96
Fanghi di supero da imp. a fanghi attivi senza sedimentazione primaria	40 ÷ 90	99
Fanghi di supero da imp. a fanghi attivi con sedimentazione primaria (solo fango biologico)	30 ÷ 45	99
Fanghi combinati (primari + biologici)	70 ÷ 100	96 ÷ 98

Tabella 5. – Produzione di fango procapite per i normali schemi d'impianto.

- ✓ **FONTE:** CRPA – Centro Ricerca Protezione Animale
 Resa in biogas = 250 – 350 Nm³/tSV

Le considerazioni appena riportate forniscono dei range di valori sia per la produzione di fango che per la produzione di biogas, in relazione alla tipologia di trattamento. Secondo la scala di indagine e lo scopo perseguito dal tema di studio è sufficiente un valore medio tra

quelli stimati per le diverse tipologie impiantistiche, poiché in questo contesto è sufficiente fornire un ordine di grandezza in termini di dimensioni dell'ipotetico impianto di trasformazione e in termini di stima di fango prodotto.

Per cui, facendo riferimento alla stima della produzione di biogas proposta da Metcalf & Eddy, ossia:

	min	max	medio
Produzione Biogas [Nm³/1000AE*d]	15	28	22
Produzione Biogas procapite [Nm³/AE*anno]	5,48	10,22	7,85

e prendendo in considerazione il valore medio di produzione procapite di biogas, pari a 7.85 Nm³/AE* anno, è stata calcolata la produzione di fango procapite che soddisfa tale risultato per le varie fonti consultate, nelle ipotesi che le caratteristiche fisico-chimiche medie di tale matrice siano:

Sostanza secca → SS = 5%

Sostanza Volatile → SV = 70%

Si tenga presente che, d'altra parte, il valore medio di produzione di biogas espresso in termini di Nm³/tSV si aggira tra i valori di 250 – 350 Nm³/tSV. [Fonte: CRPA]

	Produzione procapite fango			Producibilità specifica biogas	
	[grSS/AE*d]	[tSS/AE*anno]	[t _{lq} /AE*anno]	[Nm ³ /tSV*d]	[Nm ³ /AES*anno]
FONTE: Malpei - Letti percolatori basso carico	13	0,0047	0,09	2363	7,85
FONTE: Malpei - Letti percolatori alto carico (intensivi)	20	0,0073	0,15	1536	7,85
FONTE: Malpei - Fango attivo con sedimentazione primaria basso carico	30	0,0110	0,22	1024	7,85
FONTE: Malpei - Fango attivo con sedimentazione primaria alto carico	35	0,0128	0,26	878	7,85
FONTE: Malpei - Sedimentazione primaria	54	0,0197	0,39	569	7,85
FONTE: UIDA - Carico specifico min	70	0,0256	0,51	439	7,85
FONTE: UIDA - Carico specifico se il sistema fognario è unitario	80	0,0292	0,58	384	7,85
FONTE: Malpei - Misto (primario + supero) basso carico	84	0,0307	0,61	366	7,85
FONTE: Malpei - Misto (primario + supero) alto carico	89	0,0325	0,65	345	7,85
FONTE: Metcalf - Valore minimo	90	0,0329	0,66	341	7,85
FONTE: Metcalf - Elaborazione	100	0,0365	0,73	307	7,85
FONTE: Metcalf - Elaborazione	105	0,0383	0,77	293	7,85
FONTE: Metcalf - Valore medio	120	0,0438	0,88	256	7,85

FONTE: Metcalf - Valore massimo	150	0,055	1,095	205	7,85
---------------------------------	-----	-------	-------	-----	------

In definitiva, confrontando i risultati è possibile assumere che il valore medio di produzione procapite di fango sia 90 grSS/AE*d, un valore medio che soddisfa le esigenze delle diverse fonti consultate.

4) Valutazione del potenziale biogas;

La produzione di biogas può oscillare entro un intervallo piuttosto ampio di valori in funzione di diversi parametri, tra cui la temperatura di processo, il volume del reattore, il contenuto in solidi volatili del fango da trattare, l'entità dell'attività biologica all'interno del digestore.

D'altra parte, le caratteristiche dei fanghi prodotti sono diverse in funzione delle operazioni effettuate lungo la linea trattamento acque. Infatti, lo schema di trattamento delle acque reflue può cambiare in maniera significativa al variare della potenzialità dell'impianto (potenzialità espressa in numero di abitanti equivalenti). A tal proposito si vedano le Figura 3 e Figura 4.

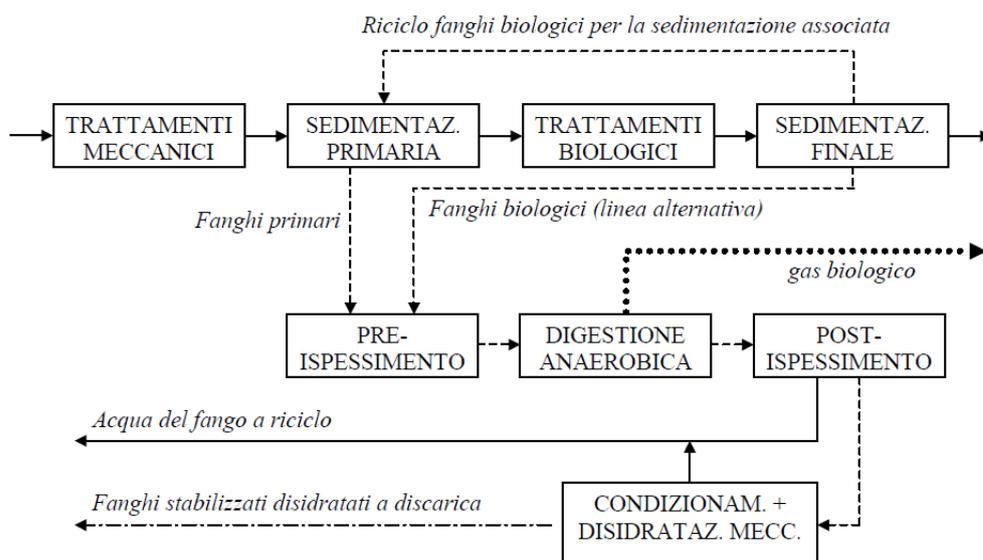


Figura 3 - Impianto con linea acque completa. Schema con fermentazione e produzione di biogas. (Alta potenzialità)

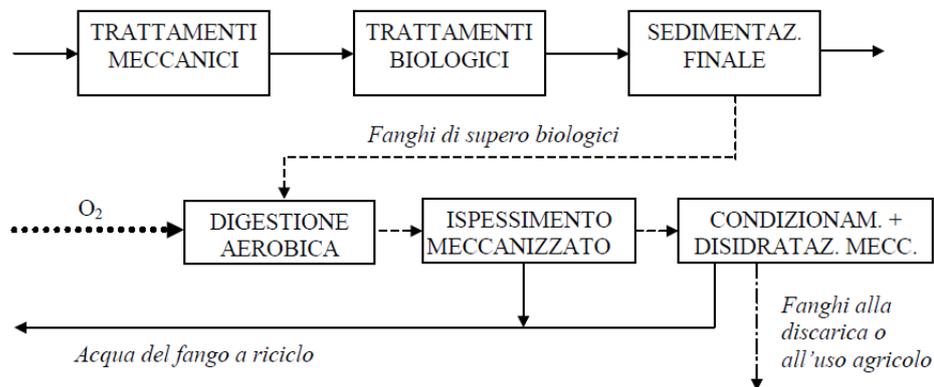


Figura 4 - Impianto con linea acque semplificata.
(Media potenzialità)

I fanghi da depurazione possono essere distinti in:

- fanghi primari: sono quelle sostanze che si separano dal refluo grezzo senza aver subito trasformazioni;
- fanghi secondari (o biologici): sono quelle sostanze che vengono trasformate o prodotte nei processi depurativi.

La produzione di fanghi organici ed inorganici freschi per abitante equivalente non cambia molto secondo lo schema d'impianto. Invece la produzione di fanghi stabilizzati dipende fortemente dalle operazioni unitarie e dai processi della linea trattamento fanghi.

Alla luce di quest'ultima considerazione è stato possibile condurre studi sperimentali in merito al processo di Digestione Anaerobica, tecnologia in grado di utilizzare come substrato lo scarto organico prodotto da un impianto di depurazione, che hanno condotto alla definizione di valori medi caratteristici inerenti la produzione specifica di fango di supero biologico. Non è stato altresì possibile sviluppare analoghi studi per la Gassificazione dei fanghi stabilizzati, le cui caratteristiche quali-quantitative sono fortemente influenzate dalle specificità di processo.

In definitiva, grazie al supporto di diversi studi di settore, è stato possibile fornire una stima procapite della sola produzione di fango biologico e di conseguenza del potenziale energetico da esso derivante mediante la trasformazione della Digestione Anaerobica.

5) Organizzazione database

I dati forniti dall'ISTAT sono stati elaborati e aggregati con dettaglio comunale, e per ciascun comune risulta noto il numero di AES totali, allo scopo di definire, mediante tale parametro, la stima del potenziale in termini di biomassa (tSS/anno) e di biogas (Nm³/anno). Si rimanda alla sessione specifica dei AIDA per la consultazione dei dati.

2.1.3 Settore Agroindustriale

Scarti Macellazione: per la stima del potenziale delle biomasse del settore in questione, il presente lavoro gode del supporto delle elaborazioni fatte per la realizzazione dell'Atlante delle biomasse; in particolare, la metodologia di indagine per il settore degli scarti di macellazione è stata trattata nel Report RSE 201, del titolo *"La stima del potenziale di biogas da biomasse di scarto del settore zootecnico in Italia"*.

In questa sede saranno riportate alcune brevi informazioni che rimandano al testo originale per maggiori approfondimenti.

Il settore della lavorazione delle carni riveste particolare importanza in virtù dell'elevata producibilità di biogas che si stima di circa 550-1.000 Nm³ biogas/t SV

La produzione e lavorazione di carne comporta la produzione di una grande quantità di rifiuti e sottoprodotti che, in linea indicativa, rappresentano circa il 40-50% del peso vivo dell'animale di partenza. Questa percentuale può essere ottenuta considerando la differenza tra 100 e la resa al macello, normalmente variabile tra il 40 e l'80%, a seconda della tipologia di animale, la razza e l'età, ed aggiungendo a questa aliquota la quota di grassi, di ossa e di altre parti del corpo, separate dalle carcasse nei vari segmenti della distribuzione e con le successive trasformazioni da parte della filiera della carne, che può aggirarsi intorno al 10-20% [13].

Considerando che, a livello nazionale il peso vivo in gioco è dell'ordine di 4,9 milioni di tonnellate, si evince come la massa di residui disponibili sia dell'ordine di 1,7 milioni di tonnellate ai macelli con un peso morto commercializzato pari a 3,2 milioni di tonnellate. La grande quantità di residui in gioco comporta elevati costi gestionali e di smaltimento; conseguentemente è facile capire come l'industria della carne sia orientata a minimizzare il problema attraverso un loro reimpiego economico.

In questo contesto s'inserisce propriamente il modello di calcolo elaborato con il presente studio.

Gli scarti organici del settore, quantificati e localizzati su scala provinciale, sono elaborati dal sistema con lo scopo di definire la fattibilità tecnica ed economica per la realizzazione di impianto di digestione anaerobica per valorizzazione energetica di tale substrato, in eventuale codigestione di altri substrati disponibili sul territorio.

Altri Scarti Agroindustriali: gli scarti di macellazione costituiscono solo un'esigua parte del settore degli scarti Agroindustriali, i quali contano circa 12.000.000 t/anno, secondo la stima del CRPA.

Questa tipologia di scarto non è ancora censita da un ente apposito ufficiale, per cui non è stato possibile, in sede di realizzazione dell'Atlante italiano delle Biomasse, realizzare il censimento delle varie tipologie di scarto agroindustriale con copertura del dato sull'intero territorio nazionale. In realtà questo è un settore per il quale è necessario adottare una metodologia di indagine ad hoc, gestita mediante appositi canali preferenziali.

Nonostante il modello AIDA non sia munito di un database relativo al censimento di tale biomassa di scarto offre, allo stesso modo, la possibilità di fornire una valutazione sulla convenienza di un investimento nel settore della valorizzazione energetica, essendo dotato comunque di un database relativo alle caratteristiche chimico fisiche della varie categorie di scarto agroindustriale e dei relativi parametri di calcolo.

2.1.4 Settore Scarti agricoli

Analogamente come per il settore relativo agli scarti di macellazione anche per la stima del potenziale delle biomasse del settore Scarti Agricoli, il presente lavoro gode del supporto delle elaborazioni fatte per la realizzazione dell'Atlante delle biomasse; in particolare, la metodologia di indagine per tale settore è stata trattata nei Report RSE/2009/50 - 52 - 53, dal titolo "*Rilievo indici di relazione tra produzioni agricole e biomassa residuale associata, analisi del mercato della biomassa residuale a livello provinciale*". In questa sede saranno riportate solo alcune brevi informazioni che rimandano al testo originale per maggiori approfondimenti.

La metodologia che si è adottata per la stima, a livello provinciale, dei rapporti quantitativi tra residui e prodotti principali è basata sulla predisposizione di un questionario da far compilare ad aziende agrarie. Sono state scelte le aziende che per dimensioni e posizione geografica, sono state ritenute più rappresentative. L'elenco delle aziende è stato predisposto in base ai dati forniti da Confagricoltura e da ricerche effettuate presso i siti internet delle varie associazioni agricole.

Sulla base dei questionari pervenuti sono stati calcolati i rapporti tra sottoprodotti e prodotti principali, ottenendo in tal modo degli indici per ogni azienda. Tali indici, suddivisi per coltura e provincia, sono stati successivamente mediati.

Gli indici oggetto di indagine, suddivisi per tipologia di coltivazione, sono quindi stati:

⇒ Per i *Cereali* (Frumento tenero; Frumento duro; Segale; Orzo; Avena; Riso; Mais; Sorgo):

- Rapporto granella/ paglia;
- Rapporto residuo agroindustriale/prodotto;
- Umidità paglia alla raccolta.

⇒ Per le *Colture arboree* (Melo, Pero, Albicocca, Ciliegio, Pesco, Nettarina, Susino, Nespolo, Nocciole, Mandorle, Pistacchi, Fico, Cotogno, Loto, Melograno, Arancio, Mandarino, Clementina, Limone, Pompelmo, Bergamotto, Cedro, Chinotto, Uva da tavola, Uva da vino, Olive da tavola, Olive da olio):

- Rapporto potatura/frutta;
- Umidità della potatura alla raccolta;
- Umidità del residuo agroindustriale;
- % di olio prodotto (solo per le arboree oleaginose)

⇒ Per le *Colture agricole* destinate alla trasformazione industriale (vinacce, sanse, lolla, gusci, noccioli):

- Rapporto esistente fra prodotto principale e residuo industriale

COLTIVAZIONI ERBACEE	Superficie Totale (ha)	Produzione per ha (q)	Produzione Totale (q)	Data di rilevazione
Cereali	393.149	95,2	37.414.941	nov-08
-Frumento in complesso	102.844	59,6	6.127.132	10/2008
--Frumento tenero	80.908	60,2	4.867.599	10/2008
--Frumento duro	21.936	57,4	1.259.533	10/2008
-Segale	765	34,0	25.987	10/2008
-Orzo	29.060	51,5	1.496.647	06/2008
-Avena	545	33,9	18.502	06/2008
-Mais	253.741	116,1	29.448.138	11/2008
-Sorgo	2.197	57,1	125.389	07/2008
-Altri cereali	3.997	43,3	173.146	07/2008

Tabella 6 - Esempio per la regione LOMBARDIA - Dati regionali coltivazioni erbacee

COLTIVAZIONI INDUSTRIALI	Superficie Totale (ha)	Produzione per ha (q)	Produzione Totale (q)	Data di rilevazione
-Semi oleosi	14.548	35,9	522.876	11/2008
--Colza	1.808	28,7	51.807	10/2008
--Girasole	920	39,6	36.404	10/2008
--Ravizzone	68	35,0	2.380	09/2008
--Soia	11.752	36,8	432.285	11/2008

Tabella 7 - Esempio per la regione LOMBARDIA - Dati regionali coltivazioni industriali

Per maggiori approfondimenti sulla metodologia utilizzata per la definizione degli indici rappresentativi di un substrato, e per la scelta delle categorie di indagine si rimanda ai report già citati e in particolare al Report RSE/2009/167 dal titolo "Censimento potenziale energetico biomasse, metodo indagine, atlante Biomasse su WEB-GIS"

In definitiva il database elaborato fornisce informazione relativamente agli scarti:

- Paglie (scarto complessivo dei cereali)
- Potature (scarto complessivo delle colture arboree)
- Lolla Riso (coltura agricola)
- Gusci rutta (coltura agricola)
- Vinaccia (coltura agricola)
- Sansa (coltura agricola)

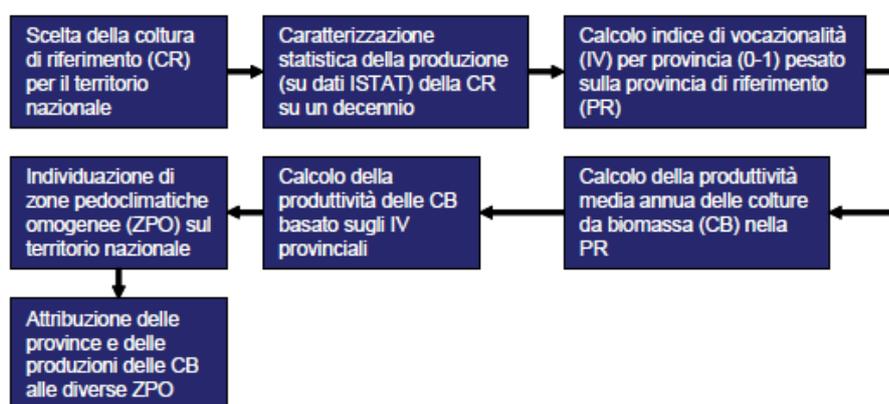
espressi in termini di tSS/anno

Naturalmente il settore degli scarti agricoli è molto più vasto, ma l'atlante ha preso in esame solo i sottogruppi maggiormente consistenti [14]

2.1.4 Settore Colture energetiche

Per valutare la stima delle biomasse prodotte da tale settore è stata implementata una metodologia ad hoc, di cui in questa sede si riportano solo alcune considerazioni rimandando, per maggiori approfondimenti, al Report RSE/2009/49 – titolo: *Rilievo delle produttività delle colture energetiche in Italia e analisi del loro mercato*.

La metodologia si compone di una sequenza di passaggi logici riassunti nel seguente diagramma:



Si sviluppa attraverso un processo iterativo sintetizzato nei seguenti punti:

1. scelta di una coltura di riferimento (CR) su cui indicizzare la vocazionalità del territorio delle diverse provincie. Il mais è stato scelto quale CR essendo quella con ciclo primaverile estivo (quindi grosso modo analogo a quello delle colture erbacee dedicate prese in considerazione) più diffusa nel territorio nazionale.
2. sulla base dei dati ISTAT, è stato costruito un database della produttività del mais suddiviso per singola provincia nel decennio 1999-2008. La valutazione della produttività del mais in un decennio, anziché per un solo anno, ha permesso di calcolare successivamente la variabilità temporale dell'indice di vocazionalità e quindi la variabilità temporale della produttività potenziale delle colture da biomassa.
3. Il calcolo dell'indice di vocazionalità (IV; adimensionale) per ogni i-esima provincia è stato calcolato come $IV = RCR_i / RCR_r$ ove RCR_i è la resa del mais nella i-esima provincia (fonte

ISTAT), mentre RCRr è la resa del mais nella provincia di riferimento (Bologna). Quest'ultima è stata scelta come riferimento poiché è la stessa provincia in cui sono state misurate le rese medie delle colture da energia (Barbanti et al., 2008; Bezzi et al., 2006, 2007; Monti et al., 2004). Tali rese sono state ottenute mediando le rese produttive di un settennio escludendo, per le colture poliennali, l'anno di impianto.

In particolare le rese medie per le categorie prese in esame sono risultate le seguenti:

- Arundo donax = 23.6 tSS/ha;
- Panicum virgatum = 14.2 tSS/ha;
- Cynara cardunculus = 7.6 tSS/ha;
- Miscanthus sinensis x Giganteus = 18.8 tSS/ha;
- Sorghum bicolor = 19.3 tSS/ha.

Una volta definiti gli indici di vocazionalità per ciascuna coltura (vedi Report RSE/2009/49) si è potuto stimare la produzione media delle colture da energia nella i-esima provincia (PMi) semplicemente moltiplicando la resa della coltura da biomassa nella provincia di riferimento (PMr) per i relativi IV provinciali (IVi): $PMi = IVi \times PMr$

2.1.5 Settore Legno Foreste

Anche questo settore è stato oggetto di indagine dell'Atlante italiano delle Biomasse; in particolare i risultati sono riportati nel Report RSE/2009/51 dal titolo: *"Indici di produttività boschiva, rilievo indici di relazione tra produzioni forestali e biomassa residuale associata, analisi del mercato della biomassa forestale in Italia"*.

Di seguito si riporta un estratto del suddetto report per dare indicazioni sulla metodologia di indagine utilizzata, ma si rimanda al testo originale per ulteriori approfondimenti.

Secondo tale elaborazione il calcolo della disponibilità di biomasse legnose per le finalità energetiche, richiede la conoscenza di tre elementi come di seguito illustrati:

1. Produttività annua potenziale sostenibile di biomassa legnosa per fini energetici; si tratta cioè di stimare la quota parte di biomassa legnosa annualmente prodotta nel territorio in esame (nella fattispecie, nel comprensorio forestale provinciale) che può essere utilizzata in

modo sostenibile, ovvero entro i limiti di naturale rinnovabilità della risorsa; la quantificazione di tale aspetto richiede la conoscenza:

- a) dell'entità della superficie forestale presente nell'unità territoriale esaminata, ripartita per forme di governo (fustaia e ceduo) e specie dominanti;
- b) dei valori di incremento legnoso attribuibili alle differenti forme di governo e specie dominanti nell'area esaminata.

A partire da questi dati e utilizzando alcune semplici assunzioni è possibile ottenere una stima della **produttività annua potenziale sostenibile** nel territorio esaminato (t/anno di sostanza secca).

2. Produttività annua potenziale sostenibile al netto delle limitazioni di biomassa legnosa per fini energetici; non tutta la produttività annua potenziale sostenibile è effettivamente ritraibile dal bosco e dunque trasformabile in energia. Nell'ottica di sostenibilità ambientale delle utilizzazioni forestali è opportuno introdurre restrizioni al prelievo rispetto al potenziale massimo; si deve inoltre tener conto delle limitazioni connesse all'accessibilità dei soprassuoli forestali, che condizionano l'ambito di convenienza economica delle utilizzazioni. Pertanto la disponibilità netta a scala territoriale di biomassa legnosa può ridursi anche sensibilmente rispetto alla produttività potenziale sostenibile, in relazione alla distribuzione spaziale delle superfici forestali.

3. Consumi di biomassa legnosa per uso domestico e industriale. Nell'ottica di una quantificazione a scala territoriale della biomassa legnosa effettivamente disponibile per l'alimentazione di impianti di trasformazione della biomassa è necessario conoscere i quantitativi eventualmente già destinati a impieghi energetici.

Nota: è importante sottolineare come i dati relativi ai prelievi legnosi per uso energetico della fonte statistica ufficiale (ISTAT) non forniscano un dato attendibile circa i consumi effettivi di biomassa legnosa, per diversi motivi:

a) sottostimano i consumi reali in quanto si limitano alle utilizzazioni forestali rilevate attraverso le dichiarazioni di taglio fornite al Corpo Forestale dello Stato [15] escludono il contributo delle coltivazioni arboree e degli alberi fuori foresta;

c) sono in genere scarsamente attendibili per la stima dell'autoapprovvigionamento [16].

Tenuto conto di tali considerazioni, la metodologia applicata nella presente ricerca si differenzia dall'ipotesi di sviluppo energetico da biomasse forestali a cui fa concettualmente riferimento l'allegato tecnico dell'Accordo di Collaborazione (AIGR, 1994); il modello di stima adottato in tale studio impiega come dati di input i dati ISTAT delle statistiche forestali relativi a superficie forestale, superficie forestale utilizzata e quantità di legna utilizzata da lavoro e energia, che per le ragioni sopra esposte non possono essere considerati attendibili.

La metodologia proposta, invece, utilizza dati cartografici e inventariali per produrre una stima geograficamente dettagliata del bilancio annuo tra produttività potenziale sostenibile a netto delle limitazioni di biomassa legnosa (di seguito, produttività potenziale sostenibile netta) e il consumo domestico di biomassa legnosa; la valutazione è basata sulla metodologia *Woodfuel Integrated Supply/Demand Overview Mapping* (WISDOM), elaborata in ambito FAO [17] e recentemente applicata in Italia per una stima a carattere preliminare del bilancio della domanda e dell'offerta di combustibili legnosi a scala regionale [18.]

Un aspetto distintivo e qualificante della metodologia WISDOM è la sua flessibilità d'applicazione a diversi livelli di aggregazione territoriale (nazionale, regionale, provinciale, comunale). Pertanto essa si presta come strumento d'analisi territoriale ottimale per la produzione di bilanci domanda/offerta georeferenziati.

In definitiva la stima della produttività annua potenziale sostenibile netta di biomassa legnosa per usi energetici a scala provinciale deriva dalla somma della produttività potenziale di combustibili legnosi per differenti tipologie fisionomiche di bosco, ed è espressa in termini di tSS/anno.

Le fisionomie di bosco considerate corrispondono a:

- - boschi a prevalenza di latifoglie;
- - boschi a prevalenza di conifere;

- - impianti di arboricoltura da legno, principalmente rappresentati da impianti di latifoglie.

Capitolo 3

3.1 RIELABORAZIONE - UTENTE "PUBBLICA AMMINISTRAZIONE"

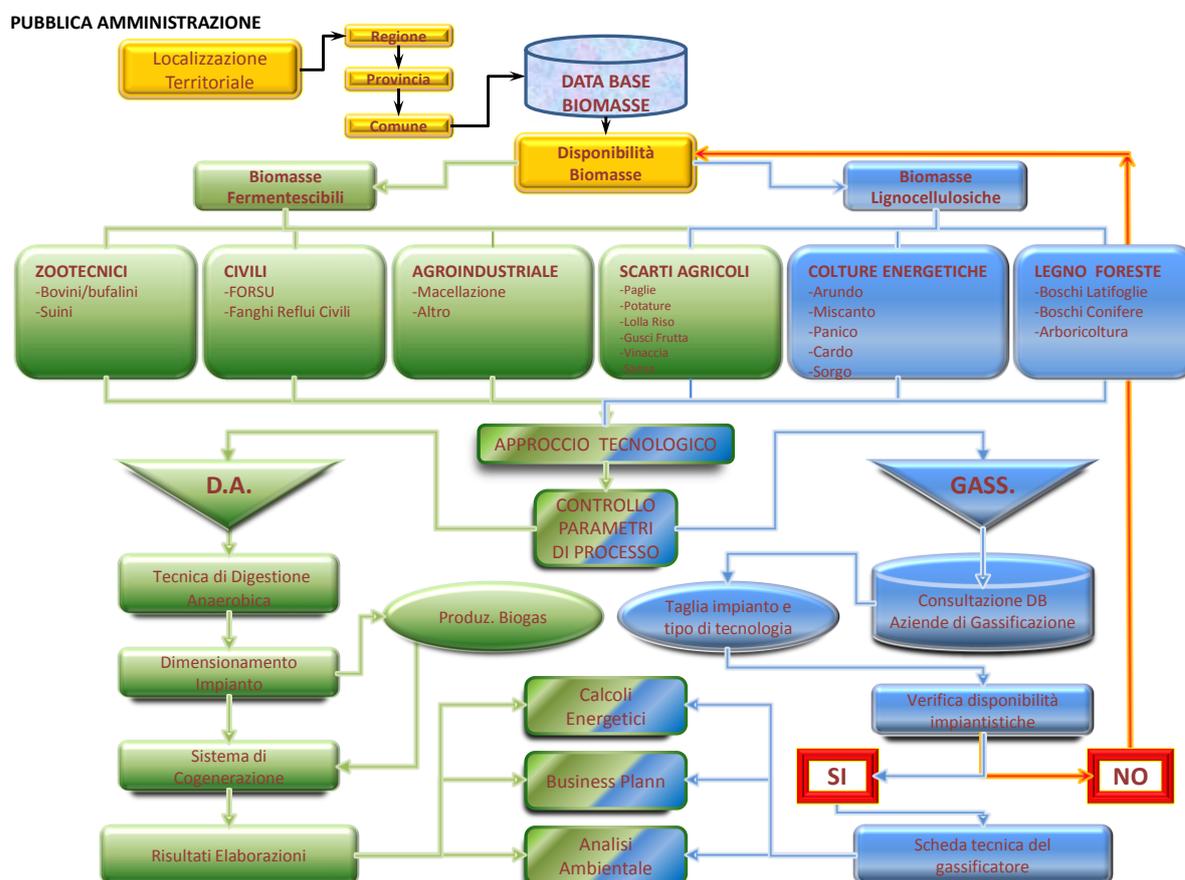


Figura 5 – Schema a blocchi rappresentativo della struttura del percorso decisionale per l'utente tipo "Pubblica Amministrazione"

Nella descrizione che segue saranno messi in evidenza i passi secondo cui il modello elabora le informazioni. La sequenza è indicata di seguito:



La prima elaborazione eseguita dall'utente tipo che si identifica come "Pubblica Amministrazione", consiste nell'individuazione del territorio di competenza, mediante dei semplici comandi indicati nei seguenti

menù a tendina:

Selezione località

Prego selezionare una località:

Scegli regione...

Scegli provincia...

Scegli comune...

Ricerca avanzata

Escludi aziende inattive

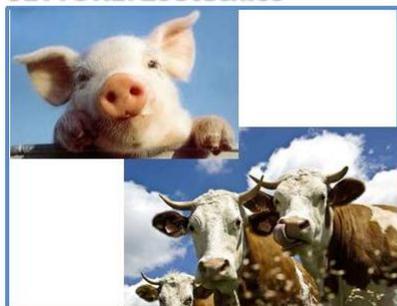
Escludi aziende senza risorse

Mostra dati

Disponibilità
biomasse

Dopodiché l'utente sceglie il settore su cui indagare mediante una semplice selezione; in particolare la scelta può ricadere su un singolo sottogruppo, oppure su un intero settore di quelli individuati così come indicato nelle immagini che seguono:

SETTORE: Zootecnico



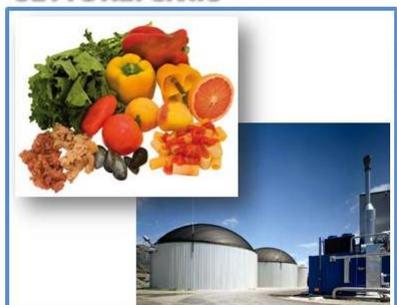
Scelta del tipo di allevamento:

Bovino/ Bufalino

Suino

INTERO SETTORE

SETTORE: Civile



Scelta del tipo di scarto:

FORSU

Reflui Civili

INTERO SETTORE

SETTORE: Agroindustriale



Scelta del tipo scarto agroindustriale:

Macellazione

altro

INTERO SETTORE

SETTORE: Scarti Agricoli

Scelta del tipo di coltivazione:

- ✓ Pagine
- ✓ Potature
- ✓ Lolla riso
- ✓ Gusci Frutta
- ✓ Vinaccia
- ✓ Sansa

INTERO SETTORE**SETTORE: Colture Energetiche**

Scelta del tipo di coltura:

- ✓ Arundo
- ✓ Miscanto
- ✓ Panico
- ✓ Cardo
- ✓ Sorgo

INTERO SETTORE**SETTORE: Legno Foresta**

Scelta del tipo di coltivazione:

- ✓ Boschi Latifoglie
- ✓ Boschi Conifere
- ✓ Arboricoltura

INTERO SETTORE**POTENZIALITA' BIOMASSE**

Si ricordi che non tutti i settori delle biomasse presi in esame in AIDA sono caratterizzati dallo stesso dettaglio territoriale. La disponibilità di biomassa è un dato ereditato dall'Atlante delle Italiano delle Biomasse e come tale è caratterizzato principalmente da un dettaglio provinciale. Alcuni dei settori, tra cui quello zootecnico e quello civile si sono spinti fino ad un dettaglio comunale, e in particolare il settore zootecnico bovino/bufalino e suino sono caratterizzati da un dettaglio aziendale, fermo restando che tale informazione è gestita e

controllata dalla figura dell'amministratore del sito web (per una questione di privacy) mediante una password di accesso.

Dopo aver eseguito la scelta dei settori su cui indagare si interroga il Database mediante il comando di calcolo della "Potenzialità Biomasse"



I risultati di tale elaborazione sono visualizzati al Passo 2 – "Approccio Impiantistico" mediante una tabella riassuntiva che riporta la quantità di biomassa, espressa in t/anno, per ciascuno dei settori presi in esame. In

questo contesto inoltre l'utente tipo può eseguire due funzioni specifiche:

1. Eliminare alcuni dei settori presi in esame (mediante il tasto "elimina" già previsto nella prima versione di AIDA);
2. Oppure aggiungere ulteriori matrici mediante la funzione "aggiungi matrice", digitando direttamente la quantità desiderata, rinunciando però alla localizzazione territoriale della stessa.

Qualora l'utente desideri arricchire la consistenza del proprio impianto può scegliere ulteriori substrati dal seguente menù a tendina

Aggiungi matrice quantità:

Categoria	Tipo Biomassa	Quantità (t/anno)	
ZOOTECNICO	DEIEZIONI ANIMALI	13.885,06 (Dettagli)	
CIVILE	FORSU	25,75	<input type="button" value="Elimina"/>
TOTALI		13.910,81	

Nella stessa sessione il sistema esegue la valutazione delle caratteristiche chimico-fisiche della miscela considerata, come descritto nel report dello scorso anno (Figura 6)

Parametri Miscela		
% Solidi Totali	8,80	%
% Solidi Volatili	76,60	%
Rapporto Carbonio-Azoto	24,09	
Densità	1,01	t/m ³
Umidità	40,00	%

Figura 6 – Riepilogo caratteristiche miscela

Nella nuova versione di A.I.D.A. è reso noto anche un ulteriore parametro, l'UMIDITA', utile per le nuove elaborazioni implementate per guidare l'utente nella fase dell'*Approccio Tecnologico*.

È noto che le tecnologie per la trasformazione delle biomasse sono funzione delle caratteristiche fisico-chimiche delle stesse.

I principali fattori che influenzano tali processi di trasformazione sono il tenore di umidità (U) e il rapporto carbonio/azoto (C/N). Si riporta di seguito uno schema riepilogativo che rende evidente l'intero quadro di riferimento:

Fonte: *Energia dalle biomasse (Tecnologie e prospettive)-ENEA 2008*

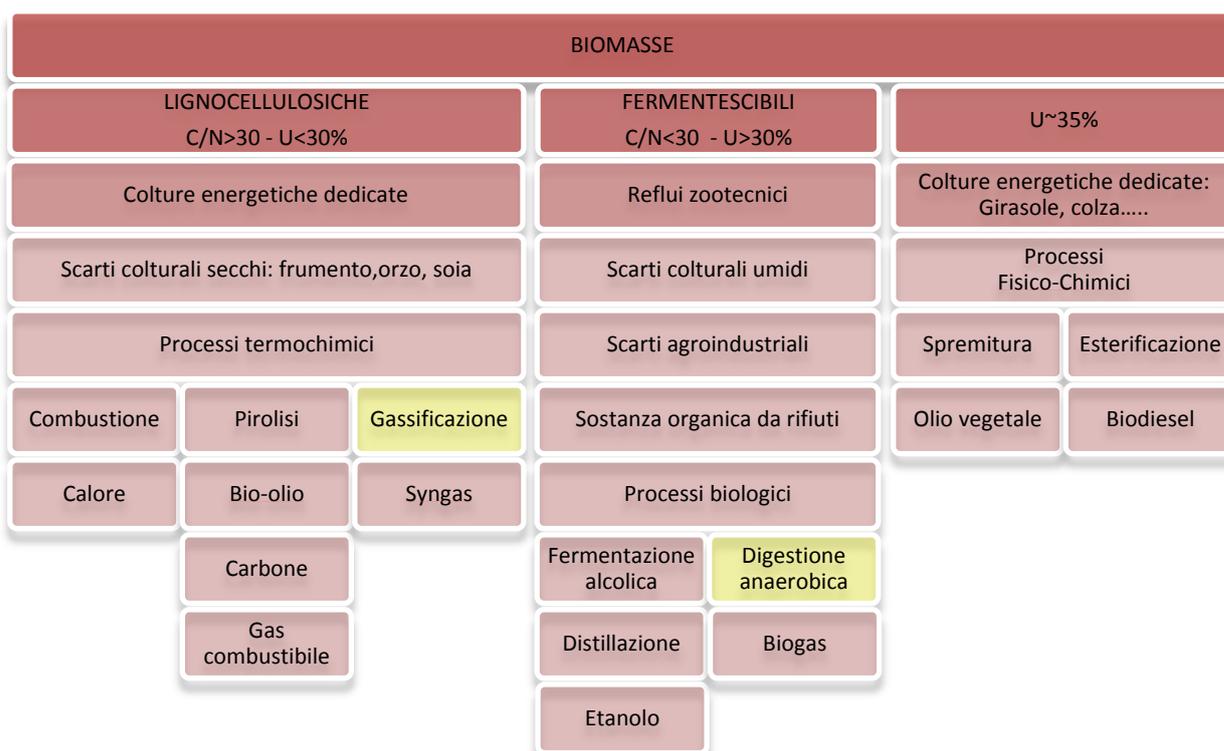


Figura 7 – Classificazione dei processi di conversione energetica delle biomasse.

La conversione energetica delle biomasse analizzata nel presente report, viene attuata mediante due differenti tipologie di processi: processo biochimico (Digestione anaerobica) e processo termochimico (Gassificazione).

I primi permettono di ottenere energia grazie alle reazioni chimiche prodotte da enzimi, funghi e microrganismi, che si formano nella sostanza trattata sotto particolari condizioni. Tali processi sono particolarmente adatti per tutte quelle biomasse che presentano un rapporto C/N < 30 e un'umidità alla raccolta superiore al 30%.

I processi di conversione termochimica sono basati, invece, sull'azione del calore il quale trasforma la biomassa di partenza o direttamente in energia termica, attraverso un comune processo di combustione, o in altri prodotti, solidi, liquidi o gassosi, successivamente impiegabili sempre a scopi energetici. Nei processi termochimici sono utilizzabili le biomasse di natura ligneo cellulosa in cui il rapporto C/N abbia valori superiori a 30 e il contenuto d'umidità non superi il 30%. Le biomasse più adatte a subire questa tipologia di processi sono la legna e tutti i suoi derivati (segatura, trucioli, ecc.), i più comuni sottoprodotti colturali di tipo lignocellulosico (paglia di cereali, residui di potatura della vite e dei fruttiferi, ecc.) e taluni scarti di lavorazione (lolla, pula, gusci, noccioli, ecc.).

Nella nuova versione di A.I.D.A. è stato inserito un ulteriore parametro, l'UMIDITA', utile a discriminare l'adozione della digestione anaerobica dalla gassificazione e a guidare l'utente nella fase dell'*Approccio Tecnologico alle nuove elaborazioni implementate*.

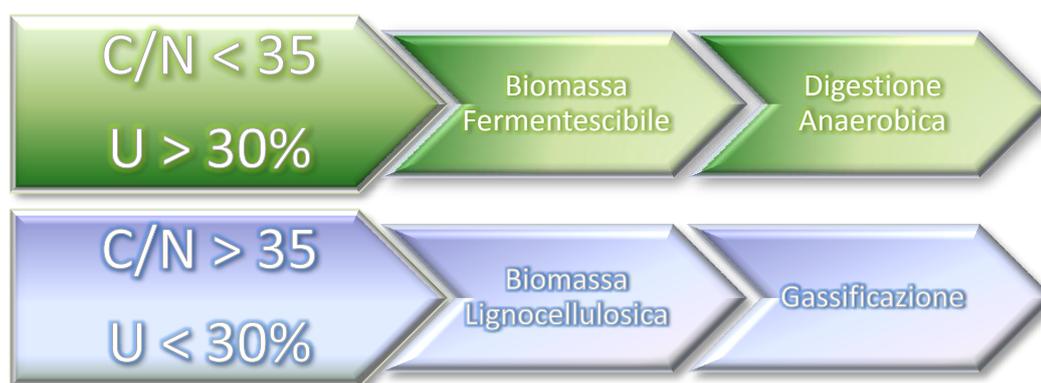
Tale approccio è gestito dalla caratterizzazione della miscela (secondo le indicazioni riportate in Figura 7; in particolare la selezione viene eseguita in relazione a due parametri discriminanti:

- il Rapporto CARBONIO/AZOTO
- l'UMIDITA'

In definitiva il sistema richiede un controllo sui parametri in questione mediante un pulsante di calcolo:



Il controllo viene eseguito secondo le indicazioni che seguono:



Dopo aver effettuato il controllo il sistema provvede ad inviare a video un messaggio che suggerisce all'utente il tipo di tecnologia che ritiene opportuna in relazione all'analisi eseguita:

- DIGESTIONE ANAEROBICA
- GASSIFICAZIONE

Le due tecnologie impiantistiche proposte richiedono naturalmente una logica differente, per cui di seguito le due tipologie di approccio saranno descritte separatamente.

3.1.1 CASO [A] → UTENTE PUBBLICA AMMINISTRAZIONE - DIGESTIONE ANAEROBICA



Il sistema elabora la produzione di biogas ottenuto dalla miscela codigerita come somma dei tutti i contributi delle singole matrici.

Il trattamento simultaneo di due o più residui organici per via anaerobica è una pratica ormai consolidata già da tempo.

Oltre ai problemi connessi al reperimento di più biomasse, esistono vantaggi indiscussi legati all'utilizzo di questa pratica, come confermato dalla letteratura:

- effetto di diluizione dei composti tossici;
- effetti sinergici sugli organismi;
- migliori rese per unità volumetrica di digestione;
- riduzione dei costi di investimento e di esercizio.

Naturalmente per ciascuna tipologia di biomassa esistono diverse tecnologie che ottimizzano la conversione energetica. Non tutti gli scarti, una volta raccolti, dovranno convergere allo stesso impianto di trasformazione. Pur se potenzialmente sono sostanze digeribili, non è detto che la loro combinazione ottimizzi il processo. Esistono, diversi studi di settore che indicano le proporzioni che garantiscono le migliori rese in biogas.

La codigestione di effluenti zootecnici con altri scarti organici al fine di aumentare la produzione di biogas è pratica standard in Europa ormai da diversi anni, così come anche

quella tra fanghi derivanti da impianti di depurazione di acque reflue civili con la frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU) derivanti da raccolta differenziata.

La miscelazione di diversi prodotti consente di compensare le fluttuazioni di massa stagionali di alcune biomasse, soprattutto quelle derivanti dalle colture agricole, di evitare sovraccarichi o al contrario carichi inferiori alla capacità stessa del digestore e di mantenere quindi più stabile e costante il processo.

Diversi problemi infatti possono nascere da un utilizzo non congruo delle diverse matrici; un'aggiunta incontrollata di oli e grassi contenuti nello scarto, ad esempio, può determinare un'eccessiva formazione di schiume, mentre rifiuti contenenti considerevoli quantità di inerti, quali sabbia, pietre e terra, possono favorire la formazione di sedimento nel digestore e accumulo di materiali inerti con conseguente riduzione del volume attivo del reattore o blocco di valvole e tubazioni, un quantitativo eccessivo di deiezioni avicole può causare tossicità alla flora metanigena a causa di una concentrazione eccessiva di ammoniaca.

Alcune sostanze (quali percolati, acque reflue, fanghi, oli, grassi e siero) sono facilmente degradabili mediante digestione anaerobica senza richiedere particolari pre-trattamenti, mentre altre (quali gli scarti di macellazione, sostanze ad elevato tenore proteico) necessitano di essere fortemente diluite con il substrato base (effluenti zootecnici liquidi), in quanto possono formare metabolici inibitori del processo, quale ad esempio l'ammoniaca.

Da quanto appena esposto possiamo asserire che la pratica della co-digestione, per quanto ormai consolidata, richiede comunque un'attenta analisi specifica che si differenzia caso per caso e che non può essere generalizzata se non con l'ausilio di un apposito modello di calcolo che tenga conto delle diverse variabili in gioco. Ma questa è una problematica che esula dagli obiettivi del progetto in esame, ma che non si esclude possa essere integrata in futuro per dare al sistema una maggiore autorevolezza.

In definitiva, consapevole della forzatura, il sistema elabora la produzione di biogas semplicemente come somma algebrica dei contributi dei substrati codigeriti allo scopo di fornire un ordine di grandezza utile per le valutazioni preliminari in termini energetici, economici ed ambientali.

Nell'immagine riportata sono messi in evidenza i risultati dell'elaborazione relativa alla produzione di biogas:

Consistenza impianto	434.708,69	t/anno
% Solidi Totali	9,5	%
% Solidi Volatili	76,4	%
Contenuto Energia da Metano	6,07	MW _t
% CH ₄	65	%
<u>Produzione biogas</u>	7.385.035,12	Nm ³ /anno



Il sistema è dotato di un archivio che contiene diverse tipologie impiantistiche di sistemi di cogenerazione alimentati a biogas, relative alle seguenti categorie:

- Motori a combustione interna (MCI);
- Turbine a gas (TAG);
- Celle a combustibile a carbonato fusi (MCFC);
- Celle a combustibile ad ossidi solidi (SOFC).

Per ciascuno di essi sono disponibili alcuni modelli che si differenziano per taglia e caratteristiche prestazionali. La sezione di "Ricerca Dati" (vedi paragrafo 1.2.3.1) offre la possibilità di consultare l'archivio dei motori e valutare le caratteristiche dei moduli, così come riportato nell'esempio che segue:

CARATTERISTICA MOTORE	VAL.
Tipo	MCI
Marca	JENBACHER
Modello	620
Potenza elettrica	2425 KW
Rendimento elettrico	39,7 %
Potenza termica	2746 KW
Rendimento termico	45 %
Rendimento di cogenerazione	84,7 %

In particolare la sezione relativa alle SOFC riporta un unico modello poiché si tratta di una tecnologia non ancora matura, ma in fase di sperimentazione; si tratta di un nuovo sistema da 125KW per cogenerazione SFC200 che può essere considerato il primo prodotto

precommerciale della Siemens Power Generation azienda leader mondiale della tecnologia SOFC [19].

La scelta del sistema di cogenerazione viene eseguita, come buona norma, raggiungendo il giusto compromesso tra gli aspetti tecnici, gestionali ed ambientali.

Nella pratica professionale si è soliti prediligere componenti di uguale taglia che rendono l'impianto modulare. In questa fase, la nuova versione di AIDA propone un "Sottomodello per la scelta del sistema di cogenerazione" che fornisce un'indicazione sul numero di moduli necessari in relazione alla disponibilità di biogas da valorizzare, dopo aver scelto opportunamente la tipologia di motore e la taglia.

Partendo dal valore di "*Potenza Installabile*" calcolato da A.I.D.A. mediante l'espressione:

$$\text{POTENZA INSTALLABILE} = \frac{\text{BIOGAS}}{\text{ORE ANNO}} \times \text{PCI} \times \text{RENDIMENTO} \times \% \text{CH}_4$$

dove:

BIOGAS = rappresenta la produzione di biogas calcolata al passo precedente, espressa in Nm³/anno.

ORE ANNO = rappresentano le ore in un anno, ossia 8760.

PCI = rappresenta il potere calorifico inferiore del metano, preso come riferimento anche per il biogas, tenendo conto della relativa percentuale di CH₄ in esso contenuto.

RENDIMENTO = rappresenta il valore del rendimento elettrico di default.

CH₄ = rappresenta la percentuale media del contenuto di metano nella miscela in codigestione; è un valore calcolato mediante una media pesata dei vari substrati in gioco.

si prosegue con la scelta del modulo di CHP mediante un menù a tendina, come di seguito illustrato:

Potenza installabile: **1.912,16 kW**

Seleziona tipo... ▼ Seleziona cogeneratore... ▼ Calcola valori

Numero	Modello	Tipo	Potenza cad.	Potenza installata
2,91	CPL mod.	MCI	656	1912,163

Si rende necessaria un'opportuna approssimazione ad un numero intero di moduli; ciò comporta un funzionamento del motore ad un regime di carico differente:

Approssimazione per eccesso Approssimazione per difetto

Numero moduli: **3** Numero moduli: **2**
 Potenza installata: **1.968,00 kW** Potenza installata: **1.312,00 kW**

Calcola le condizioni di funzionamento del motore

Il pulsante di calcolo consente di visualizzare le seguenti elaborazioni energetiche, precedute da una notifica in cui il sistema informa l'utente sulle particolari condizioni di funzionamento del motore dovute alla scelta appena effettuata

Il motore lavora a carico parziale con il **97,16%** del carico. Si rende necessaria un'opportuna regolazione del motore in funzione della disponibilità di combustibile.

Potenza installata	1.968,00	kW
Portata oraria biogas	5,82	Nm ³ /h
Produzione energia elettrica	14.653.728,00	kWh
Autoconsumo elettrico	732.686,40	kWh
Surplus elettrico	13.921.041,60	kWh
Produzione energia termica	22.991.193,93	kWh _t
Autoconsumo termico	16.482.704,42	kWh _t
Surplus termico	6.508.489,51	kWh _t
UtENZE elettriche servite (Pot. = 3 kW cad.)	450,26	
UtENZE termiche servite (Sup. = 90 m ² cad.)	482,11	

Ove:

✓ *Potenza Installata* → è data dal prodotto della potenza nominale del modulo di cogenerazione appena scelto per il numero dei moduli necessari.

✓ *Portata oraria di biogas* → si ricava dall'espressione:

$$PORTATA\ ORARIA\ DI\ BIOGAS = \frac{Potenza\ installata}{\eta_{el} * PCI * \%CH_4}$$

✓ *Produzione di energia elettrica* → è funzione del motore scelto

$$PRODUZIONE\ ENERGIA\ ELETTRICA = Potenza\ installata * oreanno * FUM$$

✓ *Autoconsumo elettrico* → si considera un valore medio dedotto da studi di settore pari al 5% della produzione di energia elettrica.

✓ *Surplus elettrico* → è semplicemente la differenza tra la produzione di energia elettrica e l'aliquota necessaria per l'autoconsumo.

- ✓ *Produzione di energia termica* → si ricava in funzione delle caratteristiche prestazionali del motore:

$$PRODUZIONE DI ENERGIA TERMICA = \frac{En. El.}{\eta_{el}} \times \eta_{th}$$

- ✓ *Autoconsumo termico* → si valuta in relazione all'espressione

$$\Delta U = m C_p Q \Delta T$$

con:

m = massa di fluido coinvolta

C_p = calore specifico del fluido a volume costante

ΔT = differenza di temperatura

- ✓ *Surplus termico* → è la differenza tra la produzione di energia termica e il calore richiesto dall'impianto. Nel caso in cui la produzione non fosse sufficiente a soddisfare il fabbisogno, si integra con un sistema di caldaia a metano (vedi la nota riportata in fondo all'elenco).

- ✓ *Utenze elettriche servite* → si ricava in relazione al surplus di energia elettrica e al valore del fabbisogno elettrico medio per un'abitazione (3 kWh_{el}) [20]

- ✓ *Utenze termiche servite* → si ricava in relazione al surplus di energia termica e al valore del consumo termico medio per un edificio di civile abitazione (comune tipologia) (150 kWh_t/m²) [20]

NOTA: Talvolta potrebbe capitare che la produzione di energia termica non sia sufficiente a soddisfare il fabbisogno di calore dell'impianto; è necessario quindi prevedere un sistema di integrazione che soddisfi le esigenze richieste.

Il sistema valuta la quantità di energia termica necessaria a soddisfare le esigenze dell'impianto e prevede la possibilità di integrare la produzione di calore con una caldaia a metano.

Naturalmente in tal caso succede che:

- Surplus termico = 0 → n°utenze termiche servite = 0
- Bisogna considerare il costo aggiuntivo per l'acquisto del metano ausiliario e il costo aggiuntivo della caldaia.

Nel caso in cui sia necessario quindi integrare la produzione di calore con l'ausilio di una caldaia si calcola la quantità di metano necessario ad alimentare il sistema integrato mediante l'espressione:

$$m^3CH_4(\text{ausiliario}) = \frac{|\text{Surplus termico}|kWht}{(\text{Rendimento caldaia})\% * (\text{PCI del metano})kWh/Nm^3}$$

e in relazione ad esso il prezzo d'acquisto da aggiungere alla voce dei costi insieme al prezzo d'acquisto medio della caldaia stessa.

Bisogna considerare il valore assoluto della quantità "Surplus termico" (valore negativo)

Assumiamo che il rendimento della caldaia sia pari al 90%, valore medio delle caratteristiche prestazionali.

Da indagini di mercato è emerso che il prezzo d'acquisto della caldaia è strettamente dipendente dalla taglia in termini di potenza termica installabile, per cui per la valutazione di costo del combustore e del piping, si è ritenuto opportuno considerare un incremento percentuale nelle voci di costo delle attrezzature ausiliarie dell'impianto a biogas, del 3% giustificato da indagini commerciali di settore.

In tal modo il costo della caldaia, incidendo sul costo di investimento, si incrementa proporzionalmente alla potenza installata nell'impianto a biogas

Il prezzo d'acquisto del metano varia in relazione ai consumi dell'impianto. La Tabella 8 mostra tale variazione sia in regime di mercato tutelato, sia in regime di mercato libero, per i diversi settori: *Domestico, Commercio e Servizi, Industria e Generazione Elettrica*.

Dovendo scegliere un valore medio rappresentativo per lo scopo di A.I.D.A. si è ritenuto opportuno far riferimento al settore industriale, considerando un valore mediato tra le diverse classi di consumi e tra i due regimi di mercato.

TIPOLOGIA DI CONTRATTO E SETTORE	Consumi inferiori a 5.000 m³	Consumi compresi tra 5.000 e 200.000 m³	Consumi compresi tra 200.000 e 2.000.000 m³	Consumi compresi tra 2.000.000 e 20.000.000 m³	Consumi superiori a 20.000.000 m³
Domestico	48,60	44,04	41,50	47,33	-
Commercio e servizi	48,08	43,02	38,48	36,20	-
Industria	47,47	42,91	35,47	39,03	-
Generazione elettrica	50,81	43,04	40,73	-	-
Media mercato tutelato	48,57	43,55	38,90	38,89	-
Domestico	44,09	44,37	41,64	39,14	36,10
Commercio e servizi	46,09	42,19	37,90	35,54	34,16
Industria	41,27	40,56	36,96	34,95	34,73
Generazione elettrica	35,34	38,90	38,28	36,10	34,96
Media mercato libero	44,62	42,19	37,39	35,11	34,90

Tabella 8 – Consumi di metano per settore e per tipologia di mercato

L'approssimazione fornisce il valore medio di pari a $0,383 \text{ €/m}^3$ [21]



Questa fase consiste nella definizione, il più dettagliata possibile, dei costi legati alla realizzazione e alla gestione di un impianto di digestione anaerobica o gassificazione.

La schermata dei costi è unica per le due tecnologie e per tutte le utenze, sebbene lo studio e le elaborazioni sono diverse perché cucite sulle esigenze dell'utenza che si appropria alla piattaforma web; e si articola nelle seguenti voci di costo:

- Costi fissi
- Costi variabili
- Ricavi

COSTI FISSI

Costo dell'impianto comprensivo delle opere accessorie/complementari (opere murarie, collegamenti ENEL.....)		€
Acquisto biomassa		€/anno
Smaltimento digestato/ceneri		€/anno
Mini rete di teleriscaldamento		€
Acquisto terreno		€

COSTI VARIABILI

Manutenzione ordinaria		€/anno
Manutenzione straordinaria		€/anno
Manutenzione CHP		€/anno
Personale		€/anno
Spese en elettrica		€/anno
Spese en termica		€/anno

RICAVI

Vendita energia elettrica primi 15 anni		€/anno
Vendita energia elettrica successivi 15 anni		€/anno
Vendita energia termica		€/anno
Conferimento biomassa		€/anno
Tassa annuale di smaltimento rifiuto		€/anno

Il servizio web restituisce per ciascuna delle utenze:

- il reddito dell'investimento una volta che l'impianto funziona a regime (a partire, cioè, dal 2° anno di esercizio);
- i flussi di cassa;
- il valore attuale netto (VAN) dell'investimento;
- il tempo di ritorno dell'investimento (payback period).

Il modello di analisi fornisce quindi una serie di informazioni di carattere tecnico, economico e finanziario necessarie per produrre un quadro informativo completo e specifico per ogni soluzione impiantistica considerata.

Le voci di *costo fisso per l'impianto di digestione anaerobica* sono rappresentate dai costi di investimento necessari per la realizzazione dell'impianto; sono stimati sulla base di costi specifici diversificati per le macro spese riguardanti le opere civili, opere elettromeccaniche ed impiantistica idraulica ed elettrica valutati con una preliminare indagine di mercato effettuata tramite confronti di offerte economiche di aziende costruttrici di impianti a biogas.

Le voci di *costo variabile* si possono classificare in:

- Sistema di cogenerazione: in mancanza di condizioni particolari e specifiche della realtà aziendale, viene considerato un importo standard per le ore di funzionamento distinto in relazione alla tipologia di motore.
- Manodopera relativa alla gestione ordinaria dell'impianto: con questa voce si intende il tempo impegnato dal conduttore o dal tecnico specializzato per eseguire tutte le operazioni (escluso il caricamento delle biomasse) di controllo e gestione dell'impianto nel suo complesso. Il valore di costo per tale operazione è valutato in base alla complessità e alla dimensione dell'impianto.
- Manutenzione ordinaria relativa alle attrezzature connesse al digestore anaerobico, alle opere civili, elettromeccaniche e agli impianti idrici ed elettrici.
- Manutenzione straordinaria: consiste negli interventi riguardanti il consolidamento, rinnovamento e sostituzione di parti dell'impianto.

Le voci di *ricavo* sono:

- Vendita energia elettrica al gestore della rete: viene calcolata tenendo conto degli incentivi statali (certificati verdi o tariffa omnicomprensiva) e in base agli autoconsumi dell'impianto.
- Valorizzazione del surplus di energia termica calcolato in relazione all'energia autoconsumata dall'impianto.

Per gli aspetti di dettaglio si rimanda al documento reportistico RdS/2010/177 mentre per le costanti impostate per le elaborazioni economiche alla sessione RICERCA DATI-INFO COSTI, presente nell'home page.

Con la nuova versione di AIDA si è provveduto ad un aggiornamento dei prezzi di vendita e dei costi di manutenzione e gestione dell'impianto, ed all'introduzione di una sezione dei costi (come evidenziato sopra nella grafica) relativa all'acquisto/conferimento della biomassa e smaltimento del sottoprodotto "digestato" ottenuto dal processo di gestione anaerobica "ceneri" per la gassificazione.

Prezzi della biomassa

Il biogas è un prodotto che non ha un mercato di scambio per cui il suo valore è associato al costo della sua produzione cioè al costo dell'impianto di digestione anaerobica dal quale è

prodotto, al costo d'approvvigionamento della biomassa grezza, ai costi operativi e di manutenzione dell'impianto. Infatti l'utilizzo di alcuni tipi di biomassa comporta un costo aggiuntivo dovuto alla loro produzione (è il caso dell'uso di colture dedicate), o al loro trasporto (scarti alimentari), oppure un ricavo associato al loro smaltimento (come nel caso della FORSU, il cui costo di smaltimento può rappresentare un ricavo per l'impianto che effettua lo smaltimento: il digestore).

Per quanto concerne i costi di approvvigionamento delle biomasse si possono incontrare situazioni molto diverse.

- Nel caso delle biomasse residuali il costo è sostanzialmente quello di raccolta e trasporto, il primo dei quali può essere in linea teorica anche molto basso. In realtà il costo di raccolta è basso (al limite zero) solo nel caso in cui tali biomasse siano concentrate, come nel caso dei residui dell'agro-industria.
- Nel caso dei residui agricoli (paglie, stocchi, potature), il costo di raccolta è legato soprattutto alla pressatura.
- Nel caso delle coltivazioni energetiche i costi possono essere anche elevati in relazione ai costi delle lavorazioni, dei fertilizzanti, del combustibile, la resa e la posizione geografica; in media si considera: Insilato Mais o Sorgo – 24 €/t; Insilato Triticale – 23 €/t [22].

Nel complesso si possono avere costi di acquisto delle biomasse alla fonte variabili da circa 15 a circa 150€ per tonnellata di sostanza secca.

A tale costo devono essere aggiunti i costi di trasporto, anch'essi fortemente variabili in relazione alle distanze percorse ed alla organizzazione logistica della fase di trasporto.

In linea del tutto generale, possono essere considerati costi medi dell'ordine di 0,15-0,25€/t*km. Con percorrenze medie di 40-60 km (andata e ritorno), tali costi comportano un ricarico sul costo di acquisto della biomassa dell'ordine di 6-15 €/t.

Ancora a parte dovrebbero poi essere considerati i costi di stoccaggio delle biomasse, i quali tendono ad incidere moltissimo specie nel caso in cui la raccolta sia concentrata in pochi mesi.

Per la Pubblica amministrazione possono infatti esistere diverse motivazioni che spingono alla realizzazione di un impianto anaerobico.

In primo luogo, la motivazione contemplata da AIDA è la necessità di trattare un rifiuto organico, quale la frazione organica del rifiuto solido urbano ma non solo, che normalmente va conferito in discarica con una spesa che grava sulla collettività; per cui la realizzazione di un impianto può giovare sulle casse pubbliche come un ricavo dovuto a una mancata spesa. Come nuova elaborazione della seconda versione di AIDA è stata introdotta l'analisi di sensitività del prezzo dei certificati verdi come studio per simulare l'andamento delle principali voci di investimento, con lo scopo di verificare quali sono le criticità che possono rendere l'investimento non positivo.



Per quanto riguarda la sessione dell'analisi ambientale si rimanda ai risultati riportati del report RDS/2010/177. La nuova versione di AIDA rimane fedele alle ipotesi fatte nella prima versione con l'aggiunta del calcolo delle emissioni risparmiate per il riscaldamento domestico.

3.1.2 CASO [B] → UTENTE PUBBLICA AMMINISTRAZIONE - GASSIFICAZIONE

La gassificazione è una tecnologia di conversione termochimica per mezzo della quale legno, biomasse lignocellulosiche coltivate, residui agricoli o rifiuti solidi urbani sono trasformati in un gas combustibile, noto come syngas, a basso contenuto energetico, ma molto più versatile da utilizzare rispetto alle materie prime da cui deriva.

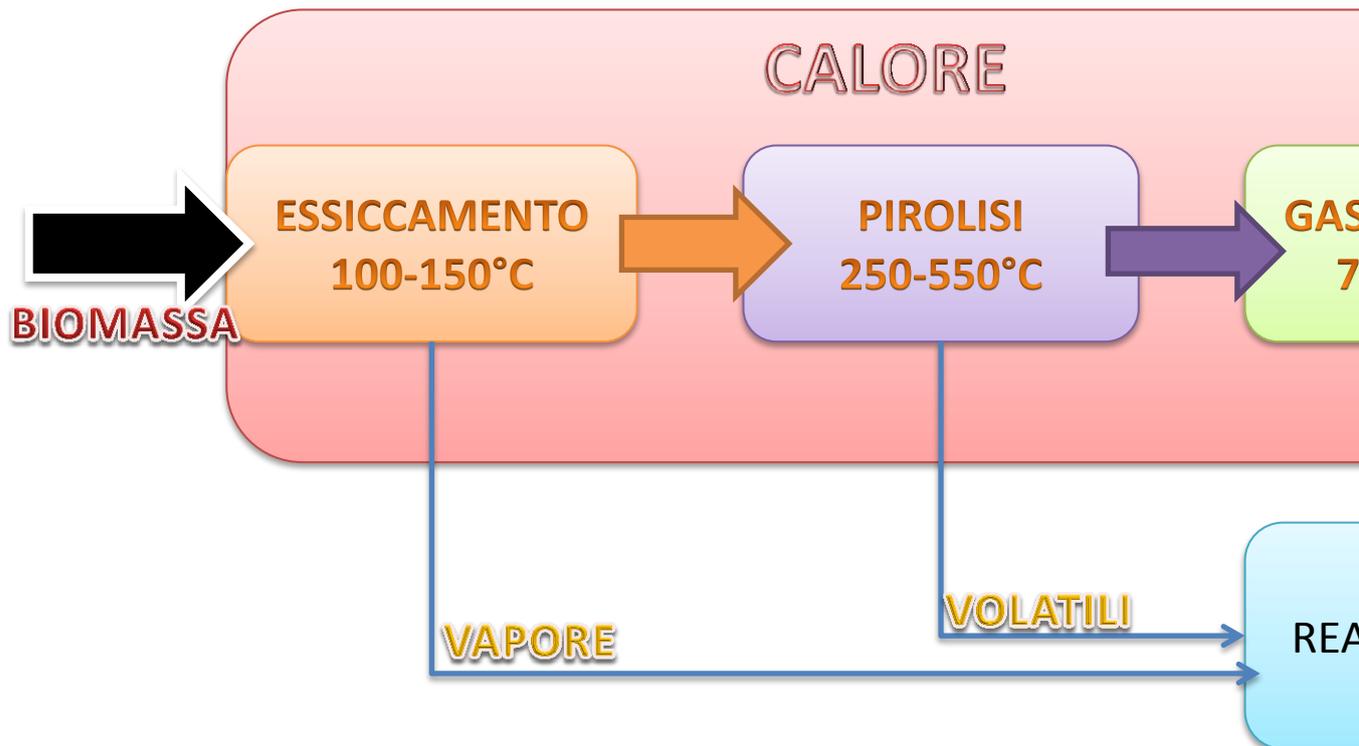


Figura 8 - Fasi del processo di gassificazione

La biomassa introdotta all'interno del reattore subisce inizialmente la fase di essiccazione che determina, per temperature superiori ai 100 °C, l'eliminazione per evaporazione del contenuto d'acqua residuo presente nella biomassa (5–35%); questa subisce quindi una decomposizione pirolitica in assenza di ossigeno che produce, finché la temperatura all'interno del gassificatore è intorno ai 600°C, la vaporizzazione dei componenti più volatili della sostanza organica con formazione di gas di pirolisi (syngas a basso potere calorifico variabile tra 3,5 e 9 MJ/Nm³) e char. La parte carbonizzata (char) e le ceneri (non vaporizzabili) entrano in contatto con il mezzo di gassificazione che può essere aria, ossigeno, vapore o una miscela di questi tre elementi. Da questa parziale ossidazione si sviluppa dunque il calore necessario a mantenere attivo l'intero processo di conversione; calore che viene poi assorbito dalle reazioni endotermiche di riduzione dalle quali si formano i costituenti del gas di sintesi.

In funzione del mezzo adottato cambiano le caratteristiche energetiche del syngas prodotto, e si modificano anche le concentrazioni degli elementi costituenti che sono principalmente monossido di carbonio, idrogeno, anidride carbonica e metano.

In tabella sono riassunte le percentuali volumetriche dei principali componenti del gas di gasogeno distinte in funzione del tipo di gassificazione effettuata; i valori riportati sono comunque indicativi dato che essi dipendono anche alle caratteristiche specifiche del reattore utilizzato e dal tipo di biomassa convertita.

ARIA: è la tecnologia più semplice ma il gas prodotto ha basso poter calorifico perché contiene una grande quantità di azoto che lo diluisce.

OSSIGENO: l'assenza di azoto consente di ottenere un vettore a medio poter calorifico.

VAPORE: è più economico dell'ossigeno e il gas ottenuto ha un contenuto di idrogeno superiore ma il processo è endotermico

	ARIA	OSSIGENO	VAPORE
CO	14%	34%	27%
CO₂	15%	27%	20%
H₂	10%	32%	38%
CH₄	4%	5%	12%
N₂	57%	2%	3%
PCI	4 MJ/Nm ³	9 MJ/Nm ³	11 MJ/Nm ³

La conversione termochimica delle biomasse ai fini della produzione di energia elettrica può avvenire essenzialmente mediante impianti a combustione esterna (impianti a vapore, motori Stirling o impianti a ciclo Rankine operanti con fluidi organici) oppure mediante processi di gassificazione e la successiva alimentazione del syngas in impianti a combustione interna (turbine a gas e motori alternativi). Allo stato attuale (si veda la Figura 9), le uniche tecnologie commercialmente disponibili per impianti di taglia medio-grande (a partire da circa 10MW) sono rappresentate dai tradizionali impianti a vapore. Nel campo delle medie potenze sono disponibili gli impianti a fluidi organici (ORC, Organic Rankine Cycle), mentre per impianti di piccola taglia (10-50kW) vengono commercializzati alcuni motori a ciclo Stirling.

Disponibilità annua biomassa (tonnellate)

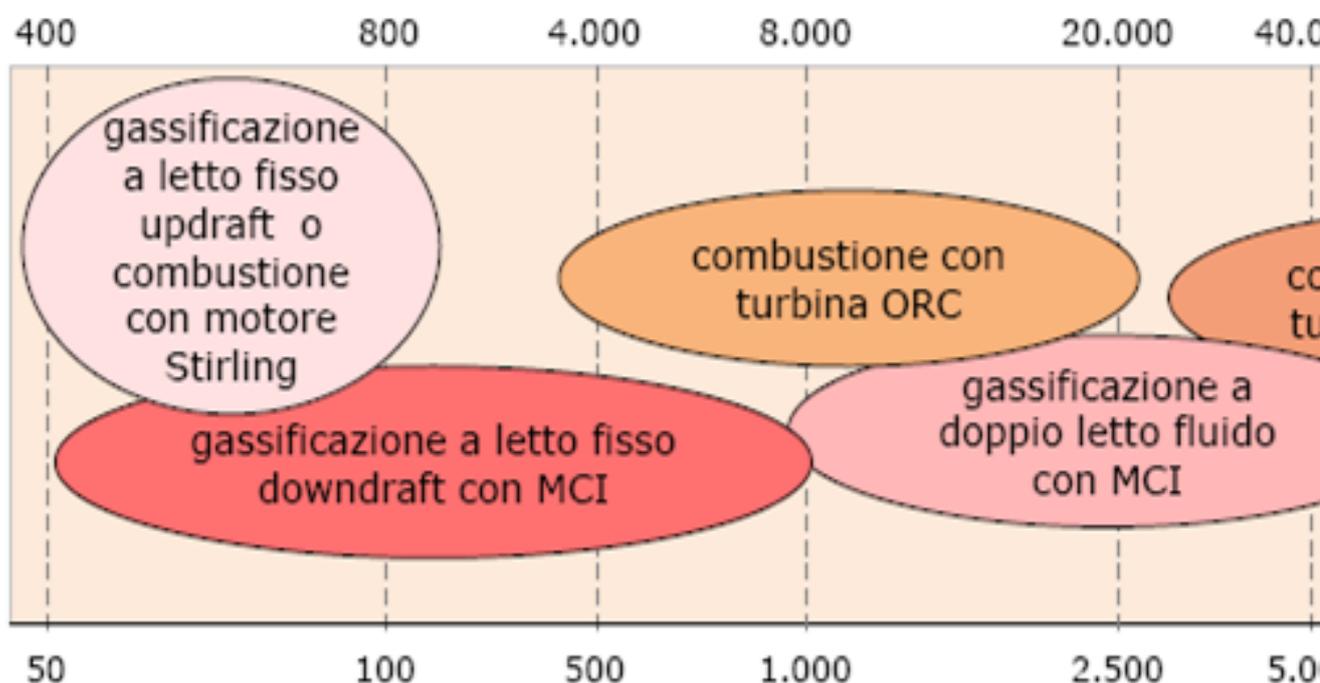


Figura 9 - Classificazione degli impianti di generazione elettrica alimentati con biomassa

Potenza alimentabile (kW)

Le tecnologie basate sulla gassificazione, pur molto promettenti in termini di rendimento, non hanno di fatto ancora raggiunto un sufficiente livello di maturità industriale. Il grande interesse verso tale tecnologia è legato alla possibilità di poter impiegare il syngas prodotto in sistemi ad alta efficienza e basse emissioni inquinanti come le turbine a gas, le celle a combustibile e i cicli combinati gas/vapore.

Vedremo nel seguito l'approccio metodologico mediante il quale l'utente sarà guidato nella scelta della tecnologia da utilizzare, come mostrato in figura x, l'impiego delle diverse tecnologie di conversione energetica dipende soprattutto dalla taglia dell'impianto e quindi in stretta correlazione dalle tonnellate di biomassa annualmente disponibili, per questo motivo il primo passo è un dimensionamento preliminare orientativo alle esigenze dell'utenza, con lo scopo di quantificare, in modo immediato e in termini energetici il potenziale fornito dalla biomassa.

$$P(kW) = \eta \frac{m(kg) \cdot (1 - x) \cdot PCI \cdot 1000}{3600 \cdot h}$$

I valori di input considerati per tale calcolo sono i seguenti valori medi:

Umidità della biomassa	15%
Ore di funzionamento annue	7500 ore anno
Efficienza di conversione elettrica	25%
Potere calorifico inferiore della biomassa	16 MJ/kg

L'utente ha la possibilità di consultare mediante un menù a tendina l'elenco delle aziende che commercializzano la tecnologia di gassificazione sul territorio nazionale e successivamente per ciascuna di esse i modelli di gassificatori di cui sono disponibili le informazioni preliminari sulla tipologia impiantistica, la biomassa di alimentazione, la taglia d'impianto e il motore installato.

Il valore di potenza installabile (kW), ossia la taglia impiantistica, inizialmente ricavato sarà di aiuto all'utente nella scelta della tecnologia co3nfacente il proprio caso.

E' stato, infatti, concepito come fattore discriminante in base al quale, se nel database non c'è un modello di gassificatore che abbia al minimo la potenza installabile allora l'utente ha la possibilità di tornare indietro al passaggio del POTENZIALE BIOMASSE e incrementare la consistenza dell'impianto mediante l'apposita funzione di AGGIUNGI MATRICE, in caso contrario l'utente può selezionare il modello desiderato e visualizzare di quest'ultimo la scheda tecnica.

TECNOLOGIA		
AGENTE DI GASSIFICAZIONE		
TIPOLOGIA BIOMASSA		
UMIDITA'		%
PEZZATURA		cm
CONSUMO SPECIFICO DI BIOMASSA		Kg/kWhe
PRODUTTIVITA' SYNGAS		Nm ³ /kg
MOTORE INSTALLATO	Modello	Nome azienda



Dopo aver preso visione della tecnologia, delle specifiche impiantistiche, delle biomasse accettabili e della sezione energetica, l'utente accede nella schermata successiva delle informazioni inerenti le caratteristiche chimico fisiche della biomassa da trattare e della stima della potenziale produzione di syngas.

%ST		%
%SV		%
PCI		MW _{ht}
CH ₄		%
H ₂		%
Produzione syngas		Nm ³ /y

Il syngas contiene anche molte impurità come ad esempio ceneri, catrami, ma anche acidi solforati, HCN, HCl, ammoniaca e metalli pesanti, che rendono pertanto indispensabile la presenza di una fase di depurazione a valle del processo di conversione prima che il gas di sintesi sia impiegato a fini energetici. A conclusione delle fasi di gascleaning quello che si ottiene è dunque un combustibile estremamente versatile; esso può essere infatti impiegato per la produzione di calore, in normali caldaie, per l'alimentazione di motori a combustione interna (ciclo otto e ciclo diesel) o per la generazione di energia elettrica in impianti turbogas. Interessante è anche la possibilità di eseguire sui prodotti della gassificazione un'operazione di steam reforming con la quale, utilizzando vapore acqueo ad alta temperatura (820–870°C) e un catalizzatore normalmente a base di nichel, si riesce a convertire il metano e gli altri idrocarburi presenti nel syngas in una miscela di idrogeno e monossido di carbonio impiegabile ad esempio per l'alimentazione di celle a combustibile a carbonati fusi (MCFC).



Proseguendo le elaborazioni, nella sezione dedicata all'analisi energetica si vuole fornire all'utente uno strumento utile a effettuare diversi scenari impiantistici al variare del modulo cogenerativo scelto.

E' infatti possibile, analogamente a quanto avviene per la digestione anaerobica, scegliere mediante menù a tendina sia tra diverse tecnologie di cogenerazione quali: motore a combustione interna, turbine a gas, celle a combustibile a carbonati fusi (MCFC), e celle a combustibile a ossidi solidi (SOFC); che all'interno di esse scegliere tra diverse case costruttrici. Il sottomodulo implementato permette di individuare il giusto dimensionamento

dei moduli cogenerativi in relazione alla disponibilità del syngas producibile. I valori in output sono relativi ai consumi di combustibile, alla produzione di energia elettrica e termica, dei consumi dell'impianto e delle utenze alimentabili.

TECNOLOGIA		
CONSUMO ORARIO DI BIOMASSA		Kg/h
CONSUMO ANNUO DI BIOMASSA		Kg/y
ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA		kW _{he}
ENERGIA TERMICA PRODOTTA		kW _{ht}
AUTOCONSUMO ELETTRICO		kW _{he}
AUTOCONSUMO TERMICO		kW _{ht}
UTENZE ELETTRICHE SERVITE		
UTENZE ELETTRICHE SERVITE		



Cliccando sul tasto PASSAGGIO SUCCESSIVO si va nella sezione ANALISI ECONOMICA in cui si forniscono i principali output economici usufruendo dell'incentivazione statale.

Attualmente, da un'indagine di mercato i costi di installazione di gassificatori variano tra i 4.000-5.000€/kW, e variano molto a seconda della tecnologia di riferimento e a seconda delle aziende che li commercializzano, in AIDA gli output economici non sono fissati ma sono variabili, in quanto relativi alle informazioni inserite nel database delle aziende di gassificazione.

In allegato al presente report è stato inserito un format con l'indicazione delle principali voci che compongono la tabella GASSIFICAZIONE contenuta nel DataBase AIDA e a cui si devono attenere le aziende che intendono registrarsi al servizio web.

Il costo dell'impianto comprensivo delle opere accessorie/complementari è calcolato riprendendo le seguenti voci contenute nel database:

$$\left(\text{costo specifico} \frac{\text{€}}{\text{kW}} \right) * (\text{taglia nominale kW}) = (\text{costo di investimento €})$$

Il costo di manutenzione ordinaria dell'impianto è calcolato riprendendo le seguenti voci contenute nel database:

$$\begin{aligned} & (\text{costo di investimento } \text{€}) * (\text{Percentuale di manutenzione } \%) \\ & = (\text{costo annuale di manutenzione } \text{€}/\text{anno}) \end{aligned}$$

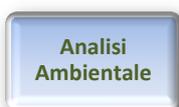
Le altre voci di costo quali: manutenzione straordinaria, manutenzione del cogeneratore e costo del personale sono tratti da indagini di mercato e studi di settore:

In particolare, il sistema elabora i seguenti valori:

- manutenzione del cogeneratore;
- Per MCI = 0,014 €/kW_h
- Per TAG = 0,009 €/kW_h
- Per MCFC = 0,0075 €/kW_h
- Per SOCF = 0,0075 €/kW_h

- manutenzione straordinaria consistente negli interventi riguardanti il consolidamento, rinnovamento e sostituzione di parti dell'impianto. Viene ipotizzata una spesa straordinaria calcolata come percentuale dell'investimento iniziale (3%);

- valore di costo per il personale impiegato valutato in base alla complessità e alla dimensione dell'impianto; si considera un importo standard per unità di energia elettrica prodotta (0,03 €/kW_{he})



Per quanto riguarda la sessione dell'analisi ambientale si rimanda ai risultati riportati del report RDS/2010/177. La nuova versione di AIDA rimane fedele alle ipotesi fatte nella prima versione con l'aggiunta del calcolo delle emissioni risparmiate per il riscaldamento domestico.

Le emissioni in atmosfera del processo di gassificazione rispetto ad altre tecnologie di incenerimento sono contenute e facilmente controllabili perché:

- a) la combustione del gas è sempre più efficiente e completa di quella di un solido e richiede un eccesso d'aria minimo;

-
- b) la concentrazione di inquinanti organici nelle emissioni dall'impianto è trascurabile in quanto la biomassa combustibile è portata, in una prima fase di ossidazione ad una temperatura di circa 1200°C e poi, in una seconda fase di riduzione, ad una temperatura prossima ai 1000°C. La permanenza nelle due fasi ha una durata di alcuni minuti.
- c) Il trattamento del gas tra l'uscita dal reattore e l'entrata nella caldaia è in grado di assicurare un combustibile pulito;
- d) La cenere residuale del processo è costituita dai composti non organici come in una normale combustione.

3.2 RIELABORAZIONE - UTENTE "IMPRENDITORE FINANZIARIO"

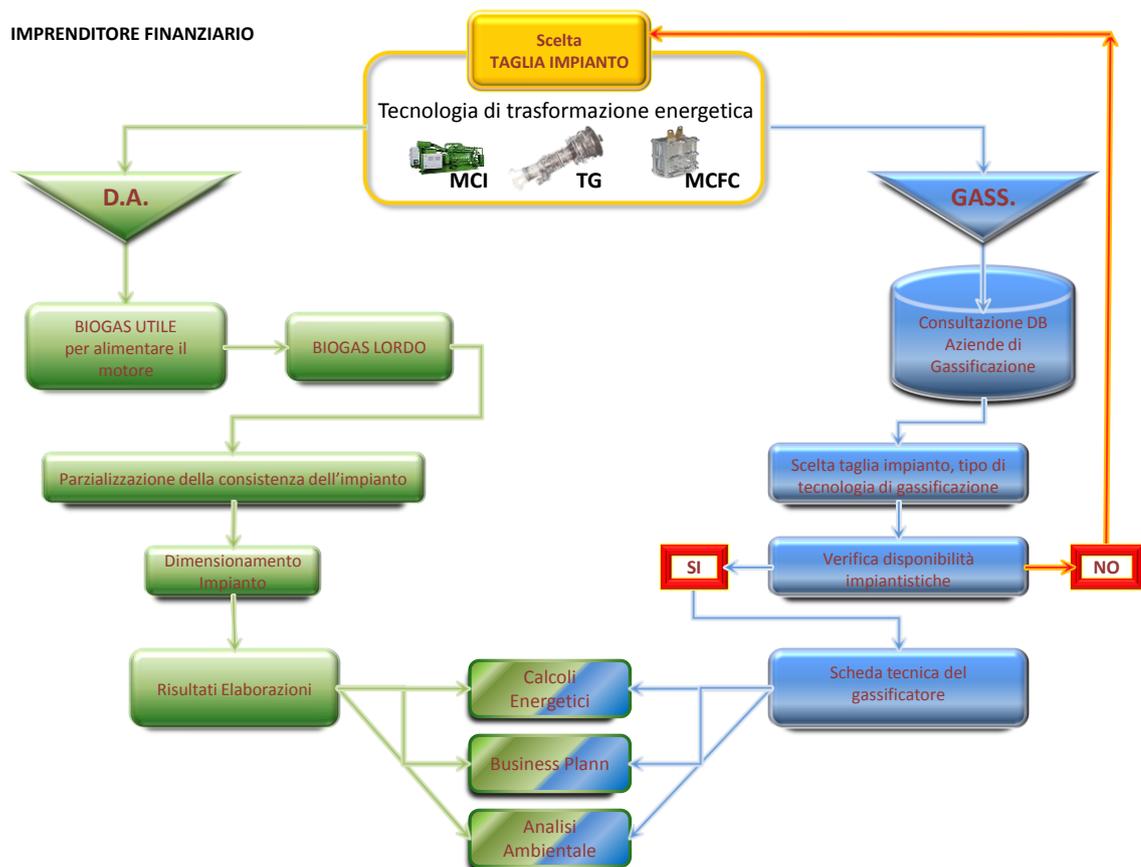


Figura 10 - Schema a blocchi rappresentativo della struttura del percorso decisionale per l'utente tipo "Imprenditore Finanziario"

In questa sessione l'utente non usufruisce della caratterizzazione territoriale delle biomasse, ma utilizza il modello per analizzare la fattibilità di un investimento partendo dalla scelta della taglia dell'impianto, e valutando poi la quantità di biomassa necessaria per alimentare l'impianto stesso.

Secondo la successione delle fasi finora analizzata, le varianti adottate per questa sessione prevedono l'eliminazione di alcune delle fasi di studio (vedi Figura 11): si parte dalla scelta della taglia d'impianto, seguita poi dalla valutazione della biomassa necessaria per alimentare l'impianto stesso e in base a queste informazioni il modello esegue le opportune valutazioni energetiche, economiche ed ambientali:



Figura 11 – Successioni delle fasi di AIDA

Per cui, secondo lo schema avremo:

Scelta della taglia dell'impianto (kW)	INPUT
Scelta della tipologia di Substrato	INPUT
Materia prima necessaria per alimentare l'impianto	OUTPUT
Risultati energetici	OUTPUT
Risultati economici	OUTPUT
Risultati ambientali	OUTPUT

Naturalmente la scelta effettuata per l'approccio impiantistico impone una logica di calcolo differente; nel caso della DIGESTIONE ANAEROBICA la logica implementata prevede:

3.2.1 CASO [A] → UTENTE IMPRENDITORE FINANZIARIO - DIGESTIONE ANAEROBICA



In prima battuta l'utente tipo esegue una scelta guidata della taglia di impianto mediante un semplice comando di un menù a tendina, seguita poi dalla scelta della tecnologia di trasformazione energetica (MCI, TG, MCFC, SOFC) in funzione delle opportune valutazioni prestazionali, economiche ed ambientali. Le prime due caselle sono quindi dati di input gestiti dall'utente tipo, mentre la "Portata oraria di biogas utile" necessaria per alimentare il motore scelto e la quantità di "Biogas utile/anno" sono dati di output calcolati dal modello secondo le indicazioni che seguono:

$$\text{PORTATA ORARIA DI BIOGAS UTILE} \rightarrow \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}} = \frac{1.000 \text{ kW}}{\% \text{PCI} \text{CH}_4 \times \eta_{\text{el}} \times \% \text{CH}_4} \quad [\text{X}]$$

$$\text{BIOGAS UTILE/ANNO} \rightarrow \frac{\text{Nm}^3}{\text{anno}} = \text{PORTATA ORARIA DI BIOGAS} \times \text{oreanno} \times \text{FUM} \quad [\text{Y}]$$

Ove il rendimento elettrico η_{el} e il fattore utilizzo impianto FUM sono funzione della scelta del sistema di cogenerazione, mentre la %CH₄ è un valore di default impostato dal modello di calcolo, rappresentativo del valore medio di produzione di metano nella composizione tipica del biogas prodotto da biomasse.

Prima di effettuare la valutazione quantitativa di biomassa necessaria a tali scopi, il modello di calcolo richiede delle ipotesi semplificative che consentano di scegliere la "tipologia" di substrato/i da trasformare. Tale scelta è gestita mediante uno schema ove sono riportati tutti i settori divisi per gruppi e sottogruppi di substrati tramite cui l'utente eseguirà un frazionamento della consistenza del proprio impianto.

Supponiamo, ad esempio, che per alimentare un impianto di 1MW, l'utente scelga di caricare il digestore con un 30% di FORSU e un 70% di reflui suini (oppure altri/più substrati).

L'utente dovrà compilare una semplice tabella, come riportato:

TIPOLOGIA SETTORE	%	SUBSTRATO
Zootecnico	0%	Reflui bovini/bufalini
	70%	Reflui suini
Civile	30%	FORSU
	0%	Reflui Civili
Agroindustriale	0%	Scarti Macellazione
	0%	Altri Scarti Agroindustriali
Scarti agricoli	0%	Paglie
	0%	Potature
	0%	Lolla Riso
	0%	Gusci rutta

	0%	Vinaccia
	0%	Sansa
Colture energetiche	0%	Arundo
	0%	Miscanto
	0%	Panico
	0%	Cardo
	0%	Sorgo
Legno Foreste	0%	Boschi latifoglie
	0%	Boschi Conifere
	0%	Arboricoltura

In funzione di tale scelta il sistema elabora la quantità di biomassa necessaria per i due settori presi in esame, fornendo i risultati in termini rispettivamente di n° capi suini e di tonnellate l'anno della frazione organica prodotta dalla raccolta differenziata dei rifiuti (FORSU).

I risultati di questa sessione sono riportati nelle pagine web di elaborazione, mediante una grafica, ad oggi ancora in lavorazione.

Si tenga conto che nella sessione appena descritta, indicata per l'approccio impiantistico della "Digestione Anaerobica", i substrati presi in esame dal modello sono limitati al settore delle biomasse Fermentescibili; le matrici che appartengono al settore delle biomasse Lignocellulosiche sono invece analizzate per l'approccio impiantistico della gassificazione (vedi paragrafi 3.1.2 - 3.2.2 - 3.3.2)

In base al settore indagato il modello elabora il risultato mediante una formula opportuna.

Tabella 9 - Schema per identificare la formula apposita per settore:

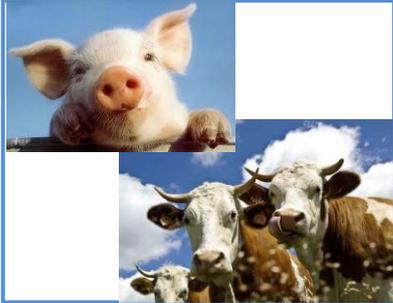
SETTORI	Tecnologia	Formule	
<i>Settore Zootecnico</i>			
Reflui bovini/bufalini	DA	(A)	(A1)

		[n°capi]	[t/anno]
Reflui suini	DA	(A*) [n°capi]	(A1*) [t/anno]
Settore Civile			
FORSU	DA	(E) [n°abit.]	(E1) [t/anno]
Reflui Civili	DA	(C) [n°AE]]	(C1) [t/anno]
Settore Agroindustriale	DA	(B) [t/anno]	
Settore Scarti Agricoli*	DA/GAS	(D) [t/anno]	

* Per l'approccio impiantistico della gassificazione vedi paragrafi 3.1.2 - 3.2.2 - 3.3.2

❖ Per il **Settore Zootecnico** sono state implementate le seguenti elaborazioni:

SETTORE: Zootecnico

	Tipo di allevamento:	n° capi	t/anno
	✓ Bovino/ Bufalino		
	✓ Suino		
	INTERO SETTORE		

$$(A) = n^{\circ} \text{ capi bov. buf.} = \frac{\text{Prod. Biogas lordo/ anno}}{\text{Prod. Procapite biogas per bov. buf/ anno}} = \frac{\frac{\text{Nm}^3}{\text{anno}}}{\frac{\text{Nm}^3}{\text{capo*anno}}}$$

$$(A^*) = n^{\circ} \text{ capi suini} = \frac{\text{Prod. Biogas lordo/ anno}}{\text{Prod. Procapite biogas per suini/ anno}} = \frac{\frac{\text{Nm}^3}{\text{anno}}}{\frac{\text{Nm}^3}{\text{capo*anno}}}$$

Il valore riportato al numeratore delle formule (A) e (A*) è dato da:

$$\frac{\text{Prod. Biogas lordo}}{\text{anno}} = \frac{\text{Prod. Biogas utile/ anno}}{\eta_{el}} \times [\% \text{ sett. zoot}]$$

Ove:

$\frac{\text{Prod. Biogas utile}}{\text{anno}} \rightarrow$ si ricava mediante la formula [Y];

η_{el} → dipende dalla scelta del sistema di cogenerazione; tale fattore è indispensabile per risalire alla quantità lorda di biogas di cui è necessario disporre, allo scopo di tener conto delle perdite di carico dovute all'efficienza del sistema.

[% sett.zoot] → è una percentuale impostata dall'utente in base alla scelta fatta per il frazionamento della consistenza del proprio impianto;

Prod.Procapite biogas (capo zootecnico) → tale parametro viene ricavato come valore medio in relazioni alle classi di età di ciascuno dei due settori zootecnici (e quindi in funzione del peso vivo medio), come riportato di seguito:

Produzione procapite media di biogas all'anno:

Settore zootecnico Bovino/Bufalino	218,26 Nm ³ /capo*anno
Settore zootecnico Suino	77,88 Nm ³ /capo*anno

Tali valori sono stati ricavati dalle seguenti considerazioni:

BOVINI	Nm ³ /(d*capo) da liq.	Nm ³ /(d*capo) da let.	Nm ³ /(d*capo) da let.+liq.
(0-12 mesi)	0,148	0,045	0,193
(12-24 mesi)	0,380	0,111	0,491
(> 24 mesi)	0,745	0,230	0,976
Valori medi	0,425	0,129	0,553

BUFALINI	Nm ³ /(d*capo) da liq.	Nm ³ /(d*capo) da let.	Nm ³ /(d*capo) da let.+liq.
(0-24 mesi)	0,235	0,075	0,310
(> 24 mesi)	0,745	0,230	0,976
Valori medi	0,490	0,153	0,643

SUINI	Nm ³ /(d*capo) da liq.	Nm ³ /(d*capo) da let.	Nm ³ /(d*capo) da let.+liq.
SCROFE	0,332	0,069	0,401
SCROFETTE	0,183	0,036	0,218

VERRI	0,213	0,069	0,281
GRASSI	0,183	0,036	0,218
LATTONZOLI	0,006	0,009	0,015
MAGRONCELLI	0,058	0,014	0,072
MAGRONI	0,183	0,036	0,218
CINGHIALI	0,213	0,069	0,281
Valori medi	0,171	0,042	0,213

Fonte – Atlante delle biomasse – ENEA 2009

Una volta definito il numero di capi necessari per la produzione di biogas lordo, il sistema elabora una stima della produzione delle deiezioni allo scopo di definire i volumi utili in base ai quali predimensionare i digestori:

$$(AI) = (AI^*) = t(\text{deiez. zoot})/\text{anno} = \frac{\text{Prod. Biogas lordo/ anno}}{\%ST \times \%SV \times \%CH_4 \times \text{Resa biogas}}$$

Ove:

%ST, %SV, %CH₄ e Resa biogas → sono parametri specifici della categoria presa in esame (valori indicati dalla tabella degli "Elementi produttivi" – vedi allegato A)

❖ Per il Settore Civile le elaborazioni si differenziano in funzione del sottogruppo:

SETTORE: Civile

	Scarto Civile:	n° abit	t/anno
	✓ FORSU		
	✓ Reflui Civili		
	INTERO SETTORE		

$$\text{Sottogruppo FORSU} \rightarrow (E) = n^{\circ} \text{abit.} = \frac{\text{Prod. Biogas lordo/ anno}}{\text{Prod. Procapite biogas / anno}}$$

Questo parametro consente una lettura più immediata ed intuitiva in relazione alla dimensione dell'ipotetico territorio a servizio dell'impianto per la fornitura del substrato FORSU.

Il valore riportato al numeratore della formula è ricavato dalla espressione già utilizzata per l'elaborazione del settore zootecnico, ed è:

$$\frac{\text{Prod. Biogas lordo}}{\text{anno}} = \frac{\text{Prod. Biogas utile/anno}}{\eta_{el}} \times [\% \text{ FORSU}]$$

Ove:

$\frac{\text{Prod. Biogas utile}}{\text{anno}}$ → si ricava mediante la formula [Y];

η_{el} → dipende dalla scelta del sistema di cogenerazione; tale fattore è indispensabile per risalire alla quantità lorda di biogas di cui è necessario disporre, allo scopo di tener conto delle perdite di carico dovute all'efficienza del sistema.

[% FORSU] → è una percentuale impostata dall'utente in base alla scelta fatta per il frazionamento della consistenza del proprio impianto;

Produzione annuale di biogas per abitante all'anno → tale parametro viene ricavato in funzione del valore medio nazionale di produzione di FORSU all'anno [23].

In realtà tale valore è estremamente variabile in funzione del livello di raccolta differenziata raggiunto dall'ambito territoriale di indagine; si pensi che per le province più virtuose è stato raggiunto un valore di R.D [3] della frazione organica pari al 40-50% della RD. Secondo la tendenza del momento, questo è un valore destinato a salire (come testimoniato dagli studi sulle proiezioni future proposte dalla stessa fonte e da altri studi di settore), per cui ad oggi si possono contare sempre delle realtà territoriali che si adeguano a sistemi di raccolta differenziata efficienti.

In questa sede l'utente tipo si limita a fare una stima del potenziale utile ad alimentare il proprio impianto, per cui è sufficiente considerare come valore di riferimento il valore medio nazionale:

Abitanti	Prod. Rifiuti		Raccolta Differenziata		FORSU	
	t/anno	%	t/anno	%	t/anno	
59.131.287	32.522.651	25,8	8.377.576	16,8	1.408.707	

Fonte: ISPRA (ex APAT) – Rapporto Rifiuti 2007 - Valori medi nazionali italiani.

Inoltre tenendo conto dei parametri fisico-chimici che caratterizzano la matrice (riportati in Tabella 10), si ricava il valore di produzione procapite di biogas ricercato:

$$Prod.Procapite\ Biogas/anno\ (FORSU) = t(FORSU)/anno * ab \times \%ST \times \%SV \times Resa\ biogas$$

%ST	15	%
%SV	85	%
Resa Biogas	500	Nm ³ /tSV

Tabella 10 – Parametri di calcolo per il biogas prodotto da FORSU

In definitiva:

Settore FORSU → Valore procapite medio all'anno per:

Produzione di FORSU	23.82 kg/ab*anno
Produzione Biogas	1.52 Nm ³ /ab*anno

$$\underline{\text{Sottogruppo Reflui Civili}} \rightarrow (C) = n^{\circ} AE = \frac{Prod.Biogas\ lordo / anno}{Prod.Procapite\ biogas\ per\ AE}$$

In questa sessione lo scopo consiste nel definire la quantità di biomassa (Reflui Civili) necessaria per produrre una certa quantità di biogas utile per alimentare un impianto di taglia nota. Anche per il settore in questione viene calcolato un parametro che renda più immediata la lettura dei risultati, ovvero la dimensione dell'impianto di depurazione delle acque reflue urbane espressa in termini di AES. Questo consente, d'altra parte, di individuare più facilmente la disponibilità di tale potenziale sul territorio in esame.

Il numeratore della formula si ricava come per le espressioni proposte per gli altri settori; mentre il denominatore è un valore medio ricavato da alcune elaborazioni effettuate in queste sedi dedotte dall'analisi di diversi studi di settore che hanno consentito un confronto incrociato tra la stima della Produzione procapite giornaliera di biogas e della produzione procapite giornaliera di fango. Per ulteriori informazioni a riguardo si rimanda al paragrafo 2.1.2)

❖ Per il Settore Agroindustriale sono state implementate le seguenti elaborazioni:

SETTORE: Agroindustriale

	Scarto Agroindustriale:		t/anno
	✓	Macellazione	
	✓	altro	
		INTERO SETTORE	

Nell'ambito del settore Agroindustriale il sistema elabora direttamente una stima della produzione dello scarto espressa in t/anno, necessario per definire i volumi utili in base ai quali predimensionare i digestori.

Si ricordi che tale elaborazione è applicabile a qualunque tipologia di scarto fermentescibile, purchè siano noti i valori di input necessari richiesti dalla formula:

$$(B1) = t(\text{scarti agroind.})/\text{anno} = \frac{\text{Prod. Biogas lordo/ anno}}{\%ST \times \%SV \times \%CH_4 \times \text{Resa biogas}}$$

La definizione dei parametri è riportata per le formule precedenti (A1) e (A1*)

Per il Settore Scarti Agricoli è necessario fare una premessa.

Tale settore comprende una vasta gamma di substrati di scarto che si differenziano in base anche alla loro caratterizzazione fisico-chimica. In base a quest'ultima una tipologia di scarto potrebbe prestarsi o meno per una determinata tecnologia di trasformazione; in particolare a seconda del contenuto di carbonio/azoto e della percentuale di umidità un tipo di substrato si presta meglio alla Digestione Anaerobica piuttosto che alla Gassificazione, o viceversa.

Per i substrati che soddisfano le condizioni di processo della tecnologia di digestione anaerobica

si ripetono le analoghe elaborazioni eseguite per il settore Agroindustriale, definendo così (una volta nota la quantità di biogas utile per alimentare un motore di una determinata taglia, scelta a priori) direttamente la produzione dello scarto espressa in t/anno, parametro utile per predimensionare i digestori.

La formula sarà:

$$(D) = (B1) = t(\text{scarti agroind.})/\text{anno} = \frac{\text{Prod. Biogas lordo/ anno}}{\%ST \times \%SV \times \%CH_4 \times \text{Resa biogas}}$$

Ove naturalmente

SETTORE: Scarti Agricoli



Scelta del tipo di coltivazione:		
✓	Paglie	tSS/anno
✓	Potature	tSS/anno
✓	Lolla riso	tSS/anno
✓	Gusci Frutta	tSS/anno
✓	Vinaccia	tSS/anno
✓	Sansa	tSS/anno
	INTERO SETTORE	tSS/anno

Un ulteriore parametro interessante per definire la pianificazione di un intervento in tale settore è rappresentato dalla stima degli ettari utili alla coltivazione di un determinato scarto, al fine di poter stabilire la disponibilità o meno di terreni utili allo scopo. In questa sede tale aspetto è stato, per il momento, masso da parte, essendo necessaria un'indagine specifica per ciascuna tipologia di scarto che avrebbe richiesto tempo e risorse non concesse in tale contesto.

Per quanto riguarda l'approccio con la tecnologia della gassificazione, utilizzata per la trasformazione delle biomasse appartenenti alla categoria delle lignocellulosiche (scarti agricoli, colture energetiche, legno foreste) si rimanda alla sessione specifica (vedi paragrafo 3.2.2)

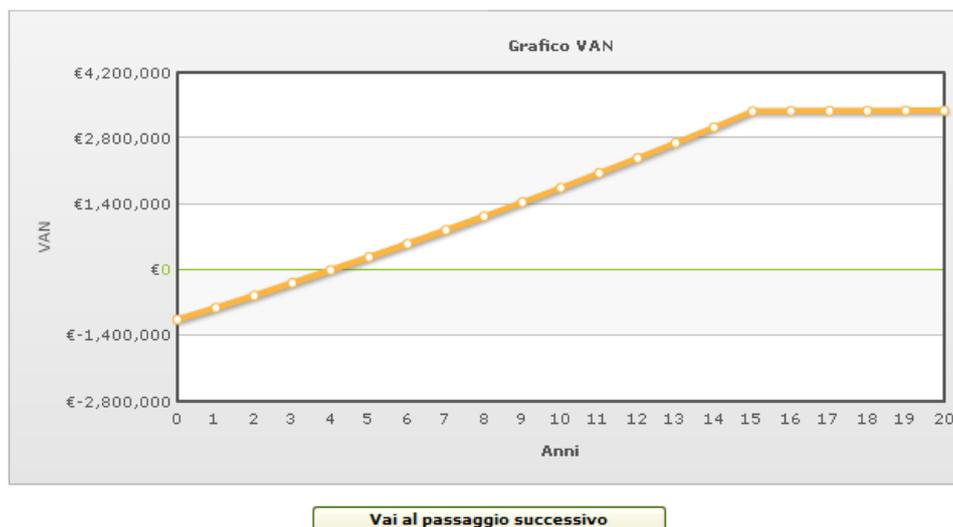


L'imprenditore Finanziario è interessato a realizzare un impianto su scala industriale che crei reddito, a sfruttare il Know how e le tecnologie esistenti per investire in una soluzione concreta; opportunità che solo ora i processi di liberalizzazione del mercato energetico hanno reso possibile.

Per questo tipo di utenza AIDA si arricchisce nell'analisi economica di una sezione dedicata all'analisi finanziaria dove sono stati introdotti degli strumenti utili per valutare la convenienza economica dell'investimento.

In primo luogo, il calcolo dei principali indici finanziari che rispecchiano le attese dell'investitore:

- VAN: Valore Attuale Netto
- TIR: Tasso Interno di Rendimento
- PBT: Tempo di ritorno (Pay Back Time)



Il programma impostato restituisce una rappresentazione grafica dell'andamento del Valore Attuale Netto nel tempo, una volta considerati i costi e i ricavi, fissati nelle fasi di impostazione dello studio, ossia, una rappresentazione dell'andamento del flusso di cassa annuale per una durata di 20 anni.

L'aspettativa dell'investitore è che, dopo un certo periodo di tempo, il grafico del VAN superi l'asse delle ascisse (linea verde) rientrando nell'area positiva del grafico il che significa che cumulativamente, i ricavi acquisiti sono maggiori rispetto alla spese sostenute.

Tanto prima avviene l'inversione del grafico dall'area negativa a quella positiva tanto migliore ovvero remunerativo, è l'investimento.

Il punto in cui avviene l'intersezione con le ascisse è il tempo di ritorno economico dell'investimento.

Il Tasso Interno di Rendimento è un indice di redditività finanziaria di un investimento. È il tasso composito annuale di ritorno effettivo che un investimento genera; in termini tecnici rappresenta la resa di un investimento.

In generale, un progetto andrebbe perseguito quando il TIR risulta essere maggiore del tasso di rendimento normalmente ottenuto dall'azienda.

In secondo luogo, AIDA fornisce l'analisi di sensitività come studio per simulare l'andamento delle principali voci di investimento, al variare del prezzo dei certificati verdi, con lo scopo di verificare quali sono le criticità che possono rendere l'investimento non positivo.



Per quanto riguarda la sessione dell'analisi ambientale si rimanda ai risultati riportati del report RDS/2010/177. La nuova versione di AIDA rimane fedele alle ipotesi fatte nella prima versione con l'aggiunta del calcolo delle emissioni risparmiate per il riscaldamento domestico.

Le emissioni in atmosfera del processo di gassificazione rispetto ad altre tecnologie di incenerimento sono contenute e facilmente controllabili perché:

- a) la combustione del gas è sempre più efficiente e completa di quella di un solido e richiede un eccesso d'aria minimo;
- b) la concentrazione di inquinanti organici nelle emissioni dall'impianto è trascurabile in quanto la biomassa combustibile è portata, in una prima fase di ossidazione ad una temperatura di circa 1200°C e poi, in una seconda fase di riduzione, ad una temperatura prossima ai 1000°C. La permanenza nelle due fasi ha una durata di alcuni minuti.
- c) Il trattamento del gas tra l'uscita dal reattore e l'entrata nella caldaia è in grado di assicurare un combustibile pulito;
- d) La cenere residuale del processo è costituita dai composti non organici come in una normale combustione.

3.2.2 CASO [B] → UTENTE IMPRENDITORE FINANZIARIO - GASSIFICAZIONE

La logica che governa tale sezione dedicata a scopi imprenditoriali è quella di apprezzare indirettamente al potenziale di biomassa, ossia di proporre una taglia impiantistica di gassificazione e verificarne la disponibilità sul territorio della biomassa utile.

L'utente accede direttamente ad un menù a tendina, dove sceglie la potenza installabile (kW).

Successivamente da una schermata di risposta all'interrogazione del database relativo alle diverse soluzioni impiantistiche di gassificazione, l'utente potrà selezionare il gassificatore e quindi il modello e l'azienda fornitrice (vedi Tabella 11)

Nome azienda	Taglia impianto	Tipologia Biomassa	Alimentazione impianto [kg/h]	Consumo annuale biomassa [kg/anno]
--------------	-----------------	--------------------	-------------------------------	------------------------------------

Tabella 11 – Informazioni fornite dal database

Dalla stessa schermata ricaverà il quantitativo di combustibile necessario annualmente per alimentare il gassificatore.

AIDA restituisce l'informazione mediante una grafica² opportuna che mette in evidenza la selezione del tipo di scarto scelto e la stima della superficie utile alla coltivazione dello stesso.

SETTORE: Colture Energetiche

Tipo di coltura:		ha	t/anno
	Arundo		
	Miscanto		
	Panico		
	Cardo		
	Sorgo		
INTERO SETTORE			

SETTORE: Legno Foresta

Tipo di coltivazione:		ha	t/anno
	Boschi Latifoglie		
	Boschi Conifere		
	Arboricoltura		
INTERO SETTORE			

² La grafica proposta è da ritenersi provvisoria, dal momento che ad oggi l'elaborazione grafica è ancora in corso d'opera

Una volta selezionato il gassificatore di interesse si aprirà la scheda tecnica, che comprende le seguenti informazioni:

TECNOLOGIA		
AGENTE DI GASSIFICAZIONE		
TIPOLOGIA BIOMASSA		
UMIDITA'		%
PEZZATURA		cm
CONSUMO SPECIFICO DI BIOMASSA		Kg/kW _{he}
PRODUTTIVITA' SYNGAS		Nm ³ /kg
MOTORE INSTALLATO	Modello	Nome azienda

**Produzione
Biogas/Syngas**

Dopo aver preso visione della tecnologia, delle specifiche impiantistiche, delle biomasse accettabili e della sezione energetica, l'utente accede nella schermata successiva alle informazioni di riepilogo delle caratteristiche chimico fisiche della biomassa da trattare e della stima della potenziale produzione di syngas.

%ST		%
%SV		%
PCI		MW _{ht}
%CH ₄		%
%H ₂		%
Produzione syngas		Nm ³ /y

**Analisi
Energetica**

Successivamente nella sezione dedicata all'analisi energetica viene fornito uno strumento utile a effettuare diversi scenari impiantistici al variare del modulo cogenerativo scelto.

E' infatti possibile, analogamente a quanto avviene per la digestione anaerobica, scegliere mediante menù a tendina sia tra diverse tecnologie di cogenerazione quali: motore a combustione interna, turbine a gas, celle a combustibile a carbonati fusi (MCFC), e celle a combustibile a ossidi solidi (SOFC); che all'interno di esse scegliere tra diverse case costruttrici. Il sottomodello implementato permette di individuare il giusto dimensionamento dei moduli cogenerativi in relazione alla disponibilità del syngas producibile.

I valori in output sono relativi ai consumi di combustibile, alla produzione di energia elettrica e termica, dei consumi dell'impianto e delle utenze alimentabili.

TECNOLOGIA	Modello gassificatore	Nome azienda
CONSUMO ORARIO DI BIOMASSA		Kg/h
CONSUMO ANNUO DI BIOMASSA		Kg/y
ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA		kW _{he}
ENERGIA TERMICA PRODOTTA		kW _{ht}
AUTOCONSUMO ELETTRICO		kW _{he}
AUTOCONSUMO TERMICO		kW _{ht}
UTENZE ELETTRICHE SERVITE		
UTENZE ELETTRICHE SERVITE		

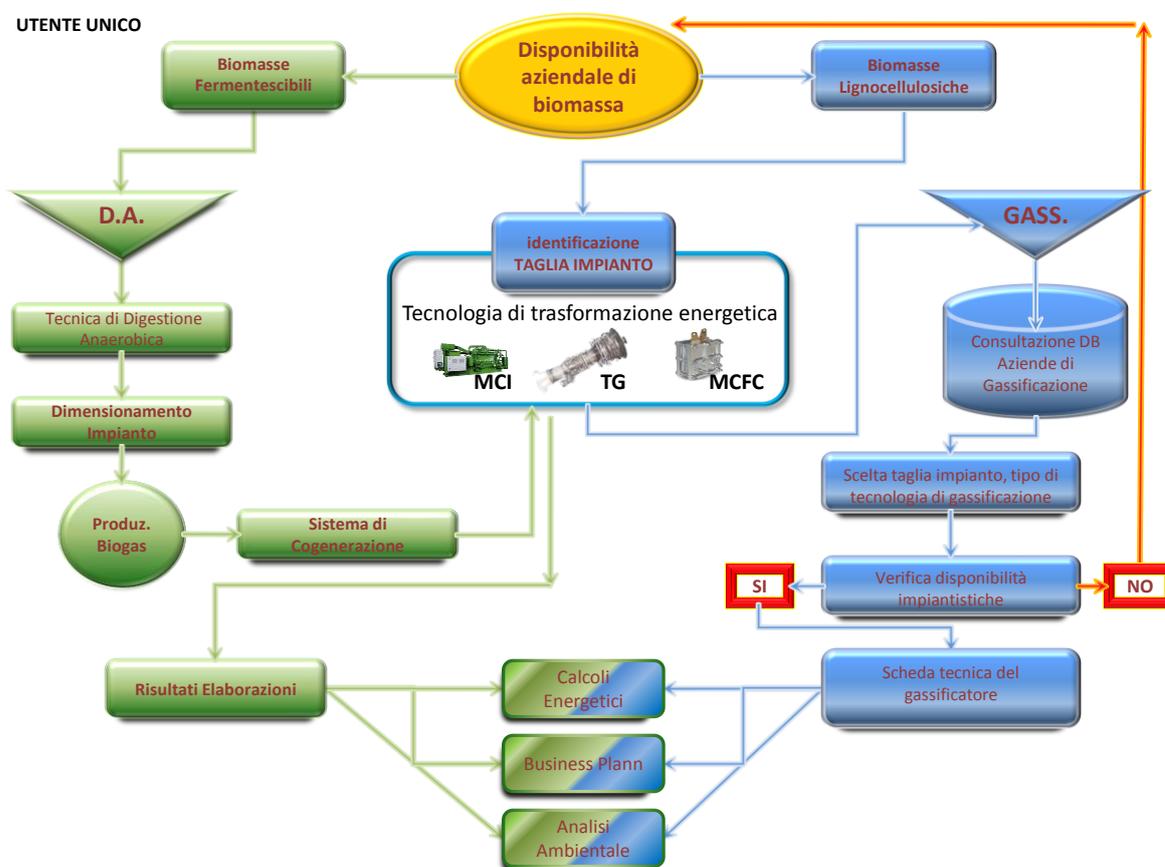
Analisi Economica

Cliccando sul tasto PASSAGGIO SUCCESSIVO si va nella sezione ANALISI ECONOMICA in cui si forniscono i principali output economici usufruendo dell'incentivazione statale. Per le descrizioni delle elaborazioni economiche della gassificazione si fa riferimento a quanto detto sopra, mentre tutti i dettagli relativi alle costanti impostate per le elaborazioni economiche, sono visualizzabili nella sessione RICERCA DATI - INFO COSTI, presente nell'home page del servizio web.

Analisi Ambientale

Per quanto riguarda la sessione dell'analisi ambientale si rimanda ai risultati riportati del report RDS/2010/177. La nuova versione di AIDA rimane fedele alle ipotesi fatte nella prima versione con l'aggiunta del calcolo delle emissioni risparmiate per il riscaldamento domestico.

3.3 RIELABORAZIONE - UTENTE "UNICO"



Schema a blocchi rappresentativo della struttura del percorso decisionale per "l'Utente unico"

Nella prima versione di AIDA era stata già prevista l'elaborazione per il percorso decisionale dell'utente "Azienda Agricola" con lo scopo di offrire un servizio che potesse soddisfare le esigenze di un'azienda nella realizzazione di un impianto di valorizzazione energetica dello scarto da essa prodotto.

In questa nuova versione rivisitata di AIDA, si è pensato all'utilità di estendere tale servizio anche ad una qualsiasi attività che produca uno scarto che possa entrare a far parte della catena energetica oggetto di questo studio. A tal fine è stato coniato il termine di "UTENTE UNICO", così da estendere l'utilizzo del servizio ad una qualsiasi attività agricola e/o industriale.

Per la tipologia di utenza "Utente Unico" è stato elaborato un format che prevede la registrazione, da parte dello stesso, dei propri dati aziendali di produzione utili per valutazioni

quanto più consone alla realtà specifica (consistenza aziendale, tipo di allevamento, o di scarto d lavorazione, disponibilità di terreni adatti per eventuali coltivazioni utili al trattamento di codigestione, consumi elettrici e termici, voci di costo, di gestione e manutenzione, altro). Queste informazioni costituiscono i presupposti di uno studio di fattibilità mirato a stimare la produzione di biogas ottenibile, lo sfruttamento del suo contenuto energetico mediante valorizzazione in sistemi cogenerativi tradizionali e innovativi come le fuel cell, i ritorni economici dell'investimento e infine gli aspetti ambientali.

Tale tipologia di utenza si pone l'obiettivo di cercare una soluzione adeguata in grado di trattare gli scarti prodotti dall'azienda, che rappresentano, per essa stessa, un costo fisso per lo smaltimento nonché talvolta un problema per il reperimento di terreni per lo spandimento di del digestato nel caso di reflui zootecnici (in virtù dei limiti di legge sul massimo carico di azoto spandibile).

Il modello di calcolo prevede un format utile, in questo specifico contesto, affinché l'utente tipo possa depositare i propri dati quali consistenza aziendale, spese di gestione e manutenzione impianto ma soprattutto i propri consumi elettrici e termici che saranno la base dello studio di fattibilità dell'impianto da realizzare.

Le informazioni richieste sono riportate nella tabella seguente

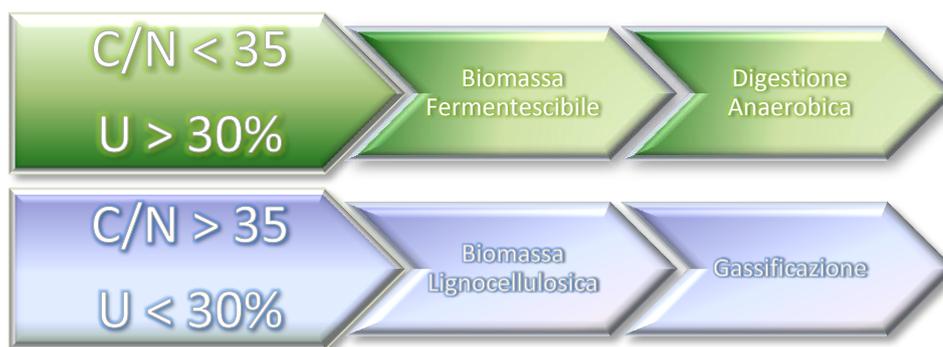
<i>info di carattere energetico</i>		
Consumo elettrico medio annuo	(kWhel)	
Consumo termico medio annuo	(kWh _t)	
Consumo eventuale di gasolio	(m ³)	
Consumo eventuale di metano	(m ³)	
Altro...		
<i>info di carattere economico</i>		
Approvvigionamento biomasse	€/Y	
Spese smaltimento reflui	€/Y	
Spese di Gestione Attività	€/Y	
Spese di Manutenzione	€/Y	
Altro...		

In relazione al tipo di matrice di cui dispone l'azienda, si calcola la potenziale produzione di biogas, tenendo conto anche dell'eventuale possibilità di codigerire più substrati differenti:

- Per i capi zootecnici bisogna passare dal numero di capi → alla produzione delle deiezioni solide e liquide (espresse in t/y)
- Per il sottogruppo del settore civile - "Acque Reflue"- si inserisce in n° di AE, su cui il sistema elabora la produzione di fango espressa in tSS/anno
- Per l'altra matrice del settore civile (FORSU), per le matrici del settore degli scarti agricoli (Paglie, Potature, Lolla-Riso, Gusci frutta, Vinaccia, Sansa), e per le matrici del settore agroindustriale (Scarti di macellazione, altro) si inserisce direttamente la produzione in t/y
- Per il settore delle "colture energetiche" → l'utente stabilisce gli ettari che ha a disposizione da destinare alla coltivazione del miscanto (ad esempio) e in base al valore di resa in termini di tSS/ha si ottiene la quantità di SS da valorizzare.

Dopo aver stabilito la disponibilità della biomassa presso la propria azienda, si valuta l'approccio tecnologico da utilizzare (Digestione Anaerobica o Gassificazione) in relazione ai due parametri discriminanti:

- Carbonio/Azoto
- Umidità



3.3.1 CASO [A] → UTENTE UNICO - DIGESTIONE ANAEROBICA

Nel caso in cui la scelta ricada nell'ambito della tecnologia della Digestione Anaerobica, le elaborazioni successive seguiranno lo stesso percorso relativo a



- Passo 3: Produzione di Biogas
- Passo 4: Analisi Energetica
- Passo 5: Analisi ambientale

Con la sola differenza che i dati di input utilizzati dal sistema per queste elaborazioni sono forniti dall'utente stesso attraverso il format di registrazione.

Questo ha comportato un incremento della mole di lavoro dal punto di vista informatico per il trasferimento delle variabili di sessioni sia dei dati visibili che l'utente inserisce a video sia di quelli nascosti che consentono le elaborazioni numeriche nei passaggi consequenziali. Il codice di programmazione è stato progettato con apposite funzioni di controllo per evitare che inserimenti errati possano causare crash al sistema (per maggiori approfondimenti si rimanda alla documentazione tecnica che sarà fornita con il passaggio definitivo del servizio web sul server dell'ENEA)



Le motivazioni che spingono "l'utente unico" cioè il titolare di un allevamento zootecnico, di un'azienda agricola oppure di un'azienda agroindustriale possono essere varie.

La motivazione principalmente contemplata da AIDA è quella di risolvere le problematiche connesse alla produzione e successivo smaltimento di un rifiuto sul quale gravano numerosi vincoli soprattutto economici.

Sfruttare energeticamente il rifiuto prodotto, mediante idonea valorizzazione, può costituire per l'utente unico la risoluzione al costo di smaltimento ma soprattutto un'utile integrazione al reddito dell'azienda.

Per questo motivo AIDA propone una scheda da compilare a cura dell'utente nel PASSAGGIO POTENZIALE BIOMASSE dove inserire i consumi energetici elettrici e termici, le spese di gestione, operazioni e manutenzioni necessarie a condurre l'attività nonché le spese di smaltimento dei reflui prodotti dal ciclo produttivo, su cui elaborare le seguenti voci di costo:

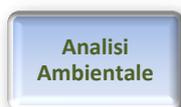
COSTI VARIABILI

Manutenzione ordinaria		€/anno
Manutenzione straordinaria		€/anno
Manutenzione CHP		€/anno
Personale		€/anno
Spese energia elettrica		€/anno
Spese energia termica		€/anno

Queste voci di spesa e di consumi energetici sono tenuti in conto nella formulazione del VAN, per cui l'utente può facilmente confrontare la sua situazione attuale (cui corrispondono i costi del non fare) a quella che si potrebbe avere realizzando un impianto di valorizzazione energetica del proprio scarto aziendale.

Infine il modello propone un'analisi di sensitività allo scopo di simulare l'andamento delle principali voci di investimento e di verificare quali sono le criticità che possono rendere l'investimento non conveniente.

Per i dettagli relativi alle costanti impostate per le elaborazioni economiche sono visualizzabili nella sessione RICERCA DATI-INFO COSTI, presente nell'home page del Servizio Web AIDA:



Per quanto riguarda la sessione dell'analisi ambientale si rimanda ai risultati riportati del report RDS/2010/177. La nuova versione di AIDA rimane fedele alle ipotesi fatte nella prima versione con l'aggiunta del calcolo delle emissioni risparmiate per il riscaldamento domestico.

3.3.2 CASO [B] → UTENTE UNICO - GASSIFICAZIONE

La tecnologia della gassificazione si presta a soluzioni differenti e più o meno efficienti in relazione alla taglia d'impianto. Ai fini della scelta tecnologica si inizia con un dimensionamento preliminare della taglia di impianto in base alla disponibilità di biomassa lignocellulosica utile all'utenza, dopodiché si stima il potenziale fornito dalla biomassa in termini energetici.

Il valore di potenza installabile (kW), ossia la taglia impiantistica, così ricavato sarà di aiuto all'utente nella scelta del gassificatore appropriato alle proprie disponibilità.

$$P(kW) = \eta \frac{m(kg) \cdot (1 - x) \cdot PCI \cdot 1000}{3600 \cdot h}$$

I valori di input considerati per tale calcolo sono stati riportati in Tabella.

L'utente ha dunque, la possibilità di consultare mediante un menù a tendina l'elenco delle aziende che commercializzano la tecnologia di gassificazione, sul territorio nazionale e successivamente per ciascuna di esse i modelli di gassificatori disponibili.

Nome azienda	Taglia impianto	Tipologia Biomassa	Consumo annuale biomassa [kg/anno]	Motore
--------------	-----------------	--------------------	------------------------------------	--------

Anche in questo caso, se nel database non c'è un modello di gassificatore che abbia al minimo la potenza installabile allora l'utente ha la possibilità di tornare indietro al passaggio del POTENZIALE BIOMASSE e incrementare la consistenza dell'impianto mediante l'apposita funzione di AGGIUNGI MATRICE, in caso contrario l'utente può selezionare il modello desiderato e visualizzare di quest'ultimo la scheda tecnica.

TECNOLOGIA		
AGENTE DI GASSIFICAZIONE		
TIPOLOGIA BIOMASSA		
UMIDITA'		%
PEZZATURA		cm
CONSUMO SPECIFICO DI BIOMASSA		Kg/kW _{he}
PRODUTTIVITA' SYNGAS		Nm ³ /kg
MOTORE INSTALLATO	Modello	Nome azienda



Dopo aver preso visione della tecnologia, delle specifiche impiantistiche, delle biomasse accettabili e della sezione energetica, l'utente accede nella schermata successiva alle informazioni di riepilogo delle caratteristiche chimico fisiche della biomassa da trattare e della stima della potenziale produzione di syngas.

%ST		%
%SV		%
PCI		MW _{ht}
%CH ₄		%
%H ₂		%
Produzione syngas		Nm ³ /y


**Analisi
Energetica**

Proseguendo le elaborazioni, nella sezione dedicata all'analisi energetica si fornisce all'utente uno strumento utile a effettuare diversi scenari impiantistici al variare del modulo cogenerativo scelto. E' infatti possibile, analogamente a quanto avviene per la digestione anaerobica, scegliere mediante menù a tendina sia tra diverse tecnologie di cogenerazione quali: motore a combustione interna, turbine a gas, celle a combustibile a carbonati fusi (MCFC), e celle a combustibile a ossidi solidi (SOFC); che all'interno di esse scegliere tra diverse case costruttrici. Il sottomodello implementato permette di individuare il giusto dimensionamento dei moduli cogenerativi in relazione alla disponibilità del syngas producibile. I valori in output sono relativi ai consumi di combustibile, alla produzione di energia elettrica e termica, dei consumi dell'impianto e delle utenze alimentabili.

TECNOLOGIA			
CONSUMO ORARIO DI BIOMASSA			Kg/h
CONSUMO ANNUO DI BIOMASSA			Kg/y
ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA			kW _{he}
ENERGIA TERMICA PRODOTTA			kW _{ht}
AUTOCONSUMO ELETTRICO			kW _{he}
AUTOCONSUMO TERMICO			kW _{ht}
UTENZE ELETTRICHE SERVITE			
UTENZE ELETTRICHE SERVITE			


**Analisi
Economica**

Cliccando sul tasto PASSAGGIO SUCCESSIVO si va nella sezione ANALISI ECONOMICA in cui si forniscono i principali output economici usufruendo dell'incentivazione statale. In AIDA gli output economici relativi alle voci di costo di investimento del gassificatore sono correlati alle informazioni inserite nel database delle aziende di gassificazione, mentre le elaborazioni economiche come detto sopra, tengono conto nella formulazione dei flussi di cassa e quindi

del VAN delle spese di gestione e di manutenzione affrontate dall'azienda e inserite dall'utente.

I dettagli sulle costanti impostate per le elaborazioni economiche sono visualizzabili nella sessione RICERCA DATI-INFO COSTI, presente nell'home page.



Per quanto riguarda la sessione dell'analisi ambientale si rimanda ai risultati riportati del report RDS/2010/177. La nuova versione di AIDA rimane fedele alle ipotesi fatte nella prima versione con l'aggiunta del calcolo delle emissioni risparmiate per il riscaldamento domestico.

Capitolo 4

4.1 STATO DELL'ARTE DELLA TECNOLOGIA

Il capitolo si pone nell'ottica di documentare la base teorica di supporto delle tecnologie proposte nel servizio web A.I.D.A, di fornire gli aspetti di dettaglio utilizzati per strutturare la piattaforma, fornendo anche indicazioni sulle scelte impiantistiche di una dotazione standard di un impianto di conversione energetica delle biomasse.

4.1.1 TECNOLOGIA DELLA DIGESTIONE ANAEROBICA

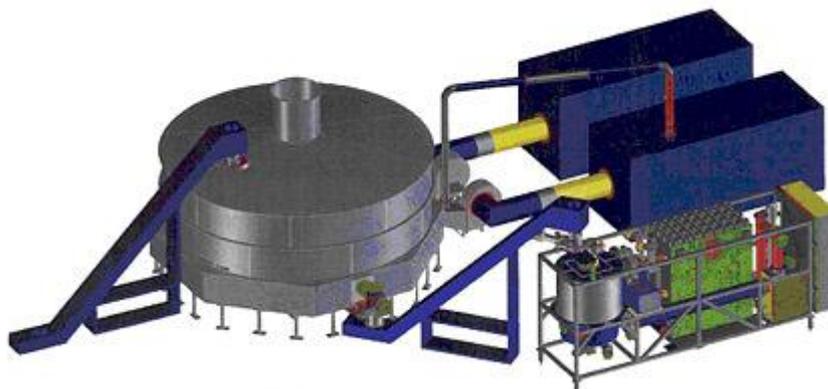
Per gli aspetti tecnologici, gli utilizzatori energetici e i campi di applicazione della digestione anaerobica, si rimanda alla sezione di approfondimento del report RDS/2010/177.

4.1.2 TECNOLOGIA DELLA GASSIFICAZIONE

Il processo di gassificazione, permette di ottenere a partire da biomasse organiche e mediante una combustione a basso contenuto di ossigeno un prodotto intermedio, il syngas, da utilizzarsi all'interno di un motore endotermico a ciclo diesel per la produzione di energia elettrica e calore o tal quale come combustibile per usi diversi.

La fornitura standard di un impianto di gassificazione si compone del gassificatore, di un essiccatoio con funzione di tramoggia di carico, di gruppi elettrogeni, dei relativi cablaggi e del sistema di controllo e gestione dell'impianto. Accessori opzionali completano la fornitura al fine di rendere l'intero sistema automatizzato.

Un impianto di gassificazione impiega come fonte energetica biomassa vegetale proveniente direttamente o in qualità di sottoprodotti da coltivazioni erbacee (sorgo da fibra, mais, paglie di cereali o altri residui della coltivazione intensiva tradizionale, opportunamente trinciati) e arboree (pioppo o altre specie da short rotation forestry, residui e scarti derivanti dalla potatura e dalla manutenzione del bosco). Altre matrici quali i reflui dell'allevamento zootecnico, i fanghi prodotti dai processi di depurazione delle acque reflue urbane e industriali, i sottoprodotti dell'industria agroalimentare, la frazione organica dei rifiuti solidi urbani e le plastiche risultano idonee all'impiego.

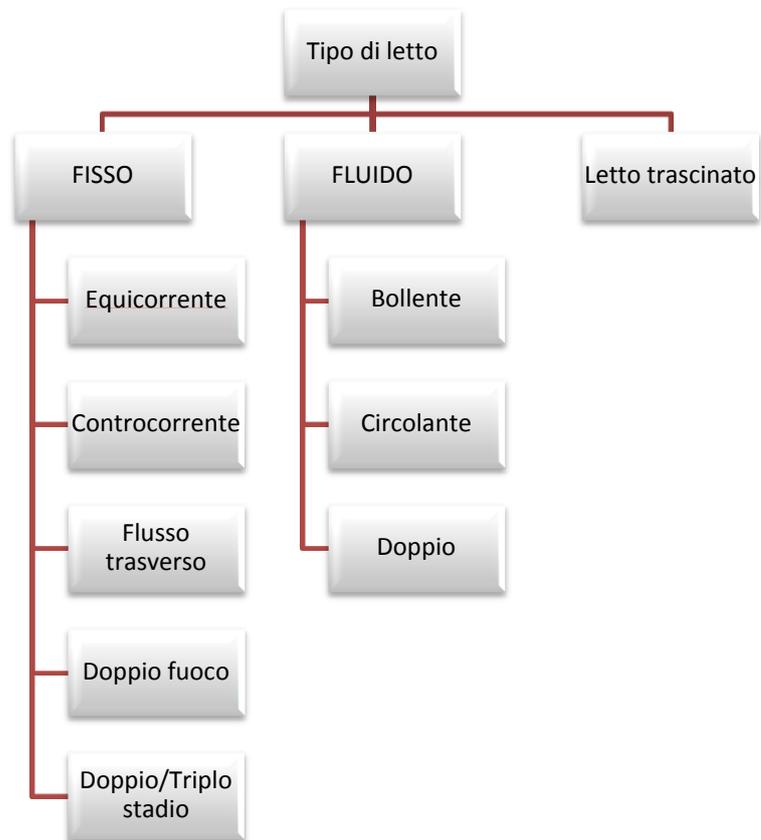


Schema Layout 3D relativo ad un impianto di gassificazione

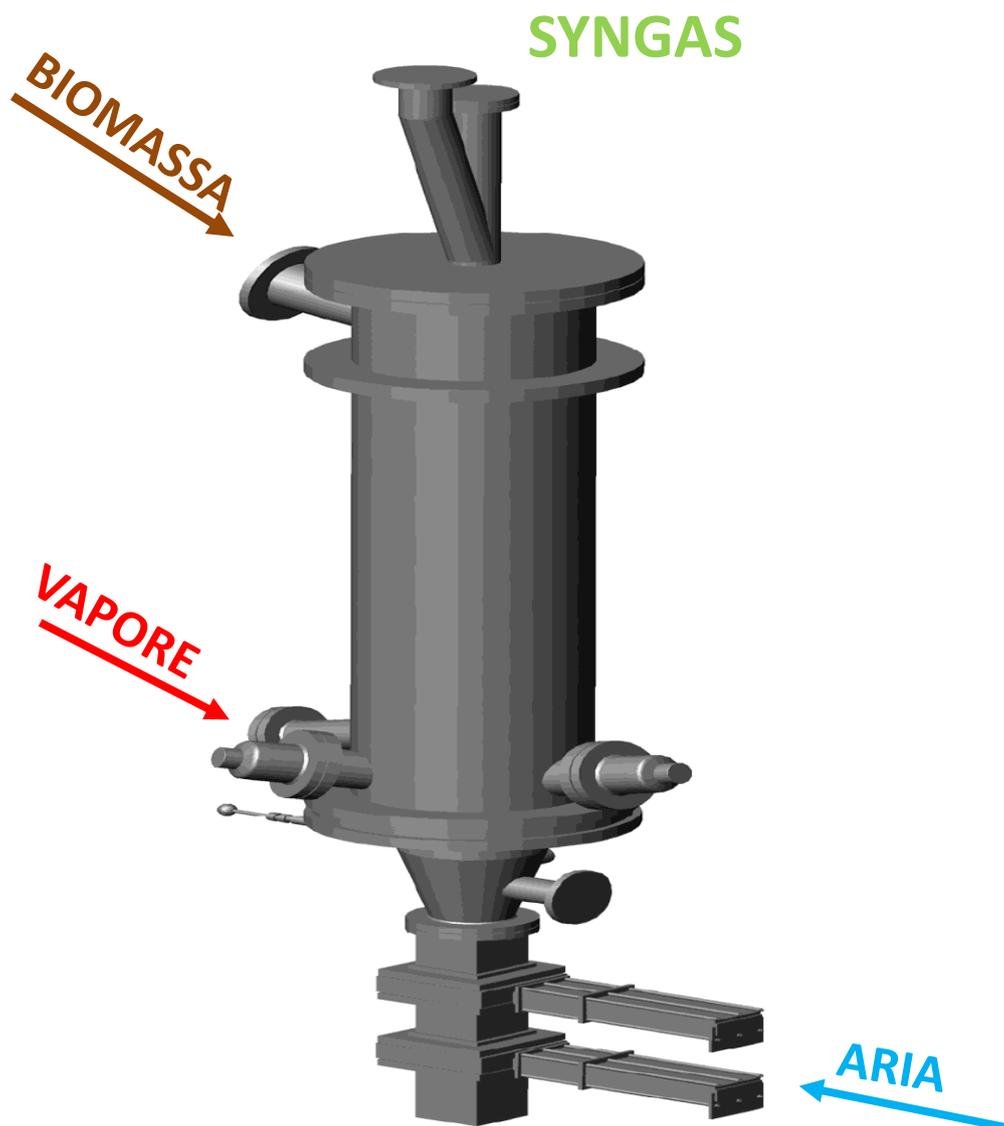
Il modulo di gassificazione è costituito da due sezioni principali: il reattore di gassificazione e il sistema di filtrazione del syngas.

All'interno del reattore di gassificazione si determinano, in successione e in un gradiente termico assai elevato, le reazioni di pirolisi, di ossidazione/combustione e di riduzione (o di gassificazione vera e propria) sopra descritte, che portano alla formazione di syngas.

Attualmente esistono diversi tipi di gassificatori, la classificazione più comune è effettuata in base al tipo di reattore:



Gassificatori a letto fisso controcorrente (Updraft)



L'ossidante sale mentre il combustibile scende verso il basso. La biomassa è dapprima essiccata ad opera del gas di sintesi caldo ascendente, dopodiché il combustibile solido è pirolizzato e produce un char che continua il suo moto verso la parte bassa del reattore per essere gassificato; i vapori di pirolisi sono trascinati verso l'alto dal gas di sintesi. In questo modo, il catrame (tar) contenuto nei suddetti vapori può essere condensato quando entra in contatto con il combustibile solido discendente a bassa temperatura, oppure trascinato verso l'alto insieme al gas caldo di sintesi, conferendo a questo un contenuto tipicamente alto di tar. La frazione di tar condensata viene riciclata verso le zone di reazione, dove subisce il processo di cracking dando luogo a gas combustibile e char. Nella parte bassa del reattore

(zona di gassificazione) il char solido da pirolisi ed i prodotti del cracking sono parzialmente ossidati dall'aria (od ossigeno) ascendente. Può anche iniettato vapore se si vuole aumentare il contenuto di idrogeno del gas di sintesi. Da quanto detto è ovvio che il gas combustibile prodotto da questo tipo di gassificatori contiene una frazione relativamente alta di tars e idrocarburi, che gli conferiscono un elevato potere calorifico. Evidentemente però il gas deve anche essere sottoposto ad un rilevante processo di pulizia qualora debba essere utilizzato all'interno di propulsori a combustione interna. I vantaggi principali dei gassificatori updraft sono la relativa semplicità costruttiva e l'alta efficienza termica, essendo il calore sensibile del gas di sintesi direttamente recuperato per l'essiccazione e la pirolisi della biomassa prima che questa entri nella zona di gassificazione. Le applicazioni tipiche sono le piccole taglie (1-5 MW elettrici).

Gassificatori a letto fisso equicorrente (Downdraft)

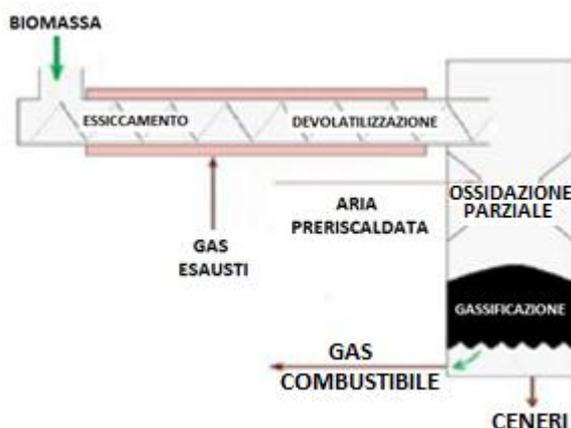
Sia l'ossidante che il combustibile scendono verso la parte bassa del gassificatore attraverso



un letto di solidi a pacco, supportati da una strizione del reattore detta gola, dove avviene la maggior parte delle reazioni di gassificazione. I tempi di residenza tipici di questo reattore sono nell'ordine delle ore, mentre le velocità di riscaldamento nell'ordine di alcuni °C/s. I prodotti della gassificazione sono intimamente miscelati in questa zona, tipicamente turbolenta e ad alta temperatura. E' quindi qui favorito il cracking del tar, processo che è completato insieme alle reazioni di gassificazione. Questo tipo di reattore consente alte conversioni dei prodotti di pirolisi e quindi un basso contenuto di tar nel gas combustibile di sintesi. La particolare configurazione di questo reattore consente di minimizzare la percentuale di tar nel gas prodotto: infatti forzando i prodotti di pirolisi a passare nella zona di combustione parziale si favorisce il cracking termico dei tar promuovendone la decomposizione in prodotti più leggeri. I gassificatori di questo tipo sono relativamente semplici e attualmente molto impiegati, quindi è disponibile anche una documentazione relativamente ampia sul loro funzionamento, conferendo loro un buon grado di affidabilità. Si adattano bene a combustibili con umidità relativamente bassa (minore del 30%) e di pezzatura compresa tra 1 e 30 cm (è ammessa una percentuale assai modesta di pezzi al di fuori di questo campo). A causa del basso contenuto di tars nel gas di sintesi, si prestano bene ad essere usati per la produzione di energia elettrica di piccola taglia con motori a combustione interna. Le limitazioni poste alla pezzatura del combustibile di alimento implicano un limite superiore alla portata di biomassa intorno ai 1000 kg/h e quindi alla potenza elettrica installata di circa 1 MW. E' oggi la tecnologia più largamente usata per impianti di piccola taglia. La biomassa è apportata in continuo da un serbatoio posto alla sommità, in modo tale da mantenere il livello del letto entro certi valori. Il gas prodotto è estratto dal basso sotto una griglia, attraverso un estraattore mosso da un motore alimentato dal gas stesso. A causa della continua rimozione del gas, l'aria è aspirata dentro il letto. Nella figura è riportato un unico condotto dell'aria centralmente, ma sono comuni molteplici aperture subito sopra la gola. Nell'intorno dell'ingresso dell'aria avviene una combustione parziale esotermica, con temperatura compresa tra i 1000 ed i 1300°C, che crea uno strato di carbone sotto l'entrata dell'aria. Il calore prodotto nella zona di combustione è usato per asciugare la biomassa nella zona sopra l'alimentazione dell'aria e per fare avvenire le reazioni endotermiche della gassificazione. Più la biomassa è umida, maggiori sono le perdite di calore, quindi ne resta meno per il processo e si ha un gas con minore contenuto energetico. Sopra l'entrata dell'aria la biomassa comincia a subire una pirolisi; a causa della presenza della gola si instaura una

circolazione turbolenta e quindi i gas della pirolisi vengono mescolati con i gas caldi della zona dell'ossidazione.

Gassificatore a due stadi

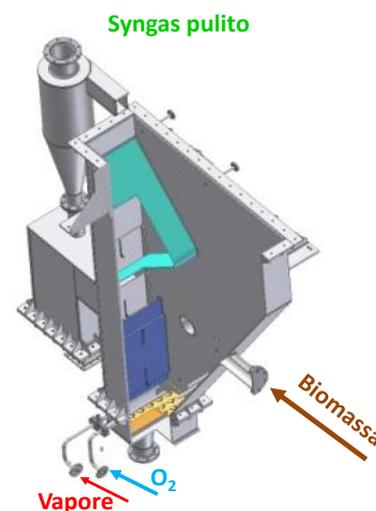


E' una tecnologia più complessa e, quindi, costosa, ancora in fase di sviluppo e dimostrazione. La caratteristica principale è che i processi di pirolisi e gassificazione avvengono in due reattori separati, in questo modo la fase di gassificazione raggiunge efficienze molto elevate (>90%). Rispetto ad altre tecnologie presenta una discreta flessibilità riguardo la tipologia e le condizioni

del combustibile, in particolare ha una buona tolleranza rispetto al contenuto di umidità ($\leq 45\%$). Il syngas prodotto è sostanzialmente privo di tar ($< 10\text{mg}/\text{Nm}^3$), anche il contenuto di polveri è basso. Si presta per le sue caratteristiche alla produzione di elettricità.

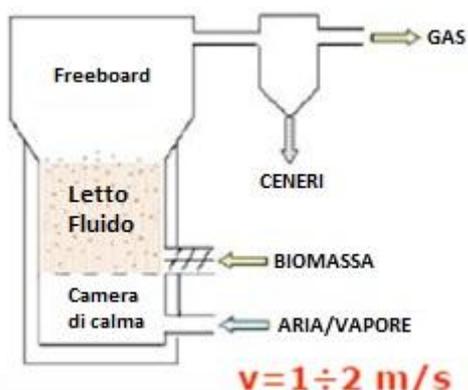
A letto fluido

Possono utilizzare combustibili dalle dimensioni variabili; questi combustibili sono sospesi tramite la d'aria saliente. Oltre al combustibile c'è spesso anche percentuale di materiale inerte (ad esempio sabbia) atta a il trasferimento di calore tra le particelle del combustibili (uniformizzazione termica). I vantaggi principali di tecnologia sono legati all'eccellente miscelazione delle solide-gas e alle conseguenti alte velocità di reazione. Il contenuto di tar nei gas prodotti da tale tecnologia è intermedio tra dei downdraft e quello degli updraft a letto fisso. La fluidizzazione del letto dovuta alla sinterizzazione del materiale più comunemente incontrati nei gassificatori a letto fluido, le caratteristiche termiche delle ceneri. Le perdite di char trascinato via insieme alle ceneri



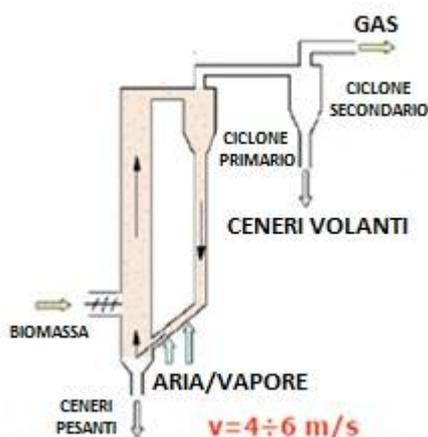
possono essere talvolta significative sconsigliando in genere l'utilizzo di questi reattori per piccole taglie. Generalmente questi gassificatori sono molto versatili riguardo al tipo di biomassa utilizzata. I pregi del letto fluido rispetto al letto fisso sono gli alti coefficienti di scambio termico, le alte velocità di diffusione e di reazione tra fasi eterogenee gas-solido e l'uniformità di temperatura; per contro è richiesta una pezzatura molto fine del combustibile ed una onerosa pulizia del syngas dall'abbondante particolato. Esistono sostanzialmente due tipologie di gassificatori a letto fluido: quello a letto bollente o a bolle (BFB-Bubbling Fluidized Bed) e quello a letto circolante (CFB-Circulating Fluidized Bed). Il passaggio tra queste due tecnologie si realizza progressivamente all'aumentare della velocità di fluidizzazione e con l'aumento della dimensione verticale del letto.

Gassificatore a letto fluido bollente



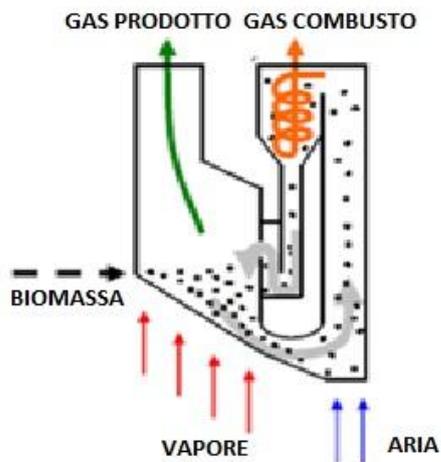
L'intimo contatto tra combustibile e particelle solide fluidizzate ad alta temperatura favorisce lo scambio termico ed accelera le reazioni con conseguente aumento della capacità specifica; la maggiore complessità costruttiva ed operativa ne limita l'utilizzo a capacità medio-elevate (2÷50 MW termici) per generazione elettrica o co-combustione. Il materiale del letto è in genere sabbia silicea: è possibile aggiungere catalizzatori, per limitare la formazione dei tar o variare la composizione del gas che in genere ha un medio contenuto di polveri e tar (5÷20 g/Nm³). Ha un'elevata tolleranza verso tipologia, pezzatura (1÷100 mm) e contenuto di ceneri ed umidità del combustibile: le uniche restrizioni derivano dalle dimensioni troppo piccole o le ceneri basso fondenti.

Gassificatore a letto fluido circolante



Il gassificatore presenta un maggiore sviluppo in senso verticale e l'incremento della velocità di fluidizzazione $v = 4 \div 6 \text{ m/s}$ è tale da determinare il trascinamento e ricircolo del letto tramite apposito ciclone. La maggiore turbolenza determina una più alta capacità specifica nei confronti del letto fluido bollente. Richiede un combustibile di dimensioni tendenzialmente più piccole (< 50 mm) e il ricircolo del char consente di ottenere un'efficienza di processo più elevata rispetto al letto fluido bollente. E' una tecnologia adatta ad installazioni di elevata capacità (10÷200 MW termici) e trova applicazione a livello commerciale soprattutto per la co-combustione offrendo una maggiore flessibilità operativa e semplicità di controllo.

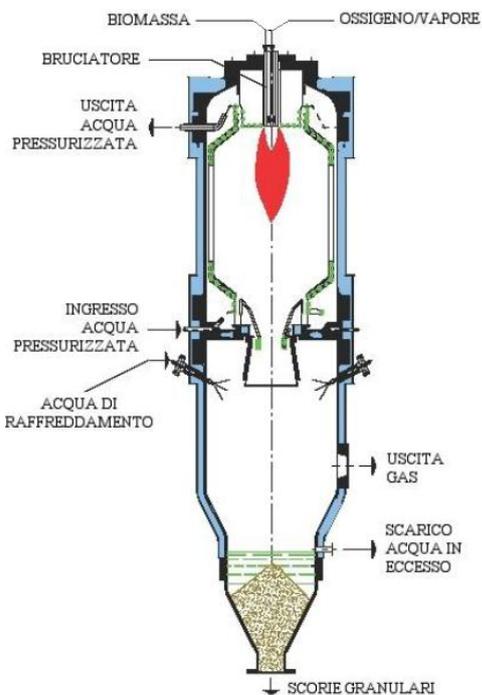
Gassificatore a doppio letto fluido



È una tecnologia di gassificazione indiretta, abbinata all'utilizzo di vapore come agente gassificante, il gas prodotto è praticamente privo di azoto ed ha un'alta frazione di idrogeno (> 40% vol.), il contenuto di tar è modesto (< 10 g/Nm³).

L'efficienza del processo è buona grazie allo sfruttamento nel combustore del carbonio non gassificato, trova già utilizzo commerciale per la cogenerazione in impianti di media capacità (5÷30 MW termici), ma offre interessanti prospettive per applicazioni avanzate (bio-combustibili, celle a combustibile). L'impianto è più complesso per la presenza di due linee di gas in uscita: combustibile ed esausto, e l'ottimizzazione della circolazione del materiale del letto è un fattore critico.

Gassificatore a letto trascinato



Il processo è caratterizzato da un'elevata temperatura (> 1200 °C) legata all'utilizzo di ossigeno (ed eventualmente vapore) come agente di gassificazione, richiede dimensioni molto ridotte (<1 mm) per il combustibile

Il reattore è generalmente pressurizzato, modalità operativa più semplice da realizzare per questo tipo di processo ciò consente di ottenere un gas di alta qualità con una concentrazione di tar molto bassa ed un ridotto contenuto di idrocarburi leggeri (metano). L'efficienza di conversione è elevata (~80%).

Si dimostra una tecnologia affidabile e consolidata,

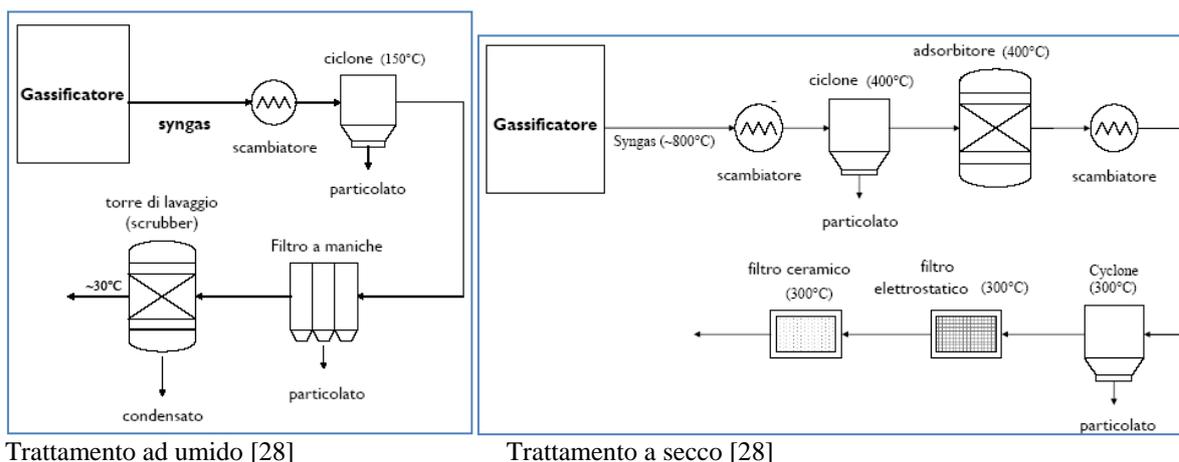
ma presenta alti costi di investimento ed operativi giustificabili solo per installazioni di grossa capacità.

E' attualmente utilizzata su scala commerciale per la gassificazione del carbone e, a livello sperimentale, per rifiuti e biomasse (produzione di biocombustibili liquidi).

Il gas prodotto presenta composizioni differenti in funzione sia della tecnologia utilizzata per la sua produzione, che per la differente corrente gassificante utilizzata (aria, ossigeno, vapore). I principali composti contenuti nel gas di sintesi sono: CO, CO₂, H₂, CH₄ e N₂ (se viene utilizzata aria). Oltre a questi composti, sono presenti anche numerose sostanze inquinanti. Il loro contenuto deve essere necessariamente ridotto sia per motivi ambientali sia per evitare di influenzare o danneggiare i successivi processi a cui è sottoposto il gas. Tra i principali contaminanti si ricordano:

- composti solforati: H₂S, COS e SO₂;
- composti azotati: NO_x;
- composti clorati:
- HCl ed altri;
- composti volatili condensabili (TAR);
- metalli pesanti;
- alcali e polveri.

Il sistema di filtrazione permette di depolverare, raffreddare e purificare il syngas in modo estremamente efficiente al fine di renderlo idoneo all'utilizzo interno di un motore endotermico a ciclo diesel. Esistono fondamentalmente due tipologie di gascleanig: ad umido grazie ad una torre di lavaggio e a secco grazie alla filtrazione elettrostatica; entrambi in grado di garantire la completa eliminazione degli inquinanti.



Il processo di gassificazione comporta produzione di carbonella vegetale pari al 5-10% in peso della biomassa secca in ingresso, ciò in funzione della tipologia e della pezzatura della stessa e della quantità di inerte.

La biomassa destinata all'alimentazione del gassificatore, se contenente umidità in eccesso, necessita di essere sottoposta a processo di essiccazione al fine di ottimizzare il processo di combustione.

Il condizionamento può essere effettuato anche all'interno di una tramoggia di carico, ovvero di un serbatoio dedicato al carico del gassificatore di forma cilindrica, al fine di minimizzare gli spazi occupati, utilizzando il calore dei fumi prodotti dal motore endotermico alimentato dal syngas.

Il generatore utilizzato per la produzione di energia elettrica e termica è solitamente un motore endotermico alternativo. I motori devono essere opportunamente modificati per poter lavorare con il gas prodotto dalla gassificazione delle biomasse. Le prestazioni del generatore dipendono dalle modifiche effettuate e dalle caratteristiche del gas combustibile. La durata e il fabbisogno di manutenzione del generatore dipendono fortemente dalla qualità del gas prodotto.

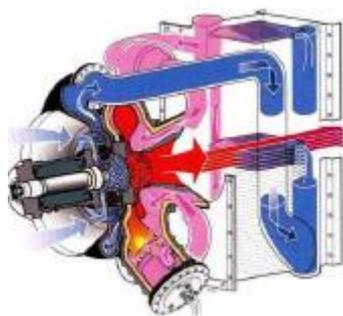
Il **motore a combustione interna** può essere utilizzato con aria/syngas nel seguente modo: la miscela aria/syngas, costituita in un apposito miscelatore, è introdotta nel cilindro mediante il normale sistema di aspirazione del motore; al termine della fase di compressione del pistone, viene iniettata una piccola quantità di gasolio (inferiore al 5% in rapporto all'energia elettrica

prodotta) nella camera di combustione, che per effetto della temperatura e della pressione presenti nel cilindro, accende la miscela. I motori sono rigidamente collegati ai generatori di corrente, che permettono di produrre energia elettrica.

Particolato	< 50 mg/Nm ³
Dimensioni particelle	< 10µm
Tar	< 50 mg/Nm ³
PCI	~ 4 MJ/Nm ³

Requisiti del gas per l'utilizzo in motori alternativi [27]

Le **micro turbine a gas** sono una tecnologia oramai molto diffusa a livello commerciale, per i noti vantaggi rispetto ai motori alternativi (alta densità di potenza, bassissime emissioni, ridotte parti in movimento); tuttavia la loro applicazione con gas a basso potere calorifico, come quello prodotto dalla gassificazione ad aria, richiede ancora esperienza e modifiche alla tecnologia. Ovviamente il gas prodotto deve essere in pressione. Inoltre, in generale, ne è richiesta una pulizia molto più spinta.



PCI	> 6 MJ/Nm ³
H ₂	10÷30% vol
Tar	solo in forma vapore
Particolato	
• > 20 µm	< 0,1 ppm
• 10÷20 µm	< 1 ppm
• 4÷10 µm	< 10 ppm
HCl	< 0,5 ppm
Metalli alcalini + solfuri	< 0,1 ppm
Metalli totali	< 1 ppm

Requisiti del gas per l'utilizzo in turbina [27]

La **cella a combustibile (MCFC, SOFC)** è una tecnologia non ancora diffusa a livello commerciale. La sua applicazione con gas a basso potere calorifico richiede ancora ricerca e sviluppo. In particolare sono da definire il grado di pulizia del gas, le prestazioni della cella, i costi economici ed energetici legati agli ausiliari. A seconda del tipo cella può essere infatti richiesta la compressione del gas e comunque è necessario un utilizzo ad alta temperatura dello stesso.

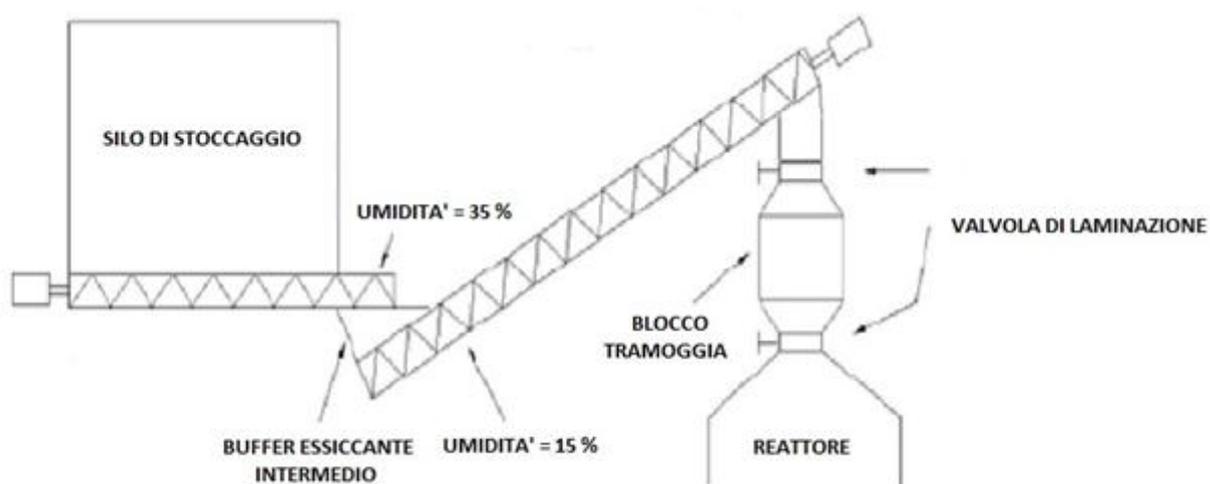


H ₂ S / HCl / HCN	< 0,1 ppm (per ciascuna sostanza)
NH ₃	< 1% vol
Tar	< 2000 ppm
Particle (d>1μm)	< 10 ppm

Tolleranza di una MCFC ad alcuni contaminanti

Il **motore esotermico Stirling** è una tecnologia diffusa solo a livello di prototipo o impianto pilota. Allo stato attuale di sviluppo è utilizzabile per impianti di gassificazione di piccola taglia (da qualche decina fino a circa 100 kW); l'assenza di una produzione commerciale e la ridotta scala rendono i costi unitari piuttosto elevati, se comparati a quelli dei motori endotermici. La tecnologia trova interesse economico in presenza di un'adeguata domanda di energia termica essendo il rapporto tra elettricità e calore prodotti circa 1 a 4, con un'efficienza elettrica di poco superiore al 15%. La combustione esterna non richiede particolari requisiti di qualità del gas prodotto ed è possibile abbinare il motore alla tecnologia di gassificazione più semplice ed economica (letto fisso updraft).

La movimentazione della biomassa attraverso i diversi apparati nel ciclo di caricamento nel gassificatore è garantita mediante il ricorso a nastri trasporti piani e inclinati, costituiti da sistemi a tappeto chiusi.



Applicazioni

- Produzione di gas per usi termici
- Co-combustione del gas con un combustibile fossile (in genere carbone, ma anche olio o gas naturale) in grosse centrali termo-elettriche
- Co-gassificazione con carbone o altri combustibili "critici" dal punto di vista ambientale (CDR, pet-coke, etc.) in centrali termo-elettriche di media potenza
- Produzione di energia elettrica, in genere combinata con quella di calore
- Produzione di bio-combustibili liquidi o gassosi di alta qualità (FT-diesel, SNG, Bio-DME, Bio-metanolo, Bio-idrogeno) attraverso processi di sintesi

Diversamente da quanto avviene per lo studio di fattibilità condotto per impianti a biogas tramite un modello decisionale impostato, lo studio di fattibilità implementato per la gassificazione muove su altri presupposti, e cioè tramite l'interazione di web database.

Prima di giungere a tale soluzione, è stato necessario un attento studio per individuare le variabili fondamentali in gioco e per universalizzare il sistema in funzione delle diverse esigenze.

Come visto, le variabili in un processo di gassificazione sono molteplici e sinteticamente schematizzabili nelle seguenti:

- composizione chimica e proprietà fisiche del combustibile (pezzatura, contenuto di umidità)
- agente gassificante (tipo, temperatura di ingresso al reattore e velocità del flusso)
- temperatura (o meglio profilo di temperatura) del reattore
- pressione di esercizio
- rapporto di equivalenza (per la gassificazione ad aria od ossigeno)
- rapporto vapore/combustibile (per la gassificazione a vapore)
- rapporto di gassificazione (per la gassificazione ad aria o ossigeno e vapore)
- tempo di permanenza del combustibile nel reattore
- eventuale uso di catalizzatori e relativa composizione e dimensioni
- tipologia di reattore di gassificazione

La difficoltà di poter ricreare tutte queste variabili in un modello matematico è stata la motivazione che ha portato AIDA ad operare mediante web database in cui sono state inserite le informazioni inerenti parametri operativi di funzionamento e di resa energetica del gassificatore, che consentono di poter elaborare studi di prefattibilità in base alla disponibilità del territorio ma soprattutto con il vantaggio di poterli continuamente aggiornare con il progresso tecnologico.

4.2 STATO DELL'ARTE DEGLI IMPIANTI

4.2.1 IMPIANTI A BIOGAS

La fotografia più aggiornata della realtà italiana nel settore delle biomasse, intendendo per queste l'intero panorama degli scarti lignocellulosici, degli olii vegetali, e del biogas, è quella scattata con la 2° edizione del **Biomass Energy Report**, la pubblicazione annuale dell'Energy & Strategy Group della School of Management del Politecnico di Milano.



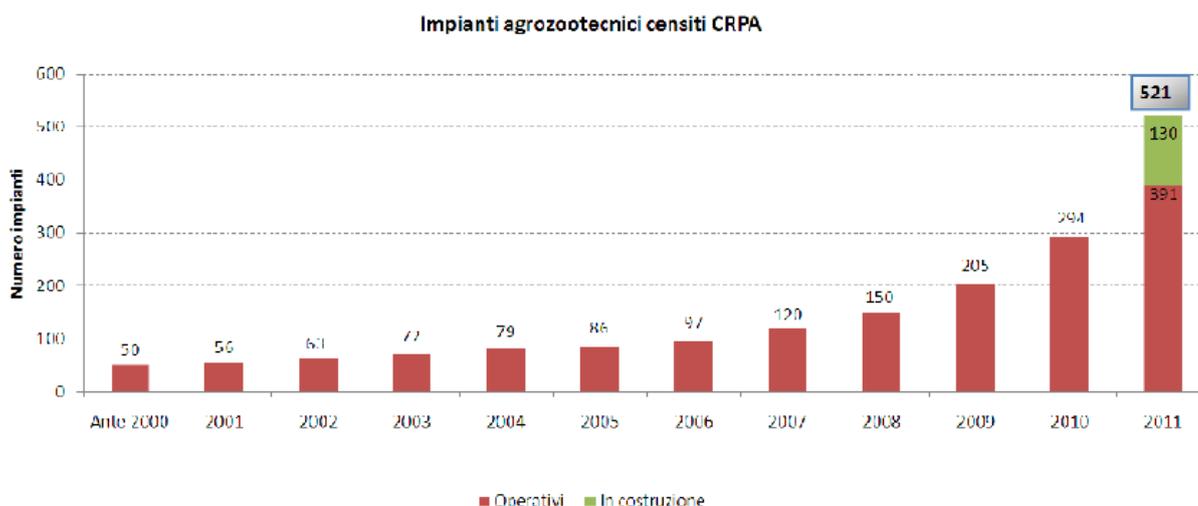
Settore in forte espansione è quello del biogas. A inizio 2011 più di 500 impianti per una potenza di oltre 550 MWe e una produzione annua di circa 2,9 TWh, che ci pone al 3° posto in Europa dopo la Germania (12 TWh) e il Regno Unito (con oltre 7 TWh, che però costituiscono il 31% del totale di produzione di elettricità da fonti rinnovabili) [24].

A rafforzare questi dati il censimento degli impianti biogas agro-zootecnici del CRPA (05/2011) [25] in cui sono stati identificati 521 impianti, di cui 130 sono in costruzione.

- Circa il 58% opera in co-digestione di effluenti zootecnici con colture energetiche (mais, sorgo...) e residui dell'agroindustria;
- Quasi tutti gli impianti sono localizzati nelle regioni del nord Italia
- Circa 350 MWe installati, di cui:

Lombardia: 210 impianti - 156 MWe (49 in costruzione)

Lodi: 27 impianti - 21 MWe (8 in costruzione)



La potenza installata in Italia nel corso del 2010 è cresciuta del 20% rispetto all'anno precedente e il numero degli impianti del 13%.

Il volume d'affari è stimabile in oltre 900 milioni di euro: +60% rispetto al 2009, crescita pressoché interamente da attribuire al biogas agricolo e zootecnico (80% dell'installato); la potenza installata in impianti da discarica è rimasta costante, un segno evidente della saturazione ormai raggiunta in questo segmento di mercato.

4.2.2 IMPIANTI A SYNGAS

Grande impulso in questi ultimi anni si sta dando anche alla gassificazione di biomassa verde, in Italia si stanno facendo sperimentazioni in merito, di seguito una schermata che riassume il numero di impianti installati in fase di progetto ed attualmente in esercizio.

Nel 2010 le **biomasse agroforestali** hanno fornito 5,6 Mtep di energia, circa il **2,9% del fabbisogno energetico** totale del Paese, +7% rispetto al 2009. La potenza complessiva installata è di 8.140 MW termici e 550 MW elettrici. Il 70% della potenza installata è riconducibile a impianti superiori al megawatt, attualmente incentivati tramite il meccanismo dei certificati verdi.

Sebbene il rendimento dei gassificatori per la produzione di energia elettrica è dell'ordine del 30-35%, valori nettamente superiori agli impianti a combustione, la maggior complessità impiantistica, unita ad alcune problematiche relative alla depurazione del syngas, relega ancora tale processo alla fase di impianti pilota.

Impianti di gassificazione e pirolisi attualmente in Italia				
Località	Stato	Sviluppo	Tecnologia	Rifiuti trattati³
Villa Santina (UD)	Inattivo	Pilota	Gassificatore statico	CDR, RPM
Sedegliano (UD)	In progettazione	Dimostrativo	Pirolisi+gassificazione	RI
Montebelluna (TV)	In progettazione	Commerciale	Torcia al plasma	Fraz. secca, CDR
Dueville (VI)	In progettazione	Commerciale	Torcia al plasma	CDR, RS
Vicenza	n.d.	Dimostrativo	Gassificatore statico	Carbone, CDR
Fornovo S.G (BG)	Operativo	Pilota	Gassificazione	PFU, CDR, RS
Cascina (PI)	In costruzione	Commerciale	Gass. a letto fluido	Biomasse
Malagrotta (RM)	In rodaggio	Sperimentale	Gassificazione	CDR
Caserta (CE)	Inattivo	Pilota	Gassificazione a letto fluido	Biomasse, scarti plastici da RD
Brindisi	In progettazione	Commerciale	Torcia al plasma	RU trattati
Rossano (CS)	Operativo	Commerciale	Gassificazione	Sanse esauste
Torregrande (OR)	Operativo	Commerciale	Pirolisi	ROS, RS
Siniscola (NU)	In progettazione	Commerciale	Torcia al plasma	RS/RI

Fonte [26]

La gassificazione delle biomasse è abbastanza matura dal punto di vista tecnologico ma per il successo commerciale occorre:

- Identificazione chiara delle biomasse utilizzabili come combustibile.
- Garanzie sulle richieste ed i costi di manutenzione e sul contratto di manutenzione fornito.
- Garanzie sul funzionamento ai carichi parziali e sull'efficacia della sezione di pulizia del gas.
- Dati precisi sui costi operativi, in particolare della sezione di pulizia del gas.

³ RU = rifiuti urbani; CDR = combustibili da rifiuti; PFU = pneumatici fuori uso; RS = rifiuti speciali; ROS = rifiuti di origine sanitaria; RI = rifiuti industriali; RPM = rifiuti di plastiche miste

- Tecnologie ben testate per il generatore e garanzie sulle richieste ed i costi di manutenzione connessi.

ALLEGATI

Note informative per Allegati [Fonte RdS/2009/177]:

[A] ELEMENTI PRODUTTIVI

[B] COGENERATORI

[C] PARAMETRI

La tabella *Elementi Produttivi* è stata elaborata sulla scorta delle informazioni raccolte nell'ambito dello studio relativo all'Atlante Italiano delle Biomasse dello studio del modello di calcolo posto a valle dello stesso. Sono state aggiunte inoltre ulteriori informazioni reperite nel corso del presente studio da fonti di letteratura. Per alcune delle matrici analizzate non si è pervenuti ad una conoscenza di tutti i parametri fisici di cui l'indagine aveva bisogno. In attesa di ulteriori approfondimenti che colmino le suddette lacune si è ricorso a parametri di default scelti in relazione a valori medi del settore di appartenenza della matrice (Agroindustriale, Residui Colturali, Civile, Zootecnico, Colture Energetiche). Queste matrici sono state evidenziate mediante le seguenti note:

¹Indica le matrici il cui valore di default è rappresentato dal rapporto Carbonio/Azoto (C/N);

²Indica le matrici il cui valore di default è rappresentato dalla densità;

³Indica le matrici il cui valore di default è rappresentato dal contenuto di azoto totale (NTK);

*La specifica "Letame-Liquame" (Tabella 1.1) è indicativa esclusivamente per le matrici appartenenti al settore zootecnico; per le restanti categorie si fa riferimento ai valori indicati nella colonna con *

La tabella *Cogeneratori* è stata anch'essa elaborata sulla scorta delle indagini relative al primo anno del progetto CERSE ed è stata ampliata sulla base di indagini di mercato presso aziende costruttrici di motori.

La tabella *Parametri* è frutto di elaborazioni sviluppate nel corso del presente studio e sono basate su un'attenta indagine dei dati di letteratura. Le specifiche fonti sono citate nella documentazione in corrispondenza della sessione relativa alla descrizione delle fasi di studio.

Allegato [A] 1- ELEMENTI PRODUTTIVI

IDElemProd numero identificativo	NomeElemento Tipo di substrato	TipoElemento ORIGINE	STS Solidi Totali (Letame)* %	SVS Solidi Volatili (Letame)* %	STL Solidi Totali (Liquame) %	SVL Solidi Totali (Liquame) %	CNS Carbonio/Azoto (Letame)* Scalare	CNL Carbonio/Azoto (Liquame) Scalare
1	Bovino 0-12 mesi	ZOOTECNICO BOVINO	18	75	8,5	76,5	30	25
2	Bovino 12-24 mesi	ZOOTECNICO BOVINO	18	75	8,5	76,5	30	25
3	Bovino oltre 24 mesi	ZOOTECNICO BOVINO	18	75	8,5	76,5	30	25
4	Bufalino 0-12 mesi	ZOOTECNICO BUFALINO	18	75	8,5	76,5	30	25
5	Bufalino 12-24 mesi	ZOOTECNICO BUFALINO	18	75	8,5	76,5	30	25
6	Bufalino oltre 24 mesi	ZOOTECNICO BUFALINO	18	75	8,5	76,5	30	25
7	Scrofa	ZOOTECNICO SUINO	22,5	82,5	6,1	78	20	20
8	Grasso	ZOOTECNICO SUINO	22,5	82,5	6,1	78	20	20
9	Scrofetta	ZOOTECNICO SUINO	22,5	82,5	6,1	78	20	20
10	Verro	ZOOTECNICO SUINO	22,5	82,5	6,1	78	20	20
11	Lattonzolo	ZOOTECNICO SUINO	22,5	82,5	6,1	78	20	20
12	Cinghiale	ZOOTECNICO SUINO	22,5	82,5	6,1	78	20	20
13	Magroncello	ZOOTECNICO SUINO	22,5	82,5	6,1	78	20	20
14	Magrone	ZOOTECNICO SUINO	22,5	82,5	6,1	78	20	20
15	Pollo da carne	ZOOTECNICO AVICOLO	32,3	75	19	76	15	15
16	Gallina ovaioia	ZOOTECNICO AVICOLO	32,3	75	19	76	15	15
21	Tacchino da carne	ZOOTECNICO AVICOLO	32,3	75	19	76	15	15
23	Coniglio	ZOOTECNICO OVI-CAPRINO	27,5	80	≈	≈	22	≈
24	Ovino	ZOOTECNICO OVI-CAPRINO	27,5	80	≈	≈	22	≈
25	Caprino	ZOOTECNICO OVI-CAPRINO	27,5	80	≈	≈	22	≈
26	Insilato d'erba	COLTURE ENERGETICHE	54	82,5	≈	≈	12	≈
27	Fieno ³	RESIDUI COLTURALI	89,5	88	≈	≈	19	≈
28	Trifoglio	COLTURE ENERGETICHE	20	80	≈	≈	27	≈
29	Paglia ³	RESIDUI COLTURALI	87,5	87	≈	≈	100	≈
30	Stocchi di mais	RESIDUI COLTURALI	86	72	≈	≈	12	≈

Tabella 12.1 – Tabella degli Elementi Produttivi: Caratteristiche Fisiche e Rese in Biogas

IDElemProd numero identificativo	DS	DL	ResaBiogasLet	ResaBiogasLiq	PercMetano	ProdDeiezSolide	ProdDeiezLiquide	NTK
	Densità (Letame)* t/m ³	Densità (Liquame) t/m ³	Resa Biogas (Letame)* Nm ³ /tSV _{let}	Resa Biogas (Liquame) Nm ³ /tSV _{liq}	% CH ₄ %	Produzione Letame t/capo anno	Produzione Liquame m ³ /capo anno	Azoto Totale %N su ST
1	0,65	1,05	250	230	65	0,48	3,87	5
2	0,65	1,05	250	230	65	1,2	9,93	5
3	0,65	1,05	250	230	65	2,49	19,45	5
4	0,65	1,05	250	230	65	0,81	6,13	5
5	0,65	1,05	250	230	65	0,81	6,13	5
6	0,65	1,05	250	230	65	2,49	19,45	5
7	0,65	1,05	450	355	65	0,31	7,3	8
8	0,65	1,05	450	355	65	0,2	5,02	8
9	0,65	1,05	450	355	65	0,2	5,02	8
10	0,65	1,05	450	355	65	0,31	4,67	8
11	0,65	1,05	450	355	65	0,04	0,15	8
12	0,65	1,05	450	355	65	0,31	4,67	8
13	0,65	1,05	450	355	65	0,05	0,96	8
14	0,65	1,05	450	355	65	0,2	5,02	8
15	0,65	1,05	400	300	65	0,02	0,02	5
16	0,65	1,05	400	300	65	0,039	0,039	5
21	0,65	1,05	400	300	65	0,112	0,112	5
23	0,65	≈	370	≈	65	0,042	≈	5
24	0,65	≈	370	≈	65	0,29	≈	5
25	0,65	≈	370	≈	65	0,29	≈	5
26	0,5	≈	400	≈	56	≈	≈	2,7
27	0,85	≈	500	≈	65	≈	≈	2
28	0,8	≈	500	≈	65	≈	≈	2,8
29	0,1	≈	390	≈	65	≈	≈	2
30	0,85	≈	500	≈	53	≈	≈	1,42

Tabella 1.2 - Tabella degli Elementi Produttivi: Caratteristiche Fisiche e Rese in Biogas

IDElemProd numero identificativo	NomeElemento Tipo di substrato	TipoElemento ORIGINE	STS Solidi Totali (Letame)* %	SVS Solidi Volatili (Letame)* %	STL Solidi Totali (Liquame) %	SVL Solidi Totali (Liquame) %	CNS Carbonio/Azoto (Letame)* Scalare	CNL Carbonio/Azoto (Liquame) Scalare
31	Scarti distillazione mele ³	SCARTI AGROINDUSTRIALI	2,9	94,5	≈	≈	15	≈
32	Melasse ³	COLTURE ENERGETICHE	80	95	≈	≈	20	≈
33	Siero di latte	SCARTI AGROINDUSTRIALI	5,4	86	≈	≈	27	≈
34	Scarti vegetali ³	SCARTI AGROINDUSTRIALI	12,5	83	≈	≈	12	≈
35	Insilato sorgo zuccherino	COLTURE ENERGETICHE	30	90	≈	≈	12	≈
36	Scarti di Frumento ^{1,2,3}	SCARTI AGROINDUSTRIALI	30	90	≈	≈	12	≈
37	Barbabetola da zucchero ^{1,2}	RESIDUI COLTURALI	22,5	90	≈	≈	12	≈
38	Pastazzo di agrumi ³	SCARTI AGROINDUSTRIALI	13	97	≈	≈	15	≈
39	Colletti di barbabietola ³	RESIDUI COLTURALI	15	80	≈	≈	12	≈
40	Lieviti birrerie ³	SCARTI AGROINDUSTRIALI	22	96	≈	≈	15	≈
41	Buccette e semi di pomodori	RESIDUI COLTURALI	25	95	≈	≈	12	≈
42	Scarti di frantoio ³	SCARTI AGROINDUSTRIALI	95	90	≈	≈	15	≈
43	Scarti di patata ^{1,2}	SCARTI AGROINDUSTRIALI	13,5	90	≈	≈	12	≈
45	Fanghi di sangue ²	SCARTI AGROINDUSTRIALI	18	96	≈	≈	12	≈
46	Farina di sangue ^{1,2}	SCARTI AGROINDUSTRIALI	90	80	≈	≈	4	≈
47	Scarti macellazione ³	SCARTI AGROINDUSTRIALI	15	90	≈	≈	5	≈
48	Vinacce ³	RESIDUI COLTURALI	47	82	≈	≈	15	≈
49	Scarti ortofrutticoli ^{1,2,3}	SCARTI AGROINDUSTRIALI	15	76	≈	≈	12	≈
50	Scarti di panificio ^{1,2,3}	SCARTI AGROINDUSTRIALI	80	97	≈	≈	12	≈
53	Fogliame ²	RESIDUI COLTURALI	85	82	≈	≈	50	≈
54	Foglie di rapa ²	RESIDUI COLTURALI	16,2	79	≈	≈	15,5	≈
55	Pianta di patata ²	RESIDUI COLTURALI	25	79	≈	≈	20,5	≈
56	Vinacce di mela ²	SCARTI AGROINDUSTRIALI	25	86	≈	≈	30	≈
57	Scarti di verdura ²	SCARTI AGROINDUSTRIALI	12,5	83	≈	≈	15	≈
58	Verde pubblico ²	CIVILE	11,7	90	≈	≈	19,5	≈
59	Trebbia di birra ²	SCARTI AGROINDUSTRIALI	18	80	≈	≈	9,5	≈
60	FORSU	CIVILE	15	85	≈	≈	27	≈
61	Reflui civili ³	CIVILE	5	70	≈	≈	11	≈
62	Letame equino	ZOOTECNICO	51,5	75	≈	≈	25	≈
63	Insilato di mais	COLTURE ENERGETICHE	34	86	≈	≈	12	≈

Tabella 1.13 - Tabella degli Elementi Produttivi: Caratteristiche Fisiche e Rese in Biogas

IDElemProd numero identificativo	DS Densità (Letame)* t/m ³	DL Densità (Liquame) t/m ³	ResaBiogasLet Resa Biogas (Letame)* Nm ³ /tSV _{let}	ResaBiogasLiq Resa Biogas (Liquame) Nm ³ /tSV _{liq}	PercMetano % CH ₄ %	ProdDeiezSolide Produzione Letame t/capo anno	ProdDeiezLiquide Produzione Liquame m ³ /capo anno	NTK Azoto Totale %N su ST
31	0,5	≈	350	≈	65	≈	≈	4,5
32	0,8	≈	300	≈	65	≈	≈	4,5
33	1,025	≈	330	≈	60	≈	≈	2,32
34	0,35	≈	350	≈	65	≈	≈	1,53
35	0,65	≈	650	≈	53	≈	≈	1,75
36	0,35	≈	600	≈	65	≈	≈	2
37	0,35	≈	600	≈	65	≈	≈	2
38	0,8	≈	500	≈	65	≈	≈	2
39	0,85	≈	375	≈	65	≈	≈	2
40	0,6	≈	600	≈	65	≈	≈	4,5
41	0,4	≈	650	≈	55	≈	≈	3,12
42	0,5	≈	650	≈	65	≈	≈	2
43	0,35	≈	550	≈	53	≈	≈	1,53
45	1,05	≈	700	≈	65	≈	≈	11,4
46	0,35	≈	800	≈	65	≈	≈	12
47	1,05	≈	775	≈	60	≈	≈	2
48	0,65	≈	300	≈	65	≈	≈	1,1
49	0,35	≈	400	≈	65	≈	≈	2
50	0,35	≈	800	≈	65	≈	≈	2
53	0,35	≈	400	≈	65	≈	≈	1
54	0,35	≈	500	≈	65	≈	≈	2,5
55	0,35	≈	600	≈	65	≈	≈	1,5
56	0,35	≈	450	≈	65	≈	≈	1,1
57	0,35	≈	400	≈	65	≈	≈	4
58	0,35	≈	600	≈	65	≈	≈	1,6
59	0	≈	390	≈	65	≈	≈	4,5
60	0,8	≈	500	≈	51	≈	≈	1,82
61	1,05	≈	300	≈	65	≈	≈	5
62	0,65	≈	300	≈	65	≈	≈	5
63	0,65	≈	370	≈	56,5	≈	≈	1,36

Tabella 1.14 - Tabella degli Elementi Produttivi: Caratteristiche Fisiche e Rese in Biogas

NomeElemento	TipoElemento	Fonte	UMIDITA'	Fonte	PCI (kcal/kg)	Fonte	Ceneri %SS	Fonte	STS %	Fonte	Resa t/ha*anno
Paglie	SCARTI AGRICOLI	[N]	17,00%	[C]	4.200	[H]	11,0%			[N]	4,2
Potature	SCARTI AGRICOLI	[B]	50,00%	[N]	4.500	[H]	1,7%	[D]			
Lolla Riso	SCARTI AGRICOLI	[B]	12,50%	[D]	3.600			[D]	85%		
Gusci frutta	SCARTI AGRICOLI										
Vinaccia	SCARTI AGRICOLI	[A]	50,00%								
Sansa	SCARTI AGRICOLI	[B]	12,50%	[D]	4.100			[D]	70%		
Arundo	COLTURE ENERGETICHE	[C]	62,50%	[G]	4.350	[G]	3,4%	[D]	60%	[M]	25
Miscanto	COLTURE ENERGETICHE	[C]	55,00%	[B]	4.442	[H]	4,0%	[D]	70%	[L]	30
Panico	COLTURE ENERGETICHE	[C]	55,00%	[E]	4.450	[H]	10,1%				
Cardo	COLTURE ENERGETICHE	[C]	55,00%	[B]	4.442					[L]	15
Sorgo	COLTURE ENERGETICHE	[C]	62,50%	[F]	3.900	[F]	5,6%	[D]	30%	[L]	28
Boschi Latifoglie	LEGNO FORESTE	[H]	0,30%	[H]	4.500	[H]	5,0%				
Boschi Conifere	LEGNO FORESTE	[H]	0,30%	[H]	4.600	[H]	4,0%				
Arboricoltura	LEGNO FORESTE										

Tabella 1.5 - Tabella degli Elementi Produttivi per i settori delle biomasse lignocellulosiche

Nota(1): queste informazioni sono frutto di una lunga e laboriosa indagine basata sul confronto di dati di letteratura e dati rilevati da studi di settore. Di seguito sono state riportate alcune delle fonti consultate. Si tenga presente che per le biomasse lignocellulosiche è stato riportato, in questa sede, il valore dell'umidità dello scarto alla raccolta, dando per scontato la necessità di integrare la tecnologia di gassificazione con sistemi di pretrattamento che riducano il contenuto di umidità a valori che rendano accessibile il processo (almeno 15-20%);

Fonti:

[A] ANPA - I Rifiuti del comparto agroalimentare

[B] Sistemi a biomasse: progettazione e valutazione economica - ed. Mattioli 2011 - Autori: E. Bocci, A. Caffarelli, M. Villarini, A. D'Amato (il valore di umidità è quello in uscta dal carro macinatore)

-
- [C] Cooperativa terremerse 2009 - titolo del documento: Candolo Terremerse costi biomasse agricole (il valore di umidità è quello misurato alla raccolta)
- [D] Nome file: slide10 caratteristiche_biomasse
- [E] http://edv1.vt.tuwien.ac.at/AG_HOFBA/BIOBIB/Biobib.htm (1997)
- [F] Fonte - Angelini, Ceccarini, Bonari, 1999
- [G] Miles et al, 1995
- [H] CTI 2003
- [L] BONARI e PICCHI 2004
- [M] Economia e politica agraria 2006 - Titolo: Energia dalle biomasse vegetali:
- [N] Energia dalle biomasse: Le tecnologie, i vantaggi per i processi produttivi, i valori economici e ambientali (PROGETTO NOVIMPRESA) 2006

Allegato [B] 2 – COGENERATORI

ID	Cogeneratore	Tipo	Marca	Modello Codice	Potenza Elettrica kWel	Rend.Elettrico %
1		MCI	JENBACHER	208	249	39,1
2		MCI	JENBACHER	208	330	38,7
3		MCI	JENBACHER	208	335	36,2
4		MCI	JENBACHER	312	526	40,4
5		MCI	JENBACHER	312	625	40
6		MCI	JENBACHER	312	540	37,2
7		MCI	JENBACHER	312	633	38,1
8		MCI	JENBACHER	316	703	40,5
9		MCI	JENBACHER	316	834	39,9
10		MCI	JENBACHER	316	848	38,2
11		MCI	JENBACHER	320	1063	40,8
12		MCI	JENBACHER	320	1060	39
13		MCI	JENBACHER	312	633	36,7
14		MCI	JENBACHER	316	848	36,9
15		MCI	JENBACHER	320	1060	36,9
16		MCI	JENBACHER	412	844	41,9
17		MCI	JENBACHER	416	1131	42,1
18		MCI	JENBACHER	420	1415	42,1
19		MCI	JENBACHER	612	1458	39,2
20		MCI	JENBACHER	616	1946	39,2
21		MCI	JENBACHER	620	2425	39,1
22		MCI	JENBACHER	612	1458	39,8
23		MCI	JENBACHER	616	1946	39,8
24		MCI	JENBACHER	620	2425	39,7
25		MCI	JENBACHER	612	1432	39,1
26		MCI	JENBACHER	616	1914	39,2
27		MCI	JENBACHER	620	2388	39,1
28		MCI	JENBACHER	612	1432	38,5
29		MCI	JENBACHER	616	1914	38,6
30		MCI	JENBACHER	620	2388	38,5
31		MCI	MTU		120	35,9
32		MCI	MTU		150	37,3
33		MCI	MTU		350	34,9
34		MCI	CATERPILLAR		460	31,6
35		MCI	CATERPILLAR		770	31,6

Tabella 2.1a15 – Caratteristiche dei cogeneratori

ID Cogeneratore	Rend.Termico %	Rendimento Totale %	Potenza Termica kWt	NOX mmg/Nm ³
1	46,3	85,4	295	500
2	47	85,7	400	500
3	42,3	78,5	391	500
4	42,9	83,3	558	500
5	43,6	83,6	680	500
6	48,4	85,6	703	500
7	48,4	86,5	787	500
8	42,9	83,4	744	500
9	43,7	83,6	910	500
10	47,3	85,5	1.048	500
11	41,7	82,5	11.088	500
12	46,9	85,9	1.274	500
13	48,5	85,2	836	250
14	48,4	85,3	1.114	250
15	48,3	85,2	1.387	250
16	41,8	83,7	843	500
17	41,9	84	1.127	500
18	41,8	83,9	1.405	500
19	44,2	83,4	1.645	250
20	44,2	83,4	2.194	250
21	44,2	83,3	2.743	250
22	45	84,8	1.648	500
23	45	84,8	2.196	500
24	45	84,7	2.746	500
25	45,6	84,7	1.671	500
26	45,4	84,6	2.220	500
27	45,5	84,6	277	500
28	44,8	83,3	1.668	250
29	44,7	83,3	2.218	250
30	44,7	83,4	2.776	250
31	47,9	90	160	
32	47,5	90	191	
33	52,2	90	523	
34	52,4	84	764	
35	53,2	84,8	1.296	

Tabella 2.1b16 – Caratteristiche dei cogeneratori

ID Cogeneratore	Tipo	Marca	Modello Codice	PotenzaElettrica kWel	Rend. Elettrico %
36	MCI	CATERPILLAR		1030	31,8
37	MCI	CATERPILLAR		1100	36,7
38	MCI	MAN ENGINES		116	32,4
39	MCI	MAN ENGINES		181	35,7
40	MCI	MAN ENGINES		342	37,1
41	MCI	CPL		33	28,3
42	MCI	CPL		33	28,3
43	MCI	CPL		35	30,4
44	MCI	CPL		35	30,4
45	MCI	CPL		60	29,6
46	MCI	CPL		60	29,6
47	MCI	CPL		80	32,5
48	MCI	CPL		80	32,5
49	MCI	CPL		90	30,6
50	MCI	CPL		100	30,6
51	MCI	CPL		103	37,6
52	MCI	CPL		122	35,7
53	MCI	CPL		125	32,7
54	MCI	CPL		125	32,7
55	MCI	CPL		172	37,8
56	MCI	CPL		172	38,2
57	MCI	CPL		190	38,5
58	MCI	CPL		237	37,7
59	MCI	CPL		250	38,1
60	MCI	CPL		308	36,1
61	MCI	CPL		365	37,4
62	MCI	CPL		247	35,04
63	MCI	CPL		328	34,71
64	MCI	CPL		494	34,79
65	MCI	CPL		656	34,8
66	MCI	CPL		294	37,6
67	MCI	CPL		511	37,66
68	MCI	CPL		601	38,92
69	MCI	CPL		802	38,97
70	MCI	CPL		1.064	39,84

Tabella 2.2a17 – Caratteristiche dei cogeneratori

ID Cogeneratore	Rend.Termico %	RendimentoTotale %	PotenzaTermica kWt	NOX mmg/Nm ³
36	42,5	74,3	1.378	
37	45,7	82,4	1.371	
38	52	84,4	186	
39	49,5	85,2	251	
40	46,6	83,7	430	
41	62,3	90,6	66	
42	62,3	90,6	66	
43	59,1	89,5	68	
44	59,1	89,5	68	
45	60,5	90,1	123	
46	54	60,5	90,1	123
47	55	57,3	89,8	141
48	56	57,3	89,8	141
49	57	59,2	89,8	174
50	58	59,2	89,8	174
51	59	48,2	85,8	132
52	60	52	87,7	178
53	61	56,6	89,3	216
54	62	56,6	89,3	216
55	63	50,4	88,2	227
56	64	50,5	88,7	227
57	65	46,3	84,8	228
58	66	52,6	90,3	330
59	67	49,6	87,7	326
60	68	53,9	90	460
61	69	53,4	90,8	521
62	70	53,9	88,94	380
63	71	54,4	89,1	514
64	72	54,7	89,51	777
65	73	54,6	89,39	1.029
66	74	50,8	88,36	397
67	75	48,7	86,37	661
68	76	47,4	86,33	732
69	77	47,4	86,35	975
70	78	46,7	86,56	1.248

Tabella 2.2b18 – Caratteristiche dei cogeneratori

ID Cogeneratore	Tipo	Marca	Modello Codice	PotenzaElettrica kWel	Rend. Elettrico %
71	MCI	CPL		1.416	41,09
72	MCI	CPL		1.822	42,2
73	MCI	CPL		2.430	41,97
74	MCI	CPL		3.047	42,63
75	MCI	AB		125	34,5
76	MCI	AB		245	36,1
77	MCI	AB		330	38,7
78	MCI	AB		526	40,4
79	MCI	AB		625	39,8
80	MCI	AB		835	40
81	MCI	AB		1.064	40,8
82	MCI	AB		1.244	41,6
83	MCI	AB		1.415	42,1
84	MCFC	MTU	HM208B	208	47
85	MCFC	MTU	HM346B	346	47
86	TAG	TURBEC		100	33
87	TAG	CAPSTONE		60	28
88	TAG	CAPSTONE		200	33
89	SOFC	Siemens Power Generation	SFC200	125	45
90	MCI	GUASCOR	FGLD180	250	34
91	MCI	GUASCOR	SFGLD180	305	35
92	MCI	GUASCOR	FGLD 240	350	36
93	MCI	GUASCOR	SFGLD 240	405	37
94	MCI	GUASCOR	FGLD 360	500	37,5
95	MCI	GUASCOR	SFGLD360	605	38
96	MCI	GUASCOR	FGLD 480	700	38,3
97	MCI	GUASCOR	SFGLD 480	800	39
98	MCI	GUASCOR	SFGLD 560	960	40
99	MCI	GUASCOR	SFGM 560	1020	41,5
100	MCI	GUASCOR	HGM 560	1200	42
101	MicroTAG	CAPSTONE (Grid Connect)	C30	30	26
102	MicroTAG	CAPSTONE (Grid Connect)	C65	65	29
103	MicroTAG	CAPSTONE (Grid Connect)	C200	200	33
104	MicroTAG	CAPSTONE (Grid Connect)	C600	600	33
105	MicroTAG	CAPSTONE (Grid Connect)	C800	800	33
106	MicroTAG	CAPSTONE (Grid Connect)	C1000	1000	33

Tabella 2.3a19 – Caratteristiche dei cogeneratori

ID Cogeneratore	Rend.Termico	RendimentoTotale	PotenzaTermica	NOX
	%	%	kWt	mmg/Nm ³
71	79	46,4	87,49	1.599
72	80	44,4	86,61	1.918
73	81	44,8	86,77	2.594
74	82	44,4	87,02	3.173
75	83	49,2	83,7	178
76	84	50,1	86,2	340
77	85	46,2	84,9	394
78	86	41,4	81,8	539
79	87	42,7	82,5	660
80	88	42,2	82,2	895
81	89	40	80,8	1.044
82	90	41,4	83	1.239
83	91	40,7	82,8	1.367
84	102	32	90	142
85	103	31,8	90	234
86	104	47	95	167
87	105	49	77	107
88	106	40	95	245
89	107	35	80	100
90	60	94	735	
91	58	93	871	
92	56	92	972	
93	54,5	91,5	1095	
94	52	89,5	1333	
95	48	86	1592	
96	48	86,3	1828	
97	46	85	2051	
98	44	84	2400	
99	42	83,5	2458	
100	42	84	2857	
101	54	80	60	
102	51	80	110	
103	42	75	245	
104	42	75	745	
105	42	75	1000	
106	42	75	1240	

Tabella 2.3b20 – Caratteristiche dei cogeneratori

Allegato [C] 3 - PARAMETRI

Costante	Definizione	Valore	Unità di misura
ASSIC	Costo Assicurazione	0,5	%
AUTOCONSELET	Autoconsumo Elettrico	5	%
CALOREAB	Fabbisogno Calore per abitazione civile	150	kWh/m ²
CALSPECACQUA	Calore Specifico dell'acqua	4,2	J/gr °k
CHPMCFC	Rend. Cogenerazione MCFC/SOFC	90	%
CHPMCI	Rend. Cogenerazione MCI	85	%
CHPTAG	Rend. Cogenerazione TAG	85	%
CNMAXVAL	Rapporto Carbonio/Azoto - Valore Max	35	scalare
CNMINVAL	Rapporto Carbonio/Azoto - Valore Min	20	scalare
COEFFCVB	Coefficiente Certificato Verde	1,8	scalare
COSTERKW	Costo medio Terreno	270	€/kWh
COSTOMETANO	Costo metano ausiliario per la caldaia	0,383	€/m ³
PERCOSTCALDAIA	Percentuale di incidenza del costo della caldaia ausiliaria	3	%
COSTOPERS	Costo personale	25	€/MWh
COSTOSPMCF	Costo di installazione dell'impianto di D.A. associato a MCFC*	15.000	€/KW
COSTOSPMCI	Costo di installazione dell'impianto di D.A. associato a MCI*	5.000	€/KW
COSTOSPSOFC	Costo di installazione dell'impianto di D.A. associato a SOFC*	20.000	€/KW
COSTOSPTAG	Costo di installazione dell'impianto di D.A. associato a TAG*	7.000	€/KW
DIAMMAXVAL	Diametro max digestore CSTR	20	m
DIAMMINVAL	Diametro min digestore CSTR	10	m
DIMENSABITAZ	Dimensione media di civile abitazione	90	m ²
EURIBOR	Tasso EURIBOR	3	%
FATTCONVKWMJ	Fattore di conversione (kW-MJ)	3,6	Scalare
FRANCOSICUR	Franco di sicurezza (per dimensionare il digestore)	1,2	scalare
FUMMCF	Fatt. Utilizzo Impianto MCFC	95	%
FUMMCI	Fatt. Utilizzo Impianto MCI	85	%
FUMSOFC	Fatt. Utilizzo Impianto SOFC	90	%
FUMTAG	Fatt. Utilizzo Impianto TAG	85	%
GAPKYOTO	Valore da colmare entro il 2012 secondo gli obiettivi di Kyoto	19.000.000	t/CO ₂ eq
HMAXVAL	Altezza max digestore CSTR	8	m
HMINVAL	Altezza min digestore CSTR	4	m
KGCO2MWHE	Kg diCO ₂ risparmiata a MWheI	531	kg CO ₂ /MWheI
KGCO2MWHT	Kg diCO ₂ risparmiata a MWht	310	kg CO ₂ /MWht
LARGMAXVAL	Larghezza max digestore Plug-flow	8	m
LARGMINVAL	Larghezza min digestore Plug-flow	4	m
LUNGMAXVAL	Lunghezza max digestore Plug-flow	20	m
LUNGMINVAL	Lunghezza min digestore Plug-flow	12	m

Tabella 3.1 - Parametri Specifici di riferimento

*Stime relative al costo di investimento dell'Impianto di Digestione anaerobica associato ad uno specifico modulo di cogenerazione. La stima si basa su valutazioni che fanno riferimento al testo ISES - Realizzazione di Impianti di digestione anaerobica

Costante	Definizione	Valore	Unità di misura
MANSTRAORD	Costo Manutenzione Straordinaria (% dell'investimento tot.)	3	%
MANUTMCFCSP	Manutenzione MCFC	0,0075	€/kWh
MANUTMCISP	Manutenzione MCI	0,014	€/kWh
MANUTSOFCSP	Manutenzione SOFC	0,0075	€/kWh
MANUTTAGSP	Manutenzione TAG	0,009	€/kWh
MOSP	Costo Manutenzione Ordinaria	0,03	€/kWh
OMNIB	Tariffa Onnicomprensiva	0,28	€/kWh
OREANNO	Ore anno	8760	ore
PCICH4	Potere Calorifico Inferiore del biogas	9,97	kWh/Nm ³
PERCIMP	Costo Impiantistica Idraulica ed Elettr. (% dell'investimento tot.)	35	%
PERCOPCIV	Costo Opere Civili (% dell'investimento tot.)	30	%
PERCOPEL	Costo Opere Elettromeccaniche (% dell'investimento tot.)	35	%
PERDITECALORE	Perdite calore (30% della produzione di energia termica)	1,3	
POTMEDAB	Potenza Elettrica media per abitazione	3	kW
PREZFISEN	Prezzo fisso di riferimento dell'energia elettrica	180	€/MWh
PREZMEDEN	Prezzo medio annuo dell'energia elettrica (anno 2010)	67,18	€/MWh
RENDSTDCALDAIA	Rendimento della caldaia ausiliaria	90	%
RENDSTDCOG	Rendimento Cogener. (Valore default)	90	%
RENDSTDELET	Rendimento Elettrico (Valore default)	35	%
RENDSTDTER	Rendimento Termico (Valore default)	40	%
STMAX	Solidi Totali Max (passaggio tra Semisecco-Secco)	19	%
STMIN	Solidi Totali Min (passaggio tra Umido e Semisecco)	11	%
TASSOINT	Tasso interesse	2	%
TCO2TEPRISP	Tonnellate di CO ₂ risparmiata per Tep	2,8	tCO ₂ /tep
TEPMWHE	Tonnellate equivalenti di Petrolio evitate	0,187	tep/MWhel
TMED	Diff. temp. media di processo e temp. amb. $[(T_{\text{meso}}+T_{\text{termo}})/2] - T_{\text{amb}}$	25	°C
TMESOFILIA	Temperatura media in condizioni Mesofile	35	°C
TSUBFRESCO	Temperatura Substrato fresco	20	°C
TTERMOFILIA	Temperatura media in condizioni Termofile	55	°C
UMIDITA	Parametro discriminante per la scelta dell'approccio tecnologico	30	%
VENDITAEESZCV	Prezzo Vendita Energia Elettrica senza Certificati Verdi	0,06621	€/kWhel
VENDITAET	Prezzo Vendita Energia Termica	0,077	€/kWh _t
VITAUTILE	Vita Utile Impianto	20	anni
ZNV	Spandimento digestato Zone Non Vulnerabili	230	kg N/ha
ZV	Spandimento digestato Zone Vulnerabili	170	kg N/ha

Tabella 3.2 – Parametri Specifici di riferimento

Allegato [D] 4 - Database Scarti Agricoli

PROVINCE	Sigla	COD PRO	Paglie Potenziali tSS/anno	Potature Potenziali tSS/anno	Lolla Riso tSS/anno	Gusci Frutta tSS/anno	Vinaccia tSS/anno	Sansa tSS/anno
Agrigento	AG	084	119.974	108.150	0	16.606	19.875	13.198
Alessandria	AL	006	303.592	23.839	13.393	143	13.721	0
Ancona	AN	042	148.287	13.391	0	0	3.436	1.043
Aosta	AO	007	204	1.700	0	0	300	0
Arezzo	AR	051	53.699	37.942	0	0	1.920	4.176
Ascoli Piceno	AP	044	118.738	30.515	0	0	6.917	1.447
Asti	AT	005	114.460	29.959	0	1.904	16.475	0
Avellino	AV	064	147.110	64.191	0	0	5.107	4.740
Bari	BA	072	223.784	293.830	0	17.030	16.444	99.180
Belluno	BL	025	7.494	332	0	0	58	0
Benevento	BN	062	105.818	36.736	0	0	13.196	2.390
Bergamo	BG	016	219.866	1.341	0	0	641	0
Biella	BI	096	52.727	1.165	5.340	0	230	0
Bologna	BO	037	281.168	54.267	183	0	6.160	0
Bolzano	BZ	021	453	32.664	0	0	3.632	0
Brescia	BS	017	662.155	7.100	0	0	3.012	0
Brindisi	BR	074	42.281	69.414	0	3.055	16.263	32.740
Cagliari	CA	092	105.231	56.543	0	0	6.913	3.223
Caltanissetta	CL	085	97.006	29.048	0	7.442	7.366	3.221
Campobasso	CB	070	151.147	27.101	0	66	14.040	11.850
Carbonia-Iglesias	CI	107	0	0	0	0	0	0
Caserta	CE	061	20.148	65.725	0	4.093	3.219	6.279
Catania	CT	087	62.586	109.940	0	2.614	2.078	12.150
Catanzaro	CZ	079	25.257	132.641	0	0	673	27.684
Chieti	CH	069	38.715	209.117	0	0	23.742	16.328
Como	CO	013	22.693	53	0	0	0	0
Cosenza	CS	078	74.576	236.728	0	0	2.241	32.663
Cremona	CR	019	744.181	386	0	0	166	0
Crotone	KR	101	83.970	78.750	0	0	2.263	25.234
Cuneo	CN	004	474.281	47.018	280	3.967	15.295	0
Enna	EN	086	78.480	20.927	0	8.172	804	1.823
Ferrara	FE	038	364.044	27.058	7.843	0	773	0
Firenze	FI	048	83.175	60.740	0	10	7.571	9.711
Foggia	FG	071	824.449	149.361	0	1.755	54.600	33.892
Forlì	FC	040	63.060	49.945	0	0	6.011	0
Frosinone	FR	060	89.234	29.973	0	56	833	8.558
Genova	GE	010	304	8.652	0	65	122	2.347
Gorizia	GO	031	24.790	9.718	0	0	2.016	0
Grosseto	GR	053	135.053	45.883	0	0	3.686	7.200
Imperia	IM	008	0	5.380	0	0	226	1.184
Isernia	IS	094	12.303	4.380	0	203	1.436	1.716
La Spezia	SP	011	2.005	3.994	0	0	519	720
L'Aquila	AQ	066	18.441	4.558	0	0	462	457
Latina	LT	059	73.026	35.116	0	0	2.575	6.144
Lecce	LE	075	57.945	119.824	0	301	9.857	73.871
Lecco	LC	097	8.098	310	0	0	57	18
Livorno	LI	049	62.818	15.193	0	0	1.219	3.600
Lodi	LO	098	310.666	103	2.657	0	26	0
Lucca	LU	046	24.481	6.243	0	0	550	1.517
Macerata	MC	043	140.202	8.540	0	0	1.441	1.129
Mantova	MN	020	692.304	6.537	2.149	0	1.540	0
Massa	MS	045	7.509	3.372	0	0	821	243
Matera	MT	077	199.846	43.508	0	0	1.980	4.137
Medio Campidano	VS	106	0	0	0	0	0	0

Tabella 4.1 – Disponibilità biomassa a livello provinciale – Settore Scarti Agricoli
 Fonte: Atlante delle Biomasse – ENEA 2009

PROVINCE	Sigla	COD PRO	Paglie Potenziali tSS/anno	Potature Potenziali tSS/anno	Lolla Riso tSS/anno	Gusci Frutta tSS/anno	Vinaccia tSS/anno	Sansa tSS/anno
Messina	ME	083	2.402	47.266	0	6.375	1.718	7.526
Milano	MI	015	310.047	467	16.432	0	196	0
Modena	MO	036	226.305	59.079	297	0	8.964	0
Napoli	NA	063	5.520	48.739	0	4.749	2.414	2.356
Novara	NO	003	279.259	1.362	54.162	0	461	0
Nuoro	NU	091	17.936	24.369	0	442	3.863	3.619
Ogliastra	OG	105	0	0	0	0	0	0
Olbia-Tempio	OT	104	0	0	0	0	0	0
Oristano	OR	095	75.124	9.746	0	0	1.171	1.451
Padova	PD	028	369.683	29.265	0	0	5.460	74
Palermo	PA	082	236.099	75.012	0	2.141	21.825	9.180
Parma	PR	034	136.298	4.093	0	0	855	0
Pavia	PV	018	636.262	19.973	121.416	0	10.434	0
Perugia	PG	054	379.913	78.176	0	0	6.406	346
Pesaro	PU	041	132.004	5.418	0	0	1.252	297
Pescara	PE	068	38.447	46.748	0	0	3.578	6.551
Piacenza	PC	033	176.785	19.227	0	0	3.969	0
Pisa	PI	050	131.662	17.104	0	22	1.747	3.500
Pistoia	PT	047	17.992	11.278	0	0	653	2.606
Pordenone	PN	093	175.834	22.705	0	0	4.410	0
Potenza	PZ	076	252.250	6.450	0	0	1.580	3.880
Prato	PO	100	4.982	3.901	0	0	161	622
Ragusa	RG	088	40.561	28.678	0	3.273	1.800	4.860
Ravenna	RA	039	188.240	117.026	0	0	22.211	0
Reggio Calabria	RC	080	6.823	476.913	0	0	833	85.440
Reggio Emilia	RE	035	98.890	53.390	36	0	10.857	0
Rieti	RI	057	41.979	22.653	0	30	657	3.903
Rimini	RN	099	21.760	14.374	0	0	2.242	574
Roma	RM	058	57.141	74.063	0	483	9.376	9.681
Rovigo	RO	029	409.553	6.604	1.020	0	473	0
Salerno	SA	065	38.283	71.188	0	3.024	4.728	21.425
Sassari	SS	090	61.706	30.238	0	0	4.476	4.069
Savona	SV	009	1.921	1.336	0	0	260	0
Siena	SI	052	202.712	36.015	0	0	9.709	2.549
Siracusa	SR	089	27.971	69.972	0	8.128	1.874	4.656
Sondrio	SO	014	1.649	3.673	0	0	874	0
Taranto	TA	073	70.962	181.446	0	901	14.105	18.689
Teramo	TE	067	133.632	29.927	0	0	2.040	1.830
Terni	TR	055	50.186	23.717	0	0	4.671	2.311
Torino	TO	001	764.493	5.571	298	54	2.088	0
Trapani	TP	081	66.886	108.922	0	0	64.240	8.154
Trento	TN	022	1.066	31.966	0	0	9.315	0
Treviso	TV	026	203.227	119.784	0	0	24.884	49
Trieste	TS	032	48	887	0	0	179	0
Udine	UD	030	392.129	23.087	0	0	4.550	0
Varese	VA	012	8.933	70	0	0	15	0
Venezia	VE	027	306.835	29.225	0	0	5.869	0
Verbania-Cusio-Ossola	VB	103	1.226	98	0	0	25	0
Vercelli	VC	002	488.597	1.200	122.020	0	179	0
Verona	VR	023	258.318	131.049	2.328	0	25.301	1.315
Vibo Valentia	VV	102	21.485	87.181	0	0	371	12.522
Vicenza	VI	024	189.625	50.830	0	0	11.175	76
Viterbo	VT	056	175.423	86.042	0	19.455	2.900	12.072

Tabella 4.2 – Disponibilità biomassa a livello provinciale – Settore Scarti Agricoli
 Fonte: Atlante delle Biomasse – ENEA 2009

Allegato [E] 5 - Database Legno Foreste

PROVINCE	Sigla	COD PRO	Boschi latifoglie tSS/anno	Boschi conifere tSS/anno	Arboricoltura tSS/anno
Agrigento	AG	084	387	1123	0
Alessandria	AL	006	29997	415	2283
Ancona	AN	042	3008	191	0
Aosta	AO	007	734	353	0
Arezzo	AR	051	50200	2723	0
Ascoli Piceno	AP	044	7985	126	0
Asti	AT	005	30687	44	0
Avellino	AV	064	25154	243	0
Bari	BA	072	7904	1315	0
Belluno	BL	025	19463	5490	0
Benevento	BN	062	15038	16	0
Bergamo	BG	016	14026	852	0
Biella	BI	096	23899	81	0
Bologna	BO	037	35471	335	1518
Bolzano	BZ	021	2487	7490	0
Brescia	BS	017	14662	1134	0
Brindisi	BR	074	417	122	0
Cagliari	CA	092	7902	1622	10369
Caltanissetta	CL	085	1860	148	0
Campobasso	CB	070	16134	144	0
Carbonia-Iglesias	CI	104	0	0	0
Caserta	CE	061	29630	298	0
Catania	CT	087	3225	659	0
Catanzaro	CZ	079	24542	5230	0
Chieti	CH	069	13427	190	0
Como	CO	013	11767	990	0
Cosenza	CS	078	52341	14120	0
Cremona	CR	019	442	0	21515
Crotone	KR	101	5804	2486	0
Cuneo	CN	004	53942	838	2312
Enna	EN	086	4858	224	0
Ferrara	FE	038	1005	223	6869
Firenze	FI	048	51888	5585	68
Foggia	FG	071	20492	1541	0
Forlì-Cesena	FC	040	17397	914	0
Frosinone	FR	060	18182	796	0
Genova	GE	010	32005	804	0
Gorizia	GO	031	3853	383	0
Grosseto	GR	053	61405	2766	0
Imperia	IM	008	10902	448	0
Isernia	IS	094	27119	351	0
La Spezia	SP	011	16953	820	0
L'Aquila	AQ	066	27880	1035	134
Latina	LT	059	6176	642	0
Lecce	LE	075	228	748	0
Lecco	LC	097	6351	38	0
Livorno	LI	049	13931	1284	0
Lodi	LO	098	552	0	13305
Lucca	LU	046	24692	2379	0
Macerata	MC	043	7944	159	0
Mantova	MN	020	272	0	46025
Massa-Carrara	MS	045	23207	850	0

Tabella 5.1 – Disponibilità biomassa a livello provinciale – Settore Legno Foresta
Fonte: Atlante delle Biomasse – ENEA 2009

PROVINCE	Sigla	COD PRO	Boschi latifoglie tSS/anno	Boschi conifere tSS/anno	Arboricoltura tSS/anno
Matera	MT	077	9340	1096	0
Medio Campidano	VS	106	0	0	0
Messina	ME	083	6269	208	0
Milano	MI	015	8880	18	3068
Modena	MO	036	23178	344	2003
Napoli	NA	063	3006	472	0
Novara	NO	003	25257	225	0
Nuoro	NU	091	16339	2731	589
Ogliastra	OG	107	0	0	0
Olbia-Tempio	OT	105	0	0	0
Oristano	OR	095	2937	700	3590
Padova	PD	028	1614	0	0
Palermo	PA	082	3235	836	0
Parma	PR	034	54686	364	15339
Pavia	PV	018	11448	231	52613
Perugia	PG	054	38951	881	0
Pesaro e Urbino	PU	041	12670	237	0
Pescara	PE	068	4916	177	0
Piacenza	PC	033	26074	222	13709
Pisa	PI	050	25608	4381	0
Pistoia	PT	047	21941	969	0
Pordenone	PN	093	14545	305	237
Potenza	PZ	076	54478	369	0
Prato	PO	100	5761	570	0
Ragusa	RG	088	95	693	0
Ravenna	RA	039	1772	1633	161
Reggio di Calabria	RC	080	27378	3398	0
Reggio nell'Emilia	RE	035	21692	87	10964
Rieti	RI	057	30884	358	0
Rimini	RN	099	560	20	0
Roma	RM	058	27416	1768	0
Rovigo	RO	029	92	208	979
Salerno	SA	065	44746	1226	0
Sassari	SS	090	15975	1864	392
Savona	SV	009	33874	662	0
Siena	SI	052	62177	2679	0
Siracusa	SR	089	1082	184	0
Sondrio	SO	014	2372	479	0
Taranto	TA	073	12249	1419	0
Teramo	TE	067	12275	97	0
Terni	TR	055	27172	143	0
Torino	TO	001	54625	724	6106
Trapani	TP	081	116	376	0
Trento	TN	022	16244	8767	0
Treviso	TV	026	16381	144	467
Trieste	TS	032	9373	521	0
Udine	UD	030	25877	4976	5062
Varese	VA	012	30069	1019	0
Venezia	VE	027	150	586	187
Verbano-Cusio-Ossola	VB	103	9933	525	0
Vercelli	VC	002	14414	58	206
Verona	VR	023	17400	209	194
Vibo Valentia	VV	102	15738	2759	0
Vicenza	VI	024	25134	2298	0
Viterbo	VT	056	25747	362	0

Tabella 5.2 – Disponibilità biomassa a livello provinciale – Settore Legno Foresta

Fonte: Atlante delle Biomasse – ENEA 2009

Allegato [F] 6 - Database Colture Energetiche

PROVINCE	Sigla	COD PRO	Arundo tSS/ha	Miscanto tSS/ha	Panico tSS/ha	Cardo tSS/ha	Sorgo tSS/ha
Agrigento	AG	084	0	0	0	0	0
Alessandria	AL	006	17	13	10	5	13
Ancona	AN	042	22	17	13	7	17
Aosta	AO	007	14	11	9	5	12
Arezzo	AR	051	21	17	13	7	17
Ascoli Piceno	AP	044	16	13	10	5	13
Asti	AT	005	16	13	9	5	13
Avellino	AV	064	11	9	7	4	9
Bari	BA	072	0	0	0	0	0
Belluno	BL	025	20	16	12	6	16
Benevento	BN	062	12	10	7	4	10
Bergamo	BG	016	31	24	18	10	25
Biella	BI	096	21	17	12	7	17
Bologna	BO	037	26	21	16	9	21
Bolzano	BZ	021	18	14	11	6	14
Brescia	BS	017	31	25	19	10	25
Brindisi	BR	074	20	16	12	6	16
Cagliari	CA	092	22	17	13	7	18
Caltanissetta	CL	085	0	0	0	0	0
Campobasso	CB	070	12	9	7	4	9
Carbonia-Iglesias	CI	107	0	0	0	0	0
Caserta	CE	061	23	19	14	8	19
Catania	CT	087	0	0	0	0	0
Catanzaro	CZ	079	11	9	6	3	9
Chieti	CH	069	11	9	7	4	9
Como	CO	013	23	18	14	7	19
Cosenza	CS	078	12	10	7	4	10
Cremona	CR	019	30	24	18	10	25
Crotone	KR	101	36	29	21	12	29
Cuneo	CN	004	21	17	13	7	17
Enna	EN	086	0	0	0	0	0
Ferrara	FE	038	23	18	14	7	19
Firenze	FI	048	20	16	12	7	16
Foggia	FG	071	15	12	9	5	12
Forlì-Cesena	FC	040	24	19	15	8	20
Frosinone	FR	060	17	13	10	5	14
Genova	GE	010	17	14	10	6	14
Gorizia	GO	031	24	19	14	8	19
Grosseto	GR	053	19	15	11	6	15
Imperia	IM	008	0	0	0	0	0
Isernia	IS	094	14	11	8	4	11
La Spezia	SP	011	18	15	11	6	15
L'Aquila	AQ	066	9	7	6	3	8
Latina	LT	059	19	15	11	6	15
Lecce	LE	075	17	14	10	6	14
Lecco	LC	097	20	16	12	6	16
Livorno	LI	049	18	14	11	6	15
Lodi	LO	098	33	27	20	11	27
Lucca	LU	046	24	19	15	8	20
Macerata	MC	043	16	13	9	5	13
Mantova	MN	020	28	22	17	9	23
Massa-Carrara	MS	045	19	15	11	6	15
Matera	MT	077	15	12	9	5	12

Tabella 6.1 – Disponibilità biomassa a livello provinciale – Settore Colture Energetiche
 Fonte: Atlante delle Biomasse – ENEA 2009

PROVINCE	Sigla	COD PRO	Arundo tSS/ha	Miscanto tSS/ha	Panico tSS/ha	Cardo tSS/ha	Sorgo tSS/ha
Medio Campidano	VS	106	0	0	0	0	0
Messina	ME	083	7	5	4	2	5
Milano	MI	015	27	22	16	9	22
Modena	MO	036	26	20	15	8	21
Napoli	NA	063	21	17	13	7	17
Novara	NO	003	25	20	15	8	20
Nuoro	NU	091	33	26	20	11	26
Ogliastra	OG	105	0	0	0	0	0
Olbia-Tempio	OT	104	0	0	0	0	0
Oristano	OR	095	14	11	8	4	11
Padova	PD	028	23	18	14	7	19
Palermo	PA	082	16	13	9	5	13
Parma	PR	034	23	19	14	8	19
Pavia	PV	018	27	22	16	9	22
Perugia	PG	054	26	21	16	8	21
Pesaro e Urbino	PU	041	16	13	10	5	13
Pescara	PE	068	22	18	13	7	18
Piacenza	PC	033	24	19	14	8	19
Pisa	PI	050	21	17	13	7	17
Pistoia	PT	047	18	14	11	6	14
Pordenone	PN	093	16	13	10	5	13
Potenza	PZ	076	15	12	9	5	12
Prato	PO	100	17	14	10	6	14
Ragusa	RG	088	0	0	0	0	0
Ravenna	RA	039	20	16	12	6	16
Reggio di Calabria	RC	080	4	3	3	1	3
Reggio nell'Emilia	RE	035	19	15	11	6	15
Rieti	RI	057	17	13	10	5	14
Rimini	RN	099	14	11	9	5	12
Roma	RM	058	21	16	12	7	17
Rovigo	RO	029	24	19	14	8	19
Salerno	SA	065	19	15	11	6	15
Sassari	SS	090	18	14	11	6	15
Savona	SV	009	11	9	6	3	9
Siena	SI	052	20	16	12	6	16
Siracusa	SR	089	27	22	16	9	22
Sondrio	SO	014	20	16	12	6	16
Taranto	TA	073	30	24	18	10	24
Teramo	TE	067	24	19	14	8	19
Terni	TR	055	18	15	11	6	15
Torino	TO	001	26,1	20,8	15,6	8,4	21,1
Trapani	TP	081	0	0	0	0	0
Trento	TN	022	9	7	5	3	7
Treviso	TV	026	27	21	16	9	22
Trieste	TS	032	24	19	14	8	19
Udine	UD	030	25	20	15	8	20
Varese	VA	012	20	16	12	7	17
Venezia	VE	027	25	20	15	8	20
Verbano-Cusio-Ossola	VB	103	18	14	11	6	14
Vercelli	VC	002	22	18	13	7	18
Verona	VR	023	24	19	14	8	19
Vibo Valentia	VV	102	8	7	5	3	7
Vicenza	VI	024	28	22	17	9	23
Viterbo	VT	056	28	23	17	9	23

Tabella 6.1 – Disponibilità biomassa a livello provinciale – Settore Colture Energetiche
 Fonte: Atlante delle Biomasse – ENEA 2009

Allegato [G] – Format di registrazione per le aziende operanti nel settore della gassificazione

AZIENDA		
MODELLO TECNOLOGIA		
TIPO TECNOLOGIA		
AGENTE GASSIFICANTE		
COSTO IMPIANTO COMPLETO		€/kW
COSTO O&M		% costo investimento

POTENZA ELETTRICA NOMINALE		kW
POTENZA ELETTRICA NETTA		kW
POTENZA TERMICA COGENERATA		kWt
RENDIMENTO ELETTRICO		%
Ore anno di funzionamento		-

BIOMASSA		TIPOLOGIA
PCI medio		kcal/kg
UMIDITA'		%
PEZZATURA		cm
CONSUMO SPECIFICO		kg/kWhe
CONSUMO		Kg/h
CENERI		%

PRODUTTIVITA' SYNGAS		Nm ³ /kg legno
%CH ₄		%
%H ₂		%

BIBLIOGRAFIA

- [1] Report RDS/2010/177
- [2] Tesi di dottorato - Autore: Jacopo Bacenetti – Titolo: *Sostenibilità complessiva di filiere agro-energetiche* – Scuola di Dottorato in “Innovazione Tecnologica per le Scienze Agroalimentari e Ambientali - Università di Milano – anno 2010
- [3] ISPRA - exAPAT – Rapporto Rifiuti 2007
- [4] Ingegneria delle acque reflue – Metcalf & Eddy 2005 (versione italiana)
- [5] Cecchi F., Pavan P., 1996. Co-digestione di fanghi di depurazione e rifiuti, in “Recenti tendenze nella depurazione delle acque reflue: innovazioni tecnologiche di processo”, Bonomo L. (ed), Politecnico di Milano
- [6] Piccone et al., **2000**; Mantovi et al., 2005
- [7] Fullana et al., 2003; Dallago et al., 2001
- [8] Dallago et al., 2001; Andreottola et al., 2000
- [9] Mininni et al., 2003; Bemporad et al., 2002; Carassiti, 2002
- [10] Werther et al., 1999
- [11] Fullana, 2003; Shen et al., 2003; Adegroye et al., 2004; Dogru et al., 2002; Ptasinski et al., 2002; Marrero et al., 2004; Midilli et al., 2002
- [12] Depurazione delle acque. Tecniche ed impianti per il trattamento delle acque dei rifiuti – L. Masotti – 2002
- [13] ANPA - I Rifiuti nel Comparto Agroalimentare – anno 2001
- [14] fonte RSE/2009/52]
- [15] CORONA *et al.*, 2007);

- [16] GERARDI *et al.*, 1998; TOMASSETTI, 2000; GERARDI e PERELLA, 2001).
- [17] FAO, 2003; MASERA *et al.*, 2006
- [18] (DRIGO *et al.*, 2007).
- [19] CELLE A COMBUSTIBILE - Stato di sviluppo e prospettive della tecnologia, 2008 – Autori: Marina Ronchetti - ENEA].
- [20] CTI 2008 - Consumi elettrici del settore domestico (pag 19)
- [21] Elaborazioni Autorità per l'energia elettrica e il gas su dichiarazioni degli operatori. - agosto 2011 – sito http://www.autorita.energia.it/it/dati/elenco_dati.htm
- [22] Rapporto Erse : Costi di produzione degli impianti termoelettrici alimentati a biomassa.
- [23] Report relativo all'Atlante Italiano delle Biomasse
- [24] La gassificazione della biomassa: teoria del processo e stato dell'arte della tecnologia Bolzano 22.10.10 Marco Baratieri, Facoltà di Scienze e Tecnologie, Libera Università di Bolzano
- [25] La gassificazione delle biomasse per la produzione di elettricità Casa dell'Energia, Milano - 27 Gennaio 2010 Giacobbe Braccio ENEA
- [26] *Biomass Energy report - Il Business delle biomasse e dei biocarburanti nel sistema industriale italiano* – Dipartimento di Energia Gestionale, Politecnico di Milano - Giugno 2011
- [27] Il Biogas/biometano: situazione e prospettive, Reggio Emilia 10 giugno 2011, Sergio Piccinini, Centro Ricerche Produzioni Animali.
- [28] Sviluppi tecnologici dei trattamenti termici dei rifiuti, Bologna- 9 luglio 2007 Pasquale De Stefanis, ENEA